



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**CAMPUS LOMA BONITA**

---

---

**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO**

**DESEMPEÑO DEL AJO (*Allium sativum*) COMO SUPLEMENTO EN DIETAS  
DE TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*), CULTIVADA EN JAULAS  
FLOTANTES EN LA PRESA MIGUEL ALEMÁN, OAXACA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO  
PECUARIO**

**PRESENTA:**

**C. ROCÍO LÓPEZ HINOJOSA**

**DIRECTOR:**

**M.C. RAÚL MORENO DE LA TORRE**

**CODIRECTORA:**

**M.C. IRMA GALLEGOS MORALES**

**LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO 2024**



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP/2024/170
ASUNTO	Autorización de impresión de tesis

*San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 15 de agosto de 2024*

**M. EN C. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA**  
**VICE-RECTOR ACADÉMICO**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

Sirva la presente para informarle que, el jurado evaluador del examen para obtener el grado de **Maestra en Producción y Procesamiento Pecuario** de la **C. Rocío López Hinojosa**, con número de **Matrícula 21190001**, ha autorizado la impresión del manuscrito que lleva por título **“Desempeño del ajo (*Allium sativum*) como suplemento en dietas de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), cultivada en jaulas flotantes en la presa Miguel Alemán, Oaxaca”**, para su posterior presentación y defensa por el sustentante.

Agradezco su atención y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

Atentamente  
*terra uberrima, mens aperta*  
Bøu Lo-tama, chí jí jú

**Dr. José Abad Zavaleta**  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado



C.c.p. M.C. Raúl Moreno De La Torre– Director de tesis.  
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández– Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo.



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP/2024/171
ASUNTO	Jurado para examen de grado

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 15 de agosto de 2024

**ROCÍO LÓPEZ HINOJOSA**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**


Por este medio le informo que el jurado de su examen para obtener el grado de **Maestra en Producción y Procesamiento Pecuario** estará integrado por los siguientes investigadores.

Profesor Investigador	Jurado de Examen
Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez	Presidente
Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez	Secretario
M.C. Raúl Moreno de la Torre	Vocal
Dr. Marco Antonio Anzueto Sánchez	Primer Suplente
Dr. José Ángel Rueda Barrientos	Segundo Suplente


Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente

*terra uberrima, mens aperta*  
Bou Lo-tama, chí jí jú

  
**Dr. José Abad Zavaleta**  
Jefe de la división de estudios  
de posgrado.



  
**M. en C. Héctor López Arjona**  
Vicerrector Académico  
Vo. Bo.



C.c.p. M.C. Raúl Moreno De La Torre– Director de tesis.  
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández– Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo.

## DEDICATORIA

*...No puede el hombre recibir nada, si no le fuere dado del cielo.  
Juan 3:27*

*A Dios por la vida que me da y por hacerlo posible.*

*A mis padres **Roberto** y **Ernestina** por motivarme siempre a luchar por mis sueños.*

*A mis hermanos por apoyarme en todo momento.*

*A mi esposo **Rodolfo** por siempre apoyarme en todo lo que me propongo realizar, por ser mi confidente y por su apoyo en los trabajos derivados de la tesis.*

*A mi hijo **Gamaliel** por ser mi fuente de motivación.*

*A mis suegros **Gerardo** y **Guadalupe** por apoyarme siempre.*

*¡A todos ustedes expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional en todo momento!*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la **Universidad del Papaloapan** y a la **División de Estudios de Posgrado**, por brindarme el apoyo y acompañamiento para poder realizar y culminar este grado académico.

Al **CONAHCyT** por el apoyo financiero otorgado (número de becario 1071173) durante la maestría, sin el cual no hubiera sido posible culminar este trabajo.

Al **M. C. Raúl Moreno de la Torre**, por su dirección en la presente tesis.

A la **M. C. Irma Gallegos Morales** por su codirección en el proyecto de tesis y por su valioso apoyo en los análisis hematológicos.

Al comité revisor de tesis: **Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez**, **Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez**, **Dr. Marco Antonio Anzueto Sánchez** y **Dr. José Ángel Rueda Barrientos** por su valiosa contribución en el presente trabajo.

Al **M.C. Héctor López Arjona** vicerrector de la Universidad del Papaloapan, por la disposición y facilidades que me otorgó en el ámbito laboral durante la redacción y culminación del documento de tesis.

Al **Dr. José Manuel Juárez Barrientos** y **Dr. Juan Pablo Alcántar** por permitirme el acceso a equipos de laboratorio a su cargo.

Al **Dr. Felipe Becerril Morales** y **Dr. José Ángel Rueda Barrientos** por su asesoría en las pruebas estadísticas que se realizaron en la investigación.

Al **P.I.A Miguel Ángel Juan Antonio** y su familia por facilitarme la infraestructura y equipos de su unidad de producción acuícola y por su apoyo en los trabajos de campo.

A mi amigo y colega **Eleazar Gutiérrez Cubillas** por su apoyo en el trabajo de campo y análisis de muestras.

A mis amigas **Miryam Castro López** y **Christian Gisselle Parroquín Rodríguez** por su valioso apoyo y colaboración en el análisis de muestras.

Al **Dr. José Abad Zavaleta** por su disposición y facilitación en todos los trámites durante el proceso de formación y culminación del grado académico.

A mis amigos y compañeros **Osiris Arceo**, **Hafid Rodríguez**, **Guillermo Cruz**, **Esbeidy Valenzuela**, **Saúl Hernández** e **Ignacio Salinas**.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. HIPÓTESIS.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Características productivas de la tilapia.....	5
4.1.1 Hábitat.....	5
4.1.2 Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales.....	5
4.1.3 Requerimientos de calidad del agua.....	6
4.2 Situación actual del cultivo de tilapia.....	7
4.2.1 Generalidades del cultivo de tilapia.....	7
4.2.2 Producción a nivel mundial.....	7
4.2.3 Producción en México.....	8
4.2.4 Producción en Oaxaca.....	9
4.3 Problemáticas del cultivo de tilapia del Nilo.....	9
4.3.1 Enfermedades y mortalidad.....	10
4.3.2 El uso de químicos y la resistencia antimicrobiana.....	13
4.4 Las plantas como alternativa al uso de antibióticos.....	14
4.5 Características, usos y efectos del ajo en la acuicultura.....	15
4.5.1 Compuestos del ajo.....	15
4.5.2 Usos potenciales del ajo en la acuicultura.....	20
4.5.3 Factores que afectan los compuestos del ajo.....	21
4.5.4 Formas de uso, método de aplicación y dosificación.....	22
4.5.5 Efectos adversos.....	23
4.6 Parámetros hematológicos.....	23
4.6.1 Valores de referencia.....	24
4.6.2 El hemograma y su interpretación.....	25
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1 Sitio del experimento.....	29
5.1.1 Ubicación geográfica del experimento.....	29
5.1.2 Características del cuerpo de agua.....	29
5.2 Diseño metodológico y experimental.....	30

5.3	Organismos experimentales .....	31
5.3.1	Procedencia .....	31
5.3.2	Condiciones de cultivo previas a la fase experimental .....	32
5.3.3	Condiciones de cultivo durante el experimento .....	33
5.4	Dietas experimentales .....	34
5.4.1	Obtención del ajo en polvo .....	34
5.4.2	Inclusión del ajo en el alimento .....	35
5.4.3	Variables productivas .....	36
5.4.4	Variables hematológicas .....	39
5.4.5	Variables de carga parasitaria .....	42
5.5	Pruebas estadísticas .....	43
6.	RESULTADOS .....	44
6.1	Características físicas del ajo procesado .....	44
6.2	Características de los organismos .....	44
6.3	Calidad del agua .....	44
6.4	Variables productivas .....	44
6.5	Variables hematológicas .....	47
6.6	Carga parasitaria .....	48
6.6.1	Carga parasitaria en branquias .....	48
6.6.2	Carga parasitaria en piel .....	49
6.6.3	Carga parasitaria en aletas .....	49
7.	DISCUSIÓN .....	50
7.1	Condiciones de cultivo .....	50
7.2	Características del ajo procesado .....	50
7.3	Desempeño productivo .....	51
7.3.1	Crecimiento .....	51
7.3.2	Eficiencia alimenticia .....	53
7.3.3	Factor de condición .....	54
7.3.4	Sobrevivencia .....	54
7.4	Desempeño hematológico .....	55
7.5	Desempeño en la carga parasitaria .....	57
8.	CONCLUSIONES .....	59
9.	RECOMENDACIONES .....	60
10.	LITERATURA CITADA .....	61
11.	ANEXOS .....	83

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág
1	Requerimientos nutricionales de la tilapia del Nilo.....	6
2	Parámetros óptimos y/o de tolerancia de calidad del agua para cultivo de tilapia del Nilo.....	6
3	Composición proximal del ajo fresco determinada en porcentaje.....	16
4	Composición proximal del ajo en polvo (% base materia seca).....	16
5	Clasificación de los principales compuestos del ajo ( <i>Allium sativum</i> ).....	18
6	Valores de referencia de hematología de la tilapia del Nilo en diferentes condiciones de cultivo.....	24
7	Arreglo del diseño experimental .....	30
8	Registro de la calidad del agua de cultivo de los peces durante su estancia en la Universidad del Papaloapan.....	33
9	Contenido nutricional del alimento comercial suministrado a la tilapia durante la fase experimental.....	34
10	Registro de la calidad del agua de la presa Miguel Alemán durante el periodo experimental.....	44
11	Valor promedio de variables productivas en tilapia ( <i>O. niloticus</i> ) alimentada con una dieta comercial suplementada con ajo ( <i>A. sativum</i> ).....	45
12	Valor promedio de índices de eficiencia alimenticia en tilapia del Nilo ( <i>O. niloticus</i> ) alimentada con una dieta comercial suplementada con ajo ( <i>A. sativum</i> ).....	46
13	Valor promedio de variables hematológicas en tilapia del Nilo ( <i>O. niloticus</i> ) alimentadas con una dieta comercial suplementada con ajo ( <i>A. sativum</i> ).....	47
14	Intensidad de parásitos externos en la tilapia del Nilo ( <i>O. niloticus</i> ) alimentadas con una dieta comercial suplementada con ajo ( <i>A. sativum</i> ), incluidos en la dieta comercial.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Mapa de localización del Municipio de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca.....	29
2	Disposición de las jaulas experimentales en el vaso de la presa Miguel Alemán, en inmediaciones de la comunidad de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca.....	31
3	Siembra de crías de tilapia del Nilo ( <i>O. niloticus</i> ) en la unidad experimental de la Universidad del Papaloapan.....	31
4	Parásitos externos encontrados en los organismos experimentales .....	48

## RESUMEN

Actualmente el cultivo de tilapia del Nilo se ha expandido a más de 100 países. Su amplia distribución ha favorecido el brote y dispersión de enfermedades que a menudo se controlan con tratamientos químicos, principalmente antibióticos, incrementando el riesgo potencial de producir resistencia microbiana. Debido a lo anterior, sustancias naturales con actividad antimicrobiana como el ajo (*Allium sativum*) pueden ser una alternativa para sustituirlos en el mediano plazo. Para reemplazar los productos químicos por productos naturales se requiere de un producto confiable y conocimiento de la dosis óptima. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño productivo, hematológico y antiparasitario del ajo (*Allium sativum*) en polvo en la tilapia del Nilo. Se llevó a cabo un diseño experimental completamente al azar con tres concentraciones de ajo (0.5, 1.5 y 2.5% por kilogramo de alimento) y un grupo control (0% de ajo). Cada tratamiento se realizó por triplicado. Se utilizaron 1800 peces con peso promedio de  $106.8 \pm 23.4$  g. Se dispusieron 150 peces en cada unidad experimental (jaulas flotantes de 4 x 4 x 2 m de altura). El experimento tuvo una duración de 30 días, las biometrías se realizaron cada 15 días para las variables productivas, con excepción del rendimiento en filete que se determinó a los 30 días. Las variables hematológicas y parasitológicas se evaluaron únicamente a los 30 días. La suplementación con 2.5% de ajo produjo un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en el peso húmedo, ganancia de peso, tasa específica de crecimiento, rendimiento en filete, y longitud total. La mayor tasa de eficiencia alimenticia se obtuvo con la suplementación de 2.5% de ajo y mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto al tratamiento suplementado con 0.5% y el grupo control. El factor de conversión alimenticia más bajo se obtuvo con la concentración de 2.5% de ajo y mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al tratamiento suplementado con 0.5% y el grupo control. El factor de condición (k) y la sobrevivencia no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Se observó un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en los glóbulos rojos con la concentración de 2.5%, sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el resto de los parámetros hematológicos evaluados. La concentración de

2.5% de ajo en la dieta disminuyó significativamente la intensidad media de *Cichlidogyrus* en branquias y la prevalencia de *Trichodina* en piel. Los grupos suplementados con 1.5 y 2.5% de ajo no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre sí y presentaron la intensidad mediana más baja de *Trichodina* en piel, a su vez, estos grupos presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) con respecto a los grupos suplementados con 0.5% y el grupo control. La suplementación con 1.5% de ajo/kg de alimento proporcionó resultados positivos en la mayoría de las variables evaluadas.

**Palabras clave:** *Allium sativum*, *Oreochromis niloticus*, jaulas flotantes, inmunoestimulante, potenciador del crecimiento, antiparasitario.

## ABSTRACT

Currently, Nile tilapia farming has expanded to more than 100 countries. Its wide distribution has favored the outbreak and spread of diseases that are often controlled with chemical treatments, mainly antibiotics, increasing the potential risk of producing microbial resistance. Due to the above, natural substances with antimicrobial activity such as garlic (*Allium sativum*) can be an alternative to replace them in a short time. Replacing chemicals with natural products requires a reliable product and knowledge of the optimal dosage. The objective of this work was to evaluate the productive, hematological and antiparasitic performance of garlic (*Allium sativum*) powder in Nile tilapia. A completely randomized experimental design was carried out with three concentrations of garlic (0.5, 1.5 and 2.5% per kilogram of food) and a control group (0% garlic). Each treatment was performed in triplicate. 1800 fish were used with an average weight of  $106.8 \pm 23.4$  g. 150 fish were placed in each experimental unit (floating cages 4 x 4 x 2 m high). The experiment lasted 30 days, biometrics were carried out every 15 days for the productive variables, with the exception of fillet yield which was determined after 30 days. Hematological and parasitological variables were evaluated only after 30 days. Supplementation with 2.5% garlic produced a significant increase ( $p < 0.05$ ) in wet weight, weight gain, specific growth rate, fillet yield, and total length. The highest feed efficiency rate was obtained with the supplementation of 2.5% garlic and showed significant differences ( $p < 0.05$ ) with respect to the treatment supplemented with 0.5% and the control group. The lowest feed conversion factor was obtained with the 2.5% of garlic concentration and showed significant differences ( $p < 0.05$ ) with respect to the treatment supplemented with 0.5% and the control group. The condition factor (k) and survival did not show significant differences between treatments. A significant increase ( $p < 0.05$ ) was observed in red blood cells with the 2.5% concentration; however, no significant differences were observed in the rest of the hematological parameters evaluated. The 2.5% concentration of garlic in the diet significantly decreased the mean intensity of *Cichlidogyrus* in gills and the prevalence of *Trichodina* in skin. The groups supplemented with 1.5 and 2.5% of garlic did not

show significant differences ( $p>0.05$ ) between them and presented the lowest median intensity of *Trichodina* in the skin; in turn, these groups presented significant differences ( $p<0.05$ ) with respect to the groups supplemented with 0.5% and the control group. Supplementation with 1.5% garlic/kg feed provided positive results in most of the variables evaluated.

**Keywords:** *Allium sativum*, *Oreochromis niloticus*, floating cages, immunostimulant, growth enhancer, antiparasitic.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tilapia es un pez cíclido de agua dulce nativo de África ampliamente cultivado a nivel mundial en países tropicales y subtropicales. Entre las características que favorecen su cultivo se encuentran su adaptabilidad a una amplia gama de condiciones ambientales, rápido crecimiento, prolificidad, aceptación de alimento comercial, facilidad de manejo y alta demanda en el mercado. Su idoneidad para el cultivo le permite ubicarse entre las especies acuícolas de mayor producción a nivel mundial. En el 2021, la tilapia y otros cíclidos ocuparon el sexto lugar en producción a nivel mundial (Cai *et al.*, 2023). México, por su parte, fue el décimo tercer productor de tilapia a nivel mundial en el 2018, con una producción de 52, 748 toneladas (FAO, 2020a).

El 90% de la tilapia cultivada en Oaxaca se produce en la región Cuenca. El cultivo de esta especie se desarrolla principalmente en jaulas flotantes en los embalses Miguel Alemán y Miguel de la Madrid (CONAPESCA, 2019). Aunque el cultivo de tilapia en la región se ha desarrollado exitosamente, la tasa de mortalidad por enfermedades también se ha incrementado [Virgen G, 2022]<sup>1</sup>.

En México, la mayoría de las granjas de tilapia se enfrentan a enfermedades bacterianas, provocadas por especies como *Flexibacter columnaris*, *Streptococcus* sp., *Aeromonas* sp. y *Pseudomonas* sp. en alguna de sus fases de cultivo (Martínez-Cordero *et al.*, 2021). Algunos de estos patógenos bacterianos comúnmente se encuentran asociados con altas tasas de mortalidad en las granjas de tilapia (Haenen *et al.*, 2023).

Diversos estudios muestran una variedad de alternativas para combatir las enfermedades bacterianas, entre las que destacan las vacunas, los antibióticos y el control químico (Amal y Zamri-Saad, 2011). Las vacunas tienen un alto costo y su implementación no es práctica. Mientras tanto, los antibióticos son eficaces siempre que no exista resistencia bacteriana. Asimismo, el uso de productos

---

<sup>1</sup> [Gerardo Virgen, comunicación personal, propietario de la granja de tilapia en jaulas flotantes “Cultivo Virgen” ubicada en el embalse Miguel Alemán en la comunidad de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. 2022]

químicos utilizados como desparasitantes y desinfectantes tienen un impacto negativo en el medio ambiente (Weston, 2000). Por lo tanto, el uso de plantas ha tomado relevancia como una alternativa en el tratamiento terapéutico de organismos acuáticos, por su disponibilidad y bajo impacto al medio ambiente (Kuebutornye y Abarike, 2020).

Se han estudiado más de 60 plantas con propiedades antibióticas, entre las que destaca el ajo (*Allium sativum*). La mayoría de estos estudios se han realizado bajo condiciones controladas de laboratorio en las que se destacan las propiedades inmunoestimulantes, antioxidantes, promotoras del crecimiento, antiparasitarias y antibacterianas del ajo (Luengo, 2007). Con tales propiedades, el ajo pudiera ser una alternativa para mejorar los parámetros productivos y hematológicos, así como una opción para reducir la carga parasitaria en la tilapia del Nilo. Sin embargo, al ser el ajo un producto natural, la concentración de sus compuestos activos se ve afectada por numerosos factores ambientales, agronómicos y de procesamiento (Lawson, 1998; Ankri y Mirelman, 1999; Rao *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2019). La dosis suministrada, el tiempo de aplicación y el tipo de producto, también influyen en el efecto que el ajo pudiera causar en los organismos (Lawson, 1998). Se ha demostrado en numerosos bioensayos a nivel laboratorio que el ajo potencia el desarrollo de los peces, mejora el sistema inmune y funciona como tratamiento antiparasitario. Sin embargo, para implementar esta alternativa en granjas de tilapia a nivel comercial, es necesario disponer de un producto que sea constante en su composición, conocer la dosis óptima y la frecuencia de suplementación.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del ajo en polvo sobre el crecimiento, la eficiencia alimenticia, el estado de salud y la carga parasitaria de la tilapia del Nilo, al ser suministrado vía oral a través de la dieta.

### 2.2 Objetivos específicos

1.- Evaluar el efecto de tres niveles de concentración de ajo (0.5, 1.5 y 2.5%) sobre el crecimiento de tilapia del Nilo mediante las variables: ganancia de peso, tasa específica de crecimiento y rendimiento en filete.

2.- Evaluar el efecto de tres niveles de concentración de ajo (0.5, 1.5 y 2.5%) sobre la eficiencia alimenticia de tilapia del Nilo mediante las variables factor de conversión alimenticia y la tasa de eficiencia alimenticia.

3.- Evaluar el efecto de tres niveles de concentración de ajo (0.5, 1.5 y 2.5%) sobre el estado de salud de la tilapia del Nilo, a través de variables hematológicas y la sobrevivencia.

4.- Evaluar el efecto de tres niveles de concentración de ajo (0.5, 1.5 y 2.5%) sobre la carga parasitaria en tilapia del Nilo mediante las variables de prevalencia, intensidad media e intensidad mediana de parásitos monogéneos (*Cichlidogyrus*) y protozoarios (*Trichodina*).

### 3. HIPÓTESIS

La alimentación de la tilapia del Nilo con una dieta suplementada con ajo, promoverá incrementos en el crecimiento, el estado de salud y la sobrevivencia y disminuirá la carga parasitaria.

H1: La alimentación de la tilapia del Nilo con una dieta suplementada con ajo, promoverá el crecimiento manifestando incrementos en la ganancia de peso, tasa específica de crecimiento y el rendimiento en filete.

H2: La alimentación de la tilapia del Nilo con una dieta suplementada con ajo, permitirá la optimización del aprovechamiento del alimento, produciendo una disminución en el factor de conversión alimenticia e incrementos en la tasa de eficiencia alimenticia.

H3: La alimentación de la tilapia del Nilo con una dieta suplementada con ajo, promoverá un incremento en las variables hematológicas (glóbulos rojos, hematocrito, proteína total en plasma, hemoglobina y glóbulos blancos) y la sobrevivencia, las cuales se encuentran relacionadas con el estado de salud.

H4: La alimentación de la tilapia del Nilo con una dieta suplementada con ajo, promoverá una disminución en la carga parasitaria de *Cichlidogyrus* sp. y *Trichodina* sp.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Características productivas de la tilapia

Se conoce como “tilapia” a las especies de peces de agua dulce, clasificados dentro de la familia Cichlidae. En esta familia se conocen al menos 70 especies que pertenecen a tres géneros: *Tilapia*, *Oreochromis* y *Sarotherodon*. Del género *Tilapia*, las especies más cultivadas son *T. rendalli* y *T. zilli*, mientras que del género *Oreochromis*, las más cultivadas son *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*. De todas las especies cultivadas, la *O. niloticus*, representa alrededor del 80% de la producción mundial de tilapia (El-Sayed 2006; Prabu *et al.*, 2019).

#### 4.1.1 Hábitat

En su medio natural, la tilapia se distribuye en un amplio rango de hábitats diferentes como ríos de corriente rápida o lenta, lagos someros o profundos, estuarios, lagos costeros y ambientes marinos. Esta capacidad de adaptación le permite tolerar un amplio rango de los parámetros físicos (temperatura, fotoperiodo, profundidad, velocidad de la corriente y turbidez), parámetros químicos (salinidad, pH, oxígeno disuelto) y factores biológicos (disponibilidad de alimento y productividad) (El-Sayed, 2006).

#### 4.1.2 Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales

La alimentación de la tilapia es preferentemente herbívora-omnívora, ya que en condiciones de vida libre puede consumir fitoplancton, zooplancton, algas, invertebrados bentónicos, crías de otros peces, detritus y materia orgánica en descomposición (Bhujel, 2014). Para asegurar esta nutrición en condiciones de cultivo, los alimentos comerciales deben elaborarse con materias primas que cumplan con estos requerimientos nutricionales, según la etapa fisiológica (Cuadro 1). Los hábitos alimenticios y los requerimientos nutricionales en peces pueden variar según la especie, la edad, el fotoperiodo y la profundidad de la columna de agua. La tilapia del Nilo (*O. niloticus*) tiene una alimentación poco selectiva y tiende a cambiar de hábitos alimenticios a medida que crece, incrementando su preferencia por el detritus en peces de mayor talla (El-Sayed, 2006).

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de la tilapia del Nilo.

Nutriente	Etapas	Porcentaje requerido
<b>Proteína bruta</b>	Alevines	45-60%
	Juveniles	35-40%
	Crecimiento	25-35%
	Reproductores	25-35%
<b>Carbohidratos</b>	Alevines/Juveniles	<25%
	Crecimiento	25-30%
<b>Lípidos totales</b>	Alevines	5-8%
	Adultos	8-10%
<b>AGE* <math>\omega</math>-6</b>	Todas las etapas	0.5-1.0%
<b>AGE <math>\omega</math>-3</b>	Todas las etapas	0.5-1.0%

\*AGE (Ácidos grasos esenciales)

Fuente: Bhujel (2014).

#### 4.1.3 Requerimientos de calidad del agua

En el Cuadro 2 se muestran los parámetros de calidad de agua para el cultivo de tilapia del Nilo.

Cuadro 2. Parámetros óptimos y/o de tolerancia de calidad del agua para cultivo de tilapia del Nilo.

Parámetro	Rango óptimo y/o tolerancia	Efectos
<b>Amoniaco (mg/L)</b>	Óptimo < 0.1	
	> 1.8	Letargia y lento crecimiento.
	letal $\geq$ 2.40	
<b>Fosfatos (ppm)</b>	0.6-1.5	Su toxicidad incrementa con un pH alto.
<b>Nitratos (mg/L)</b>	0-3	Ligeramente tóxico; puede reducir la respuesta inmunitaria.
<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>	Óptimo > 5	
	< 2	Nado lento en la superficie y mortalidad
<b>pH</b>	Tolerancia 4-11	
	Letal 2-3	Mortalidad repentina
	Óptimo 25-30	
<b>Temperatura (°C)</b>	20-16	Disminuye el apetito y dejan de alimentarse.
	< 12	Pueden presentar mortalidad

Elaboración propia con información de El-Sayed (2006).

## **4.2 Situación actual del cultivo de tilapia**

### **4.2.1 Generalidades del cultivo de tilapia**

La tilapia del Nilo es el segundo pez más cultivado a nivel mundial, gracias a su amplia aceptación en el mercado, hábitos alimenticios en los eslabones bajos de la cadena trófica, aceptación de alimento comercial, tasa de crecimiento rápido, reproducción en cautiverio y fácil manejo (Prabu *et al.*, 2019; Vajargah, 2021). Algunos de los factores que han propiciado el rápido crecimiento de la industria de la tilapia son: la disminución de los volúmenes de pesca y la creciente demanda del producto (Prabu *et al.*, 2019).

Los cultivos de la tilapia del Nilo suelen desarrollarse en sistemas extensivos (en zonas rurales y países en desarrollo), intensivos e hiperintensivos (en países desarrollados), con una tendencia cada vez mayor hacia la tecnificación y el uso eficiente de los recursos, principalmente del agua y alimento (Samaddar, 2022). Un ejemplo de lo anterior, son los sistemas de jaulas flotantes, sistemas acuícolas de recirculación, tecnología de biofloc y sistemas de acuaponía (Betanzo-Torres *et al.*, 2021; Zimmermann *et al.*, 2023).

Las jaulas flotantes han adquirido gran popularidad en las producciones acuícolas a nivel mundial, debido a las ventajas como control de la reproducción, bajo costo de inversión y bajos costos de operación. Aunque también se presentan desventajas tales como el nulo control de cambios en la calidad del agua, total dependencia de dietas nutricionales y mayor riesgo de brotes de enfermedades (Kampayana *et al.*, 2016; Samaddar, 2022). Wiradana *et al.* (2022) atribuyen la mortalidad masiva en jaulas flotantes, a los cambios en la temperatura del agua y a la acumulación de nutrientes producto de las actividades agrícolas y antropogénicas.

### **4.2.2 Producción a nivel mundial**

El mercado mundial de tilapia se incrementa del 10 al 12% anualmente, lo que ha permitido que actualmente se cultive en más de 100 países tropicales y subtropicales (Shelton y Popma, 2006; Prabu *et al.*, 2019).

En 2022 la producción mundial de tilapia del Nilo fue de 5.3 millones de toneladas (FAO, 2024). En 2018 los países con mayor producción de tilapia a nivel mundial fueron China (23.61%), Indonesia (18.76%) y Egipto (17.04%) (FAO, 2020b).

En 2018 los países del continente americano que sobresalieron por su destacada producción de tilapia fueron Brasil, Colombia, México, Chile, Ecuador, Honduras, Cuba y Costa Rica, juntos aportan alrededor del 10% de la producción mundial (FAO, 2020b).

#### **4.2.3 Producción en México**

En la década de 1960 se introdujo a México un lote de tilapia del Nilo procedente de la Universidad de Auburn, Estados Unidos, la siembra se realizó en la presa Miguel Alemán en Temascal, Oaxaca. Posteriormente, se realizaron siembras en otros estados y desde 1970, la tilapia ha sido el recurso pesquero más grande en las aguas interiores de México (Martínez-Cordero *et al.*, 2021).

En el 2018, México fue el noveno productor de tilapia a nivel mundial con una producción de 1.9 mil toneladas anuales, lo cual representó el 2.8% de la producción mundial (FAO, 2020b).

La producción de tilapia del Nilo en México se desarrolla principalmente en sistemas abiertos, catalogados como extensivos e intensivos, siendo los más comunes los estanques de tierra, concreto, geomembrana y jaulas flotantes. El crecimiento se ha producido principalmente a través del cultivo en jaulas flotantes, ya que esta práctica no implica gastos por consumo de agua ni de electricidad cuando se aprovechan presas o embalses que, en muchos de los casos, han sido construidos con fines diferentes a la acuicultura (Betanzo-Torres *et al.*, 2021; Martínez-Cordero *et al.*, 2021).

Martínez-Cordero *et al.* (2021) estimaron la capacidad productiva de las granjas de tilapia del Nilo en México, encontrando que es de 880 toneladas por año en tanques (geomembrana y concreto), 1,672 en estanques (rústicos) y 36,780 en jaulas flotantes. Este estudio arroja luz sobre el futuro del cultivo de tilapia en México, ya que a pesar que las unidades de producción no están operando al

100% de su capacidad, se cuenta con infraestructura disponible, particularmente con jaulas flotantes, para incrementar el volumen actual de producción.

La tilapia del Nilo se cultiva en los 31 estados de la república mexicana, siendo Jalisco, Chiapas, Michoacán, Sinaloa, Nayarit y Veracruz, los estados con mayor producción. La producción reportada por estado, incluye la mojarra de captura y de cultivo (CONAPESCA, 2018). Sin embargo, Chiapas es el único estado cuya producción proviene principalmente de la acuicultura, aportando casi la mitad de la producción de tilapia del Nilo cultivada a nivel nacional en el 2018 (Martínez-Cordero *et al.*, 2021).

#### **4.2.4 Producción en Oaxaca**

En el 2018, el estado de Oaxaca obtuvo el décimo quinto lugar a nivel nacional como productor de tilapia, con una producción de 1,093 toneladas (la producción reportada incluyó tilapia de cultivo y de pesca). De esta producción, 414 toneladas fueron provenientes de la acuicultura, representando el 0.79% de la tilapia cultivada a nivel nacional (Martínez-Cordero *et al.*, 2021).

El 90% de tilapia obtenida por acuicultura se produce en la región Papaloapan. El cultivo de esta especie se desarrolla principalmente en jaulas flotantes en aguas de los embalses Miguel Alemán y Miguel de la Madrid (CONAPESCA, 2019). El repoblamiento de tilapia, en la presa Miguel Alemán permitió que la pesca se convirtiera en una de las actividades principales como fuente de alimento e ingresos en la región del Papaloapan (Quijada, 1992).

#### **4.3 Problemáticas del cultivo de tilapia del Nilo**

A menudo, los productores de tilapia adoptan prácticas como la expansión de unidades acuícolas o la implementación de altas densidades de siembra para incrementar el volumen de producción. Por otro lado, la escasez de agua, los espacios reducidos y la contaminación son factores limitantes para el desarrollo de la acuicultura (Bittencourt *et al.*, 2003; Zafar *et al.*, 2023). Además, los factores físicos, biológicos, tecnológicos y socioeconómicos de cada región influyen también en el volumen de producción (Moyo y Rapatsa, 2021; Samaddar, 2022).

El cultivo de tilapia del Nilo en México, como en otros países, enfrenta una serie de desafíos. Estos incluyen brotes de enfermedades, mala calidad del agua, mala calidad de las crías, prácticas de manejo inadecuadas, falta de planes de desarrollo y de medidas preventivas (Liñan-Cabello *et al.*, 2016; Morales-Serna *et al.*, 2018). Aunado a lo anterior, los problemas más recurrentes y de mayor impacto en las unidades de producción son las deficiencias nutricionales, crecimiento lento, mortalidades y mal uso de productos químicos (Huicab-Pech *et al.*, 2016; Ornelas-Luna *et al.*, 2017; Moeder *et al.*, 2023).

#### **4.3.1 Enfermedades y mortalidad**

La industria de la tilapia del Nilo sufre pérdidas económicas cada año debido a las altas mortalidades. El porcentaje de mortalidad puede variar según la enfermedad y el lugar donde se presente. En algunos países, la mortalidad puede llegar a ser hasta del 90% de la producción (Assane *et al.*, 2022). La mortalidad suele estar asociada con prácticas de manejo inadecuadas como son las altas densidades de población, control ineficiente de enfermedades, desconocimiento de los requerimientos básicos para el cultivo de la especie y la mala calidad del agua (Huicab-Pech *et al.*, 2016; Wanja *et al.*, 2020).

Las altas densidades, combinadas con prácticas de manejo inadecuadas, pueden provocar un aumento en los niveles de estrés, reducir el crecimiento y las tasas de supervivencia (Ndashe *et al.*, 2023). El estrés crónico a su vez, tiene un efecto negativo sobre el sistema inmune, los parámetros hematobioquímicos y las enfermedades de los peces (Zafar *et al.*, 2023).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define “enfermedad” como cualquier alteración del estado fisiológico en una o varias partes del cuerpo, manifestado por síntomas y signos característicos. Las enfermedades pueden ser de origen infeccioso (causada por un organismo patógeno) o no infeccioso (causada por factores como la genética, el medio ambiente o la nutrición) (Cain, 2022). Los organismos acuáticos son altamente susceptibles a las enfermedades porque están expuestos a una variedad de agentes potencialmente patógenos, a variaciones en las condiciones climáticas y variaciones en los parámetros de

calidad del agua, además de experimentar otros factores estresantes (Huicab-Pech *et al.*, 2016; Caín, 2022). La presencia de una enfermedad se ve favorecida cuando coinciden simultáneamente un patógeno virulento, un huésped susceptible y un ambiente desfavorable, esta se expresa cuando se pierde el equilibrio entre dichos agentes (Snieszko, 1974).

Las enfermedades infecciosas de los peces pueden ser provocadas por bacterias, hongos, virus y parásitos, algunas con mayor virulencia que otras. Su importancia, está dada en función de las pérdidas económicas que pueden causar o por los riesgos potenciales a la salud humana (Haenen *et al.*, 2023).

#### a) Enfermedades bacterianas

Las enfermedades bacterianas que tienen mayor impacto en la producción de tilapia del Nilo incluyen a la estreptococosis, la septicemia móvil (causada por *Aeromonas*), la franciselosis, la enfermedad columnar y la vibriosis. Las bacterias *Streptococcus agalactiae*, *S. iniae*, *Aeromonas* sp. y *Edwardsiella tarda*, además de representar riesgos productivos, tienen un alto potencial zoonótico. De manera similar, las enfermedades bacterianas emergentes como la edwardsielosis (*E. ictaluri* y *E. tarda*) son de interés debido al daño que causan a la acuicultura (Haenen *et al.*, 2023).

#### b) Enfermedades fúngicas

Las enfermedades fúngicas más importantes en el cultivo de tilapia del Nilo son causadas por *Saprolegnia* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y *Fusarium* spp. Estas infecciones fúngicas pueden afectar órganos externos e internos. En órganos externos pueden provocar signos clínicos como erosión de aletas, úlceras, hemorragias, lesiones algodonosas en la piel y descamación. En órganos internos puede provocar bazo y riñón congestionados, vesícula distendida y una coloración de pálida a amarilla en los órganos afectados (Eid *et al.*, 2017). Se ha reportado que el patógeno *Saprolegnia* spp. puede causar pérdidas económicas significativas en algunas regiones (Hussein *et al.*, 2013).

### c) Enfermedades víricas

Las enfermedades víricas con importancia en el cultivo de tilapia del Nilo son el virus de la necrosis infecciosa del bazo y los riñones y virus de la tilapia de lago, ISKNV y TiLVD (por sus siglas en inglés), respectivamente. Se ha reportado la presencia del virus de la tilapia de lago en Asia, África Centroamérica y Sudamérica (Al-Hussinee *et al.*, 2019; Jansen *et al.*, 2019). En México se ha registrado en granjas de Chiapas, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Tabasco y Veracruz (Al-Hussinee *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la vacunación es una opción para prevenir y controlar el TiLVD. En el caso del ISKNV no se cuenta aún con estrategias de tratamiento y las medidas de bioseguridad no son eficaces para controlar y evitar la propagación del virus (Alathari *et al.*, 2023; Kembou-Ringert *et al.*, 2023).

### d) Enfermedades parasitarias

Los parásitos comúnmente presentes en los cultivos de tilapia incluyen protozoos, monogéneos, digéneos, cestodos, hirudíneos, tremátodos, acantocéfalos, nemátodos y crustáceos (Grano-Maldonado *et al.*, 2018; Addo *et al.*, 2021). En granjas de tilapia en México se ha reportado la presencia de monogéneos (*Cichlidogyrus*, *Gyrodactylus*, *Scutogyrus*) y protozoarios (*Ichthyophthirus multifilis*, *Trichodina* sp) (Aguirre Fey, 2009; Morales-Serna *et al.*, 2018). La importancia de las enfermedades parasitarias radica en que pueden comprometer la inmunidad de los peces, además de crear oportunidades para la infestación secundaria de bacterias, hongos y virus. Algunos parásitos tienen alta patogenicidad que pueden llegar a causar mortalidades, otros no suponen riesgos de mortalidad por si solos, pero pueden causarla en la coinfección con otros parásitos, bacterias o virus (Assane *et al.*, 2022).

Los brotes de enfermedades en peces han aumentado debido al comercio internacional, la intensificación de la producción acuícola y las malas prácticas de bioseguridad que contribuyen a la transmisión de enfermedades y la propagación de patógenos (Haenen *et al.*, 2023; Ndashe *et al.*, 2023).

### **4.3.2 El uso de químicos y la resistencia antimicrobiana**

#### **a) Uso de químicos en la acuicultura**

Es común el uso de productos químicos en la acuicultura para tratar las diversas enfermedades, mejorar la calidad de agua de cultivo, disminuir los riesgos de zoonosis y las pérdidas económicas (Shinn *et al.*, 2023). Entre los productos usados se pueden encontrar mejoradores de la calidad del agua y del suelo, fertilizantes, desinfectantes, anestésicos, plaguicidas, inmunoestimulantes, agentes inductores de la reproducción, antimicrobianos y aditivos alimenticios (Jose Priya y Kappalli, 2023).

Los productos químicos que se usan en la acuicultura pueden provocar efectos adversos tales como contaminación del medioambiente, desarrollo de cepas bacterianas resistentes a antibióticos, producir genes de resistencia y residuos de antibióticos en productos acuícolas y del medio ambiente (Cabello *et al.*, 2016; Jose Priya y Kappalli, 2023).

#### **b) Resistencia a antimicrobianos**

La resistencia a un fármaco o droga es la capacidad de un patógeno de crecer y desarrollarse en presencia de dicha droga o fármaco (Rompikuntal y Garlapati, 2015).

Los microorganismos como los parásitos (protozoarios), hongos, virus y bacterias pueden desarrollar resistencia a los antimicrobianos, cada uno de acuerdo a los fármacos específicos que han sido diseñados para limitar su crecimiento o eliminarlos (Rompikuntal y Garlapati, 2015).

La resistencia a antimicrobianos se lleva a cabo por medio de mecanismos de supervivencia que poseen los microorganismos contra los antimicrobianos que les permiten disminuir la capacidad microbicida o inhibitoria de los fármacos (Bisso-Andrade, 2018). Además, la resistencia antimicrobiana es provocada por la presión selectiva que se genera por las concentraciones subinhibidoras de antimicrobianos y el uso irracional suministrados en humanos y animales (Bisso-Andrade, 2018; Pishchany y Kolter, 2020).

Se ha demostrado que las bacterias desarrollan resistencia a los fármacos a un ritmo más rápido que otros organismos gracias a que poseen mecanismos de resistencia muy eficientes como la transferencia horizontal de genes y el corto tiempo de generación que les permite acumular mutaciones a un ritmo mayor (Cooper *et al.*, 2017; Prasad *et al.*, 2022).

Para mitigar los daños al ambiente y la salud por el uso desmedido de productos químicos, es necesario adoptar medidas alternativas y ecológicas, así como políticas que regulen el uso de químicos en la salud animal y en humanos. Un avance en este sentido es el enfoque de “una sola salud” (One Health), con el cual se reconoce la interconexión de la salud humana, la salud animal y el ambiente. El enfoque de una sola salud abarca los diferentes niveles de salud, planteando estrategias y políticas con alcance universal, lo cual puede contribuir al desarrollo sostenible, más allá de las enfermedades zoonóticas y mejorar la visión actual de salud (Cabello *et al.*, 2016; Stentiford, 2022).

#### **4.4 Las plantas como alternativa al uso de antibióticos**

Anualmente se utilizan cientos de toneladas de antimicrobianos en la acuicultura para prevenir y tratar las infecciones bacterianas (Cabello *et al.*, 2016).

Una de las tendencias para promover la acuicultura sostenible se ha enfocado en la disminución del uso de antibióticos, reemplazándolos por alternativas más amigables como el uso de prebióticos, probióticos, inmunoestimulantes, vacunas, polisacáridos y uso de plantas o productos derivados de estas (fitobióticos) (Sakai, 1999; Sommerset *et al.*, 2005; Akhter *et al.*, 2015; Kari *et al.*, 2022).

El uso de plantas como medicina natural ha cobrado relevancia, particularmente como alternativa a los antibióticos, debido a los numerosos metabolitos secundarios que poseen. Estos tienen la capacidad de reducir la virulencia y resistencia microbiana porque atacan a los microorganismos simultáneamente a través de diferentes vías de manera sinérgica (Peng *et al.*, 2017; Hernández-Alvarado *et al.*, 2018). Los metabolitos secundarios en las

plantas incluyen a los terpenoides, compuestos fenólicos, alcaloides, flavonoides y las saponinas (De Filippis, 2016).

El uso de plantas como medicina tradicional en salud animal es una práctica que se lleva a cabo desde hace siglos, aunque está menos desarrollada que la medicina humana (Coipel *et al.*, 2021). Se han investigado alrededor de 60 plantas como alternativa a los antibióticos debido a sus compuestos bioactivos como alcaloides, terpenoides, taninos, saponinas, flavonoides, pigmentos, fenoles, quinonas, lectinas, polipéptidos, aceites esenciales y compuestos organosulfurados (Lawson, 1998; Kuebutornye y Abarike, 2020; Chaudhary y Garg, 2023). Algunas de las plantas potenciales para su uso en acuicultura incluyen jengibre (*Zingiber officinale*), clavo (*Syzygium aromaticum*), comino (*Cuminum cyminum*), orégano (*Origanum vulgare*), canela (*Cinnamomum Verum*) y ajo (*Allium sativum*) (Kuebutornye y Abarike, 2020).

#### **4.5 Características, usos y efectos del ajo en la acuicultura**

El ajo (*Allium sativum*) es una planta bulbosa perenne perteneciente a la familia de las Liliáceas, muy valorada por sus usos culinarios y propiedades medicinales (Lawson, 1998). Es originaria de Asia Central, pero su cultivo se ha extendido por todo el mundo, especialmente en regiones templadas y subtropicales (Avinash *et al.*, 2020). En México existen 14 variedades de ajo registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, lo que da como resultado una amplia variedad de ajos disponibles en los mercados mexicanos (CNVV, 2024).

##### **4.5.1 Compuestos del ajo**

La concentración de los compuestos del ajo fresco puede fluctuar según la variedad de ajo, la ubicación geográfica del sitio de cultivo, la composición del suelo, el clima, la fecha de cosecha y el manejo postcosecha (Lawson, 1998; Ankri y Mirelman, 1999; Rao *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2019). Asimismo, la concentración de los compuestos del ajo procesado, dependen del método de obtención del producto final y de la parte de la planta que se usa en el proceso. Por ejemplo, la aliina (uno de los principales compuestos activos) está presente

en la planta del ajo, distribuyéndose: 85% en el bulbo, 12% en las hojas y 2% en las raíces.

#### 4.5.1.1 Composición proximal

La composición proximal del ajo fresco es variable (Cuadro 3). La proteína oscila entre 3.32 y 11.00%, la fibra entre 1.20 y 4.20%, la humedad entre 53.77 y 65.26%, el contenido total de cenizas entre 0.20 y 5.10% y las grasas entre 0.66 y 7.91% (Figueroa-González *et al.*, 2014; Mutasim y Elgasim, 2016; Devi y Brar, 2018; Gambogou *et al.*, 2018).

Cuadro 3. Composición proximal del ajo fresco, determinada en porcentaje.

<b>Componente</b>	Gambogou <i>et al.</i> (2018)	Mutasim y Elgasim (2016)	Devi y Brar (2018)	Figueroa-González <i>et al.</i> (2014)
<b>Proteína</b>	11	3.32	4.85	5.04
<b>Fibra</b>		4.20	2.70	1.2
<b>Carbohidratos</b>	24	-	-	-
<b>Humedad</b>	62	63.15	53.77	65.26
<b>Cenizas</b>	0.20	-	1.66	5.10
<b>Grasas</b>	2.8	1.35	0.66	7.91

Las altas temperaturas pueden afectar la concentración de los compuestos del ajo en polvo. Anju *et al.* 2010 evaluaron cuatro métodos de secado (a la sombra, al sol, en horno y en microondas) y concluyeron que el método de secado influye de manera significativa en el contenido de  $\beta$ -carotenos. Incluso aunque se use el mismo método de secado la composición proximal del ajo en polvo puede variar como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Composición proximal del ajo en polvo (% base materia seca).

<b>Componente</b>	Anju <i>et al.</i> (2010)	Lee y Lee (2011)
<b>Proteína</b>	7.87±0.08	36.89±1.02
<b>Fibra cruda</b>	4.78±0.06	2.88±0.07
<b>Humedad</b>	3.26±0.08	5.30±0.17
<b>Cenizas</b>	3.62±0.07	4.36±0.28
<b>Grasa</b>	0.84±0.06	12.60±0.84
<b>Carbohidratos</b>	---	37.97±3.06

#### **4.5.1.2 Composición bioquímica**

La composición bioquímica del ajo (*Allium sativum*) es diversa, algunos compuestos presentes en el ajo fresco no están presentes en el ajo en polvo, debido a que se degradan o inestabilizan muy rápidamente durante el procesamiento (Dewi *et al.*, 2017). Entre sus compuestos destacan al menos 33 compuestos organosulfurados y más de 200 compuestos clasificados como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, pigmentos, fibras y compuestos fenólicos, que en conjunto promueven la buena salud (Cuadro 5) (Dewi *et al.*, 2017; Valenzuela-Gutiérrez *et al.*, 2021; Okoro *et al.*, 2023). Los organosulfurados son los que en su mayoría actúan como compuestos bioactivos. Se ha probado que gracias a estos compuestos el ajo tiene propiedades antiinflamatorias, antiparasitarias, antivirales, actividad bactericida, actividad inmunoestimulante, antioxidante, promotora del crecimiento, entre otras (Ajiboye *et al.*, 2016; dos Santos *et al.*, 2022; Okoro *et al.*, 2023).

#### **4.5.1.3 Compuestos bioactivos**

Los compuestos bioactivos son moléculas naturales que se encuentran en las plantas y animales, que por su naturaleza tienen la capacidad de interactuar con los tejidos vivos e influir en las actividades celulares. Estos compuestos tienen una clasificación, estructura química y actividades biológicas muy heterogéneas. Los compuestos bioactivos pueden incluir a las vitaminas, minerales, ácidos grasos, compuestos fenólicos, carotenoides, glucosinatos, etc. (Chandra, 2023). En el ajo se han identificado compuestos bioactivos como los organosulfurados, fenoles, esteroides, flavonoides, taninos, alcaloides, terpenoides, polisacáridos y saponinas. La mayoría de las propiedades farmacológicas se debe a los compuestos organosulfurados (Lawson, 1998; Gambogou *et al.*, 2018; Shang, 2019; Valenzuela-Gutiérrez *et al.*, 2021). Aunque las vitaminas, los minerales y otros compuestos también coadyuvan en beneficio de la salud (Okoro *et al.*, 2023).

Entre los principales compuestos organosulfurados destacan el S-sulfóxido de alilcisteína (aliina), tiosulfonato de dialilo (alicina), sulfuro de dialilo,

disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, ajoeno y la S-alil-cisteína (Dubey *et al.*, 2012; Shang, 2019; Okoro *et al.*, 2023). Estos compuestos pueden ser solubles en agua como el N-acetilcisteína, S-alil cisteína y la cisteinil alanina y solubles en aceite como el dialil trisulfato, dialil disulfato y dialil sulfato (Dewi *et al.*, 2017). En un estudio comparativo de organosulfurados solubles en agua y en aceite realizado por Dewi *et al.* (2017), sugieren que el extracto soluble en agua obtuvo una mayor actividad antioxidante. No obstante, tanto los compuestos hidrosolubles como los liposolubles tienen efectos beneficiosos para la salud.

Cuadro 5. Clasificación de los principales compuestos del ajo (*Allium sativum*).

Clasificación	Nombre del compuesto	Autor
<b>Organosulfurados</b>	Alicina, Vinyl-4H-1, 3-ditiina, Ajoeno, Trisulfuro de dialilo, Aliina, Sulfuro de alil metilo, Sulfuro de dialilo, Z-ajoeno, Disulfuro de dialilo, Quercetina, Alilo, Mercaptano, Dipropil disulfuro, Dipropil tiosulfonato, Tiacremona, Trisulfuro de alil metil, Gammaglutamilcisteína	Guillamón (2018) Okoro <i>et al.</i> (2023) Valenzuela-Gutiérrez <i>et al.</i> (2021)
<b>Proteína y aminoácidos</b>	Alinasa, Lisina, treonina, valina, metionina, isoleucina, triptófano, fenilalanina, leucina, histidina, arginina, ácido aspártico, serina, glutamina, prolina, glicina, alanina, cisteína	Valenzuela-Gutiérrez <i>et al.</i> (2021)
<b>Carbohidratos</b>	Fructanos, sacarosa, escorodosa, glucosa y fructosa	Lawson (1998); Anton (2016)
<b>Lípidos</b>	Ácidos grasos (ácido linoleico, ácido linolénico, ácido oleico, ácido palmítico), Triglicéridos, Fosfolípidos, Prostaglandinas	Valenzuela-Gutiérrez <i>et al.</i> (2021)
<b>Minerales</b>	Calcio, Fósforo, Magnesio, Sodio Potasio, Hierro, Zinc, Manganeso, Azufre, Cobre, Cromo Selenio	Devi y Brar (2018) Valenzuela-Gutiérrez <i>et al.</i> (2021)
<b>Vitaminas</b>	Ácido ascórbico, Tiamina, Riboflavina	Lawson (1998)
<b>Otros compuestos</b>	Ácidos fenólicos, Ácido fítico, Saponinas, Flavonoides	Anton (2016); Lawson (1998)

## Principales compuestos bioactivos del ajo

- **Aliina:** Es uno de los compuestos azufrados más abundantes tanto en el ajo crudo como en el ajo en polvo (Rahman, 2007; Omar y Al-Wabel, 2010; Maza *et al.*, 2014). Los dientes de ajo fresco pierden una cantidad considerable de este compuesto durante el proceso de secado (Rahman, 2007; Omar y Al-Wabel, 2010). Se ha comprobado en humanos que la aliina tiene efectos antibacterianos, preventivos del cáncer y reductores del azúcar en la sangre (Dubey *et al.*, 2012; Okoro *et al.*, 2023).
- **Alicina:** Este compuesto no está presente en el ajo fresco, sino que se forma cuando al cortar o triturar los dientes de ajo, la enzima alinasa entra en contacto con la aliina y reaccionan dando lugar a la alicina. La alicina es el principal componente bioactivo y el compuesto azufrado más abundante en el ajo, ya que representa cerca del 70% de estos compuestos (Lawson, 1988; Guo *et al.*, 2015; Gokalp, 2018). Es muy inestable y se puede transformar en sus metabolitos en horas o minutos, dependiendo de la temperatura a la que sea sometida. Los metabolitos de la alicina incluyen al sulfuro de dialilo, disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, trisulfuro de alilo, metilo y ditiinas (Omar y Al-Wabel, 2010). Cuando la alicina se degrada en sus metabolitos, también se reduce considerablemente su actividad antibacteriana (Reuter *et al.*, 1996). La alicina suministrada a peces, ha mostrado propiedades inmunoestimulantes, antibacterianas y antioxidantes, mejora los parámetros bioquímicos, reduce el contenido de purinas en la carne, mejora la supervivencia, modula el estrés oxidativo y estimula el crecimiento (Rahman, 2007; Shahsavani *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2020; Hamed *et al.*, 2021).

La alicina ejerce su efecto antimicrobiano a través de múltiples mecanismos. Se ha demostrado que la alicina puede interactuar con las proteínas bacterianas inhibiendo su crecimiento o insertarse en la doble cadena del ADN bacteriano destruyendo las paredes y membranas celulares de las bacterias (Bhattacharya *et al.*, 2022; Tao *et al.*, 2022). En cuanto a su efecto antiviral Hu *et al.* (2023) encontraron que la alicina interfiere con la entrada,

replicación y ensamblaje del virus del Síndrome reproductivo y respiratorio porcino.

#### **4.5.2 Usos potenciales del ajo en la acuicultura**

Las propiedades benéficas del ajo son ampliamente conocidas. Sin embargo, es difícil encontrar productos comerciales derivados del ajo que puedan usarse de manera confiable como tratamiento. La inconsistencia en las propiedades del ajo reportadas por diferentes autores puede explicarse por la falta de estandarización de los productos utilizados (Cañizares *et al.*, 2004). En peces se ha probado el efecto del ajo en el tratamiento de enfermedades bacterianas, parasitarias y micóticas. Asimismo, se ha destacado por sus propiedades antioxidantes e inmunoestimulantes.

##### **4.5.2.1 Propiedades antibacterianas**

Se ha estudiado el efecto antibacteriano del ajo en peces como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), el mero moteado (*Epinephelus coioides*), el bagre (*Clarias gariepinus*), el pez dorado (*Carassius auratus*) y la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) (Valenzuela-Gutiérrez *et al.*, 2021). Algunos trabajos señalan que el ajo puede eliminar bacterias patógenas presentes en agua dulce como *Pseudomonas fluorescens*, *Myxococcus piscícola*, *Vibrio anguillarum*, *E. tarda*, *Aeromonas punctata* y *Yersinia ruckeri* (Lee y Gao, 2012). En tilapia se ha probado la efectividad del ajo contra las bacterias *A. hydrophila*, *E. tarda*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae*, *Pseudomonas fluorescens* y *Vibrio harveyi* (Diab *et al.*, 2008; Foysal, 2019; Simorangkir *et al.*, 2020; Susanti *et al.*, 2021).

##### **4.5.2.2 Propiedades antiparasitarias**

Los estudios del ajo como antiparasitario en peces se han enfocado a ectoparásitos. Para fines antiparasitarios el ajo se suele administrar en baños de inmersión o adicionado en las dietas (Aboud, 2010; Abd El-Galil y Aboelhadid, 2012). El ajo ha mostrado efectividad para eliminar o atenuar ectoparásitos de peces tales como *Trichodina* sp., *Gyrodactylus*, *Cryptocaryon irritans* y

*Lernantropus kroyeri* (Chitmanat *et al.*, 2004; Abd El-Galil y Aboelhadid, 2012; Yavuzcan Yildiz *et al.*, 2019).

#### **4.5.2.3 Propiedades antifúngicas**

El ajo, como sustancia anfúngica, ha mostrado efectos positivos contra la saprolegnosis en peces (Amani *et al.*, 2019; Núñez-Torres *et al.*, 2022). Amani *et al.* (2019) señalan que el extracto de ajo, suministrado por inmersión, eliminó la saprolegnosis de manera más eficiente que el químico verde de malaquita cuando se aplicó a huevos y larvas de trucha.

#### **4.5.3 Factores que afectan los compuestos del ajo**

Además de los diferentes cultivares, las variables ambientales, productivas y las labores en la cosecha y postcosecha, la efectividad de los compuestos del ajo puede comprometerse durante el procesamiento, el almacenamiento y la forma de suministro. Entre los factores que afectan los compuestos del ajo posterior a la cosecha se incluye el cortado del ajo, temperatura de secado y el tiempo de almacenamiento.

##### **4.5.3.1 Cortado del ajo**

Para deshidratar el ajo, es común que se corte en rodajas para facilitar el secado, sin embargo, se ha comprobado que mientras más fino sea el corte se incrementa más la pérdida de aliina. Esto es claramente notorio ya que al ser cortado el ajo pierde el olor (aliina), y en consecuencia el polvo de ajo tendrá menos concentración de sulfuros de alilo (Lawson, 1998).

##### **4.5.3.2 Temperatura de secado**

Los métodos y temperaturas de secado tienen un impacto significativo en el contenido de compuestos bioactivos del ajo (Méndez-Lagunas *et al.*, 2017).

La aliina y la alicina son muy sensibles a altas temperaturas. Un proceso de secado entre 50 y 60°C es el ideal para evitar la pérdida de alicina, ya que en este rango de temperatura solo se pierde entre el 5 y 15% de este compuesto (Lawson, 1998). También la s-allyl-cisteína y s-mercaptocisteína se inactivan cuando se someten a temperaturas mayores a 65°C (Bae *et al.*, 2014).

Compuestos como el aceite de ajo, el curado de ajo (ajo añejo) y el ajo destilado al vapor no contienen cantidades significativas de aliina o alicina, dada su técnica de procesamiento. Por su parte, el ajo en polvo conserva cantidades significativas de aliina y alicina presente en el ajo fresco, cuando se deshidrata en condiciones óptimas y controladas, además de ser un producto muy estable (Lawson, 1998; Kemper, 2000; Erguig *et al.*, 2015).

#### **4.5.3.3 Almacenamiento**

A temperatura ambiente el ajo fresco puede tener un promedio de vida de anaquel de tres meses y su concentración de alicina se disminuye progresivamente hasta ser casi indetectable. A temperaturas desfavorables puede perder hasta el 50% de alicina en solo 15 días (Cañizares *et al.*, 2004; Díaz y Jiménez, 2008). Por lo tanto, la calidad del ajo al momento del consumo depende en gran medida de la duración y condiciones de almacenamiento. El contenido de humedad y pH disminuyen gradualmente con el tiempo, mientras que los fenoles, flavonoides totales y la fructosa aumentan. La aliina y la S-aliilcisteína también disminuyen con el tiempo (Kang *et al.*, 2022).

#### **4.5.4 Formas de uso, método de aplicación y dosificación**

Existen en el mercado muchos productos de ajo fabricados con fines farmacéuticos, siendo el más popular el ajo en polvo, por presentar propiedades similares al ajo fresco, siempre que el deshidratado haya sido a temperatura entre 50 y 60°C (Lawson, 1998).

En la acuicultura se suele usar el ajo en diferentes formas: aceite de ajo, ajo fresco molido o machacado, extracto acuoso y ajo en polvo. El más común es el ajo en polvo, suministrado por vía oral a través del alimento. Las dosis utilizadas en peces pueden ser desde 0.05 hasta 40 g/kg de alimento, dependiendo de la especie y etapa fisiológica (Valenzuela-Gutiérrez *et al.*, 2021; Muahiddah y Diamahesa, 2023).

#### **4.5.5 Efectos adversos**

El efecto del ajo en los peces depende de factores como la dosis, la especie y la etapa de desarrollo del pez (Lee y Gao, 2012). Se ha demostrado que el ajo es tóxico para los peces cuando se exceden los límites de tolerancia de la especie. La dosis de toxicidad varía en cada estudio particular y puede estar influenciada por factores agronómicos, de procesamiento y la especie.

Se ha demostrado en peces que, altas dosis de extracto de ajo administradas por inmersión pueden provocar cambios de comportamiento, dificultad respiratoria e incluso la muerte (Syngai *et al.*, 2016; Erazo-Pagador *et al.*, 2022).

La sobredosis de ajo en polvo suministrado en la dieta puede causar una disminución de parámetros hematológicos como el recuento de glóbulos rojos, la concentración de hemoglobina, la hemoglobina corpuscular media y el hematocrito (Irkin *et al.*, 2014). También pueden interferir con el metabolismo, suprimir la mitosis y en consecuencia provocar un crecimiento lento, incluso en dosis muy elevadas puede causar la muerte (Lee y Gao, 2012).

#### **4.6 Parámetros hematológicos**

La hematología es un factor importante que debería tenerse en cuenta para la evaluación de la calidad de la dieta de los peces (Șirbu *et al.*, 2022).

En un sentido más amplio, los análisis sanguíneos de rutina y bioquímica sanguínea se pueden usar como herramientas para obtener información acerca del bienestar, la respuesta del sistema inmune, efectos de algún tratamiento, funciones reproductivas y genéticas, nivel de estrés, estado nutricional y estado de salud o enfermedad de los peces (Seibel *et al.*, 2021). Muchas de las enfermedades de los peces pueden provocar anemia, leucopenia, leucocitosis, trombocitopenia y otras anomalías en las células que conforman la sangre (Clauss *et al.*, 2008). Sin embargo, antes de un diagnóstico se deben contrastar los valores de estudio con los valores de referencia para peces saludables (Blaxhall y Daisley, 1973).

#### 4.6.1 Valores de referencia

Los estudios hematológicos aportan información integral sobre la fisiología de los peces. Su uso en tilapia del Nilo se ve obstaculizado por falta de valores de referencia, además estos solo son aplicables cuando las condiciones ambientales y de manejo son similares entre los grupos comparados (Hrubec *et al.*, 2000; Clauss *et al.*, 2008; Seibel *et al.*, 2021). También es importante considerar los factores extrínsecos e intrínsecos, ya que estos pueden influir en la apariencia de las células y sus respectivos valores obtenidos (Clauss *et al.*, 2008; Witeska *et al.*, 2022). Entre los factores que pueden afectar un análisis hematológico se encuentran la edad, el sexo, la calidad del agua, el estrés y los factores pre y post análisis (Bolasina, 2006; Clauss *et al.*, 2008; Witeska *et al.*, 2022). En el Cuadro 6 se presentan variables hematológicas de tilapia del Nilo sanas, sin sometimiento a tratamiento o prueba de desafío, que para este estudio se tomaron como valores de referencia.

Cuadro 6. Valores de referencia de hematología de tilapia del Nilo en diferentes condiciones de cultivo.

Parámetro	Unidad	Valor			
		Hahn von Hessberg <i>et al.</i> (2014)	Hahn von Hessberg <i>et al.</i> (2011)	Hrubec <i>et al.</i> (2000)	Bittencourt <i>et al.</i> (2003)
Peso	g	50-150 <sup>1</sup>	250-350 <sup>2</sup>	240 <sup>3</sup>	100-900 <sup>4</sup>
SERIE ROJA		$\bar{x} \pm SD^{\circ}$	$\bar{x} \pm SE^{\circ}$	IR*	$\pm SD$
Eritrocitos	10 <sup>6</sup> Cél/mm <sup>3</sup>	1.952	1.7	1.9-2.8	6.9±8.2
Hematocrito	%	32.4±5.8	33.6±0.5	27-37	31.8±8.4
Hemoglobina	g/dL	9.32±2.6	8.5±0.2	7.0-9.8	10.5±3.0
HCM	pg	52.51±22.4	50.5±1.8	28.3-42.3	40.7±34.1
CHCM	%	28.7±5.4	---	22-29	35.2±14.9
VCM	µm <sup>3</sup>	183.4±75.4	200.4±7.9	115-183	140.8±153.1
SERIE BLANCA					
Leucocitos	(10 <sup>3</sup> Cél/mm <sup>3</sup> )	211	121±0.07	21.5-154.6	---
PROTEÍNA TOTAL (PT)					
PT	(g/dL)	31.86±6.14	---	4.8-7.8	3.06±0.65

<sup>1</sup> Machos (obtenidos por reversión sexual) de apariencia sana

<sup>2</sup> Machos (obtenidos por reversión sexual) de apariencia sana provenientes de un cultivo semi-intensivo.

<sup>3</sup> Peces cultivados en un sistema de recirculación a alta densidad (120g/L).

<sup>4</sup> Tilapia (machos y hembras) cultivadas en un sistema semi-intensivo.

<sup>o</sup>SD = Desviación estándar, <sup>°</sup>SE = Error estándar, \*IR = Intervalo de referencia

## **4.6.2 El hemograma y su interpretación**

En la serie roja de un hemograma se suelen incluir los siguientes parámetros: Recuento de eritrocitos, concentración de hemoglobina, valor del hematocrito, volumen corpuscular medio, valor corpuscular medio de hemoglobina y concentración media de hemoglobina corpuscular. En la serie blanca, se incluyen el recuento total de leucocitos y en ocasiones también el recuento diferencial de leucocitos, el cual consiste en evaluar el porcentaje de los diferentes tipos de leucocitos como son: linfocitos, neutrófilos, monocitos, eosinófilos y basófilos (Witeska *et al.*, 2022).

### **4.6.2.1 Serie roja**

- Eritrocitos: Los eritrocitos de los peces teleósteos presentan características similares a la de otros vertebrados en tamaño, propiedades de tinción y ultraestructura, pero difieren de estos en que poseen un núcleo que van de ovalados a elípticos en posición central (Roberts y Ellis, 2012). Los eritrocitos maduros son de forma ovalada-elíptica con abundante citoplasma eosinofílico. Los eritrocitos inmaduros suelen ser más redondos con un citoplasma teñido de azul y el núcleo más grande y más heterocromático (Clauss *et al.*, 2008).

- Hemoglobina: La hemoglobina es la proteína de los eritrocitos que transporta el oxígeno y el dióxido de carbono (Roberts & Ellis, 2012). La estimación de la hemoglobina se ha utilizado como un indicador de anemia. La hemoglobina está estrechamente relacionada con el hematocrito, los estudios demuestran que los niveles de ambos parámetros varían entre especie y entre machos y hembras, aun cuando sean sometidos a las mismas condiciones (Blaxhall, 1972).

- Hematocrito: El hematocrito o volumen del paquete celular (PCV) es la medición del porcentaje de los eritrocitos (Voigt y Swist, 2011). El valor de hematocrito depende del número y tamaño de los eritrocitos, además que puede ser afectado por diversos factores tales como parámetros de calidad del agua, fármacos y algunas enfermedades infecciosas.

El valor del hematocrito en peces puede ser desde casi 0 hasta 50%. Muchos peces teleósteos tienen un hematocrito que se encuentra en un rango de 20 a 40% (Fange, 1992), tal es el caso de la tilapia del Nilo (Cuadro 6). Para estos peces un PCV de 45% puede indicar un aumento en la cantidad de eritrocitos (policitemia) que puede ser causada por deshidratación, hipoxia o estrés (Fange, 1992; Mc Donald y Milligan, 1992; Clauss *et al.*, 2008; Hahn-von-Hessberg *et al.*, 2014). Mientras que, un PCV menor a 20% se relaciona con algún tipo de anemia (Clauss, 2008).

Un estudio en trucha reveló que los machos poseen niveles más altos de hematocrito que las hembras, por lo que se sugiere que se separen los componentes sanguíneos según el sexo, para evitar atribuir las diferencias de sexo a otros factores (Sniesko, 1960 en Blaxhall, 1972).

- Volumen corpuscular medio: El volumen corpuscular medio mide el tamaño promedio de los eritrocitos y es muy útil en el diagnóstico de anemia debido a que su valor permite identificar si la anemia es macrocítica (hematíes grandes), microcítica (hematíes pequeños) o normocítica (hematíes normales) (Torrens, 2015).

- Hemoglobina corpuscular media: La hemoglobina corpuscular media se expresa en picogramos y representa la cantidad promedio de hemoglobina presente en cada eritrocito. Es un índice que relaciona la cantidad de hemoglobina con el número de eritrocitos. Su medición permite identificar normocromía (cantidad normal de hemoglobina) e hipocromía (menos hemoglobina que la normal). Este índice es el más fiable para referirse a la cantidad de hemoglobina presente en cada eritrocito. Cuando el índice se obtiene a partir de datos obtenidos directamente de la citometría de flujo, este valor es muy confiable, sin embargo, cuando se emplean métodos manuales para su determinación no son tan confiables (Torrens, 2015).

- Concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM): La concentración de hemoglobina corpuscular media es un índice eritrocitario, que se mide como porcentaje y relaciona a la hemoglobina con el hematocrito. La CHCM es un dato de referencia poco preciso y, por lo tanto, menos útil, más aún

cuando este dato se determina a partir de datos obtenidos mediante citómetros de flujo. Este valor es más confiable, cuando se determina con datos obtenidos con métodos manuales, sin embargo, se debe tomar en cuenta que sus valores normales se alteran sólo en condiciones extremas (Torrens, 2015).

Los índices eritrocitarios VCM (que se refiere al tamaño) y CHCM (cromía), así como el recuento reticulocitario permiten diagnosticar los diferentes tipos de anemia existentes que pueden ser: normocítica-normicrómica, microcítica-hipocrómica, macrocítica, regenerativa o arregenerativa (Torrens, 2015).

#### **4.6.2.2 Serie blanca**

Leucocitos: Se denomina serie blanca al recuento total de leucocitos, estos constituyen una población celular heterogénea en cuanto a morfología y funcionalidad (Torrens, 2015). Los leucocitos en peces al igual que en la mayoría de los vertebrados incluye cinco tipos de células, los cuales incluyen a los linfocitos, neutrófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos (Akinrotimi *et al.*, 2018). El perfil leucocitario varía entre especies, incluso se pueden presentar variaciones en organismos de la misma especie por efecto de la contaminación y condiciones hipóxicas (Modra *et al.*, 1998; Tierney *et al.*, 2004). Los diferentes tipos de leucocitos desempeñan un papel crucial en las respuestas inmunitarias, entre las que se pueden mencionar la respuesta proinflamatoria, destrucción celular, la secreción de citocinas y la fagocitosis (Fei *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2023).

#### **4.6.2.3 Proteína total en plasma**

La proteína total en el plasma de peces oscila entre 2 y 8 g/dL y al parecer se mantiene así dentro y entre especies, aunque cada especie tiene un valor específico de proteína total. Un valor incrementado fuera del rango de referencia puede ser causado por un desplazamiento de fluido del plasma hacia el compartimento intracelular, mientras que una disminución puede deberse a la hidratación del plasma. El desplazamiento del líquido fuera del plasma se debe a un desequilibrio osmótico entre los compartimentos extracelular e intracelular. La

reducción en la proteína plasmática es menos común y se asocia a la inanición prolongada y casos graves de estrés (Mc Donald y Milligan,1992).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Sitio del experimento

#### 5.1.1 Ubicación geográfica del experimento

La etapa experimental se llevó a cabo en la presa Miguel Alemán en la comunidad de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca (Figura 1). El municipio de San Pedro Ixcatlán se encuentra ubicado en las coordenadas  $18^{\circ} 09' 13''$  latitud Norte y  $96^{\circ} 34' 55''$  longitud Oeste, cuenta con una elevación de 342 m.s.n.m. La temperatura oscila entre 18 y 30 °C, la precipitación media anual es de 1274 mm, presenta un clima cálido húmedo con lluvias todo el año (INEGI 2010; Romero Hernández, 2021).



Figura 1. Mapa de localización del Municipio de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. (Fuente: elaboración propia). Con información de Wikimedia commons en Archivo: Oaxaca San Pedro Ixcatlán location map.svg.

#### 5.1.2 Características del cuerpo de agua

La presa Miguel Alemán cuenta con una profundidad promedio de 30 m y temperatura que oscila entre 24.5 y 30°C en sus primeros dos m (profundidad

donde se llevó a cabo el experimento), dependiendo de la estación del año. El sitio específico donde se instalaron las jaulas del experimento, contaba con aproximadamente 15 m de profundidad.

## 5.2 Diseño metodológico y experimental

El presente trabajo de investigación evaluó el efecto del ajo en polvo, sobre el crecimiento, la eficiencia alimenticia, el estado de salud y la carga parasitaria de tilapia del Nilo, el cual se suministró a través de la dieta.

Se planteó un diseño completamente al azar con cuatro niveles de inclusión de ajo añadidos al alimento comercial Cuadro 7.

Cuadro 7. Arreglo del diseño experimental.

	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
% de ajo por kilogramo	0%	0.5%	1.5%	2.5%
Repeticiones/tratamiento	3	3	3	3
Organismos/jaula	150	150	150	150
Organismos/tratamiento	450	450	450	450

Las unidades experimentales consistieron en jaulas flotantes cuadradas (4x4m y 2 m de profundidad), fabricadas con material PTR y malla alquitranada. Las jaulas se fijaron en las cuatro esquinas superiores a una guía de plástico, cada fila con 12 jaulas (Figura 2). Los tratamientos se asignaron aleatoriamente. La distancia entre jaulas fue de 2.5 m y entre rieles de 6 m. Se usó infraestructura y técnicas de cultivo empleadas por acuicultores de la presa Miguel Alemán, para exponer a los organismos experimentales a condiciones similares a las del cultivo de tilapia del Nilo en la región. La etapa de suplementación con ajo tuvo una duración de 30 días.

## 5.3 Organismos experimentales

### 5.3.1 Procedencia

Se adquirieron 3,000 crías de tilapia del Nilo del laboratorio “Tilapia del Papaloapan”, ubicado en la localidad de Arroyo de Banco, Valle Nacional, Oaxaca. En la Universidad del Papaloapan se sembraron en un estanque de geomembrana de 6 m de diámetro y 1 m de altura (Figura 3). Se mantuvieron en la unidad acuícola de la Universidad durante un mes, para reducir el riesgo de mortalidad en la etapa de cría, que ocurre habitualmente en los cultivos de tilapia del Nilo en la Presa Miguel Alemán.



Figura 2. Disposición de las jaulas experimentales en el vaso de la presa Miguel Alemán, en inmediaciones de la comunidad de San Pedro Ixcatlán, Oaxaca.



Figura 3. Siembra de crías de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en la unidad experimental de la Universidad del Papaloapan.

### **5.3.2 Condiciones de cultivo previas a la fase experimental**

#### **5.3.2.1 Fase previa en la Universidad del Papaloapan**

Los peces contaban con 45 días (post-eclosión) y un peso promedio de 0.95 g al momento de su llegada. Después de un mes su peso promedio fue de 6.90 g. Durante este periodo los peces se mantuvieron a una densidad de 200 organismos/m<sup>3</sup>, con un recambio de agua diariamente del 30%. Se alimentó a saciedad (cinco veces al día) con un alimento comercial (45% de proteína). Con el objetivo de corroborar que los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieran en el nivel deseado, se monitoreó la calidad del agua una vez por semana con una sonda multiparamétrica (Hanna Instruments, modelo HI98193) y un fotómetro (Hanna Instruments, modelo HI83303). Los parámetros se muestran en el Cuadro 8. No se presentó mortalidad durante este periodo.

Cuadro 8. Registro de la calidad del agua de cultivo de los peces durante su estancia en la Universidad del Papaloapan.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b><math>\bar{x} \pm SD</math></b>
Temperatura	°C	28.0 ± 1.4
Oxígeno disuelto	mg/L	1.5 ± 0.5
Amonio	mg/L	0.9 ± 0.1
Nitrito	mg/L	5.0 ± 1.7

Para evitar mortalidades por mala calidad del agua en esta etapa, se realizaron recambios de 30% del agua diariamente. Durante su estancia en la Universidad los peces se mantuvieron con aireación.

### **5.3.2.2 Fase de aclimatación en la presa**

Los peces se sembraron en la presa con un peso inicial de 6.90 g a una densidad de 38 organismos/m<sup>3</sup>. Después de una semana, los peces mostraron signos de enfermedad y posteriormente se presentó mortalidad de aproximadamente el 40% de los organismos que inicialmente se habían adquirido para la experimentación. La fase experimental se inició hasta que menguó la mortalidad, lo cual se logró 30 días después, haciendo desdobles y baños de sal, evitándose el uso de antibióticos u otro químico que pudiera interferir con los resultados.

### **5.3.3 Condiciones de cultivo durante el experimento**

Se inició el experimento con organismos que contaban con un peso promedio de 106.8 ± 23.4 g y longitud total de 17.2 ± 1.2 cm.

Previo a la siembra se realizó un baño de sal a una concentración de 5 g/L de agua por cinco minutos, una vez iniciado el experimento no se realizó ningún tratamiento de saneamiento. Se manejó una densidad de 10 organismos/m<sup>3</sup> durante toda la fase experimental.

Los peces se alimentaron a saciedad aparente con su respectiva dieta experimental que consistió en alimento comercial (control) más su correspondiente porcentaje de suplementación con ajo en polvo 0.5, 1.5 y 2.5%, el porcentaje de suplementación fue con respecto a la ración de alimento

suministrado. Se usó alimento comercial de la marca Malta Cleyton (Cuadro 9). La metodología de adición de ajo a la dieta, se describe en la sección 5.4.2.

Cuadro 9. Contenido nutricional del alimento comercial (Malta Cleyton®) suministrado a la tilapia del Nilo durante la fase experimental.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Proteína	30.0
Grasa	5.5
Humedad	12.0
Ceniza	9.0
Fibra	5.0
Extracto libre de Nitrógeno	38.5

El alimento se suministró a saciedad de acuerdo a los protocolos de la granja comercial, tres veces al día en la primera semana, en las tres semanas restantes se alimentó dos veces al día y se pesó la cantidad suministrada para determinar las variables de parámetros productivos. El porcentaje de alimentación se ajustó en cada jaula semanalmente.

Se monitoreó la calidad del agua, durante todo el experimento una vez por semana. El muestreo del agua se realizó a un metro de profundidad en un horario entre 2:00 y 4:00 pm.

## **5.4 Dietas experimentales**

### **5.4.1 Obtención del ajo en polvo**

El ajo fresco (materia prima) se obtuvo de mercados de la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca. Se desconoce la variedad de ajo procesado; sin embargo, localmente se le conoce como ajo morado o de cáscara dura.

En la selección de los bulbos se tomó en cuenta la frescura, color e integridad y se desecharon los dientes dañados. Se pesaron los dientes de ajo con cáscara y sin cáscara con una balanza digital (Ohaus Scout Pro 0-2000 ± 0.1

g) para la determinación del rendimiento y porcentaje de humedad de la materia prima, antes del secado.

#### **5.4.1.1 Proceso de secado**

Antes del secado se pelaron los dientes de ajo, desechando la cáscara. Se cortaron los dientes en rodajas de aproximadamente 2 a 3 mm. Se secaron en un horno por convección (ECOSHEL, modelo LCD-65B) a una temperatura de 45°C por 48 horas.

El tiempo de secado se determinó mediante pruebas preliminares de determinación de humedad de las hojuelas a diferentes tiempos de secado, hasta que se consiguió un peso constante (cuando la disminución en el peso de las hojuelas fue despreciable). Las pruebas de determinación de humedad se realizaron con una termobalanza (SHIMADZU, modelo MOC-120H).

#### **5.4.1.2 Molienda y tamizado**

Las hojuelas de ajo seco se molieron en una licuadora de uso doméstico por tres minutos. El polvo se cribó con un tamiz (Alcon) de 0.425 mm, se empacó en bolsas con cierre hermético y se mantuvo en refrigeración a 6°C hasta su incorporación al alimento.

#### **5.4.1.3 Determinación del rendimiento**

El rendimiento del polvo de ajo se estimó de la siguiente manera:

$$R = \left( \frac{\text{Gramos de ajo en polvo obtenido}}{\text{Gramos de ajo sin cáscara}} \right) \times 100$$

El rendimiento del ajo en polvo se reportó en porcentaje.

#### **5.4.2 Inclusión del ajo en el alimento**

Se usó grenetina de origen animal como vehículo de adhesión del polvo de ajo al alimento, se disolvió en agua potable en una proporción del 3% masa/volumen, con un requerimiento de aproximadamente 100 mL de solución de grenetina para preparar un kilogramo de alimento. La mezcla se realizó de manera manual en forma envolvente hasta lograr una consistencia visiblemente homogénea. Una vez incorporado el ajo, se secó el alimento a temperatura

ambiente bajo sombra y con ventilación por dos horas. Al alimento que sirvió como grupo control (T0) se le adicionó solamente grenetina. Las dietas preparadas se almacenaron en bolsas ziploc en una bodega de alimento a temperatura ambiente.

### 5.4.3 Variables productivas

El peso húmedo y la longitud total se calcularon de manera directa *in situ*. Las variables ganancia de peso, factor de conversión alimenticia, tasa de eficiencia alimenticia, tasa específica de crecimiento, factor de condición, rendimiento en filete y sobrevivencia se calcularon de manera indirecta. Las biometrías se realizaron a los 0, 15 y 30 días a partir del inicio del experimento.

- Peso húmedo (PH)

El peso húmedo se estimó con una balanza digital (Ohaus Scout Pro 0-2000 ± 0.1 g). Para determinar el peso por repetición en las biometrías que se realizaron, se muestreó el 10% de los organismos por jaula y a partir del dato muestral se calculó el peso promedio de los organismos.

- Longitud total (LT)

La longitud total se estimó con un ictiómetro marca Aquatic Eco-System®. Para determinar la longitud total en todas las biometrías que se realizaron, se muestreó el 10% de los organismos por jaula y a partir del dato muestral se calculó la longitud total promedio de los organismos. El valor de la LT consistió en medir al pez desde la punta de la boca hasta el lóbulo más extenso de la aleta caudal.

- Ganancia de peso (GP)

La variable GP se calculó con la siguiente fórmula:

$$GP = W_f - W_i$$

Donde:

$W_f$  = Biomasa final (g)

$W_i$  = Biomasa inicial (g)

Para calcular  $W_i$  y  $W_f$  por repetición, se pesaron 15 organismos por jaula y se calculó el peso promedio de los organismos y a partir de los pesos promedio muestrales se calculó la biomasa total de organismos (peso total de organismos/jaula), en ambos casos. Los resultados de esta variable se reportaron en gramos.

- Factor de conversión alimenticia (FCA)

El FCA se calculó de la siguiente manera:

$$FCA = \frac{CA}{GP}$$

Donde:

CA = Cantidad de alimento suministrado (g)

GP = Ganancia de peso (g)

Para calcular el FCA se tomaron el consumo de alimento y la ganancia de peso por tratamiento registrado cada 15 días. El valor de FCA se reportó en gramos.

- Tasa de eficiencia alimenticia (TEA)

La TEA se determinó de la manera siguiente:

$$TEA = \left( \frac{GP}{CA} \right) \times 100$$

Donde:

GP = Ganancia de peso (g)

CA = Consumo de alimento (g)

El valor de TEA se reportó en porcentaje.

- Tasa específica de crecimiento (TEC)

La TEC se determinó mediante la fórmula:

$$TEC = \left( \frac{\ln w_f - \ln w_i}{t} \right) \times 100$$

Donde:

$\ln W_f$  = Logaritmo natural del peso final

$\ln W_i$  = Logaritmo natural del peso inicial

t = Tiempo (días)

El valor de TEC se reportó en porcentaje por día (%/día)

- Factor de condición (k)

El factor de condición se calculó mediante la fórmula propuesta por Bannister, (1976) de la siguiente manera:

$$k = \left( \frac{W}{L^3} \right) \times 100$$

Donde:

W = Peso húmedo (g)

L = Longitud total (cm)

Los valores de esta variable se reportaron en g/cm<sup>3</sup>.

- Rendimiento en filete (Rfi)

El Rfi se calculó mediante la formula:

$$Rfi = \left( \frac{Wfi}{Wh} \right) \times 100$$

Donde:

Wfi = Peso del filete (g)

Wh = Peso húmedo (g)

Los valores de esta variable se reportaron en porcentaje.

- Supervivencia (S)

El porcentaje de supervivencia se calculó de la siguiente manera:

$$S = \left( \frac{Np_f}{Np_i} \right) \times 100$$

Donde:

Np<sub>f</sub> = Número de peces final

Np<sub>i</sub> = Número de peces inicial

#### 5.4.4 Variables hematológicas

Las variables hematológicas tomadas de forma directa fueron los glóbulos rojos, el hematocrito, la proteína total en plasma, la hemoglobina y los glóbulos blancos. La hemoglobina corpuscular media, la concentración de hemoglobina corpuscular media y el volumen corpuscular medio se determinaron mediante cálculos a partir de las variables directas.

Se realizó la extracción de sangre en el sitio del experimento. La muestra sanguínea se obtuvo por punción de la vena caudal con jeringas de 3 mL (embebidas en heparina). La sangre se almacenó en tubos con EDTA y se mantuvo en una hielera ( $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) hasta su análisis en el laboratorio Químico-Biológico de la Universidad del Papaloapan. Para la determinación de las variables hematológicas tanto directas como indirectas se muestrearon 15 organismos/tratamiento.

- Glóbulos rojos (GR)

Para el conteo de glóbulos rojos se usó la técnica de solución de Hayem, que consistió en diluir las muestras de sangre con la solución de Hayem. La dilución se realizó en una pipeta de Thomas (para conteo de glóbulos rojos), añadiendo sangre hasta la marca 0.5, posteriormente se aforó con solución de Hayem hasta la marca 101, lo que permite una dilución de 1:200. Se agitó la pipeta por tres minutos para homogeneizar la muestra. Se eliminaron las primeras gotas de la pipeta y se llenó la cámara de Neubauer por capilaridad. Posteriormente se realizó el conteo de eritrocitos en cinco cuadros (uno central y cuatro de los extremos) del cuadrado secundario central de la cámara de Neubauer. Se realizó la lectura en un microscopio compuesto a 40x. El valor que se reportó como número de eritrocitos se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Núm. de eritrocitos/mm}^3 = \frac{N \times 200 \times 10 \times 400}{80} = N \times 10\,000$$

Donde:

N = Número de eritrocitos contados (suma del conteo en los 5 cuadros)

200 = Factor de dilución

10 = Corrección de profundidad de la cámara para llevar a  $\text{mm}^3$

- Hematocrito (HTC)

Para la determinación del Hematocrito se colocó la sangre de los peces en tubos con anticoagulante. De los tubos se tomó una porción de sangre para llenar 3 microtubos al 70 u 80%, posteriormente se selló uno de los extremos del microtubo con critoseal. Se centrifugó durante cinco minutos a 11,000 rpm. La lectura se efectuó con un lector de microhematocrito MOD PL-17. El valor obtenido se expresó en porcentaje.

- Proteína total (PT)

La proteína total se midió con un refractómetro proteinómetro, colocando una gota del plasma centrifugado en éste. Los resultados se expresaron en g/dL, previo a la medición se calibró el refractómetro con agua destilada.

- Hemoglobina (HB)

La hemoglobina se determinó con el Kit comercial Mission Hb Hemoglobin Test Strips, Se colocó una gota en el lector y el valor de esta prueba se reportó en g/dL.

- Hemoglobina corpuscular media (HCM)

La HCM se calculó con la fórmula siguiente:

$$HCM = \frac{HB \times 100}{GR}$$

Donde:

HB = Hemoglobina (g/dL)

GR = Glóbulos rojos ( $10^6$  células/ $\text{mm}^3$ )

El valor se reportó en  $\mu\text{g}$ .

- Concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM)

$$CHCM = \frac{(HB \times 100)}{HTC}$$

Donde:

HB = Hemoglobina (g/dL)

HTC = Hematocrito (%)

Los valores de CHCM se reportaron en porcentaje.

- Volumen corpuscular medio (VCM)

El VCM se calculó con la siguiente fórmula

$$VCM = \frac{(HTC \times 10)}{GR}$$

Donde:

HTC = Hematocrito (%)

GR = Glóbulos rojos ( $10^6$  células/mm<sup>3</sup>)

- Glóbulos blancos (GB)

Para el conteo de glóbulos blancos se usó la técnica de solución de Türk, que consistió en diluir las muestras de sangre con la solución de Türk. La dilución se realizó en una pipeta de Thomas (para conteo de glóbulos blancos), añadiendo sangre hasta la marca 0.5, posteriormente se aforó con solución de Türk hasta la marca 101. Se agitó la pipeta por tres minutos para homogeneizar la muestra. Se eliminaron las primeras gotas de la pipeta y se llenó la cámara de Neubauer por capilaridad. Posteriormente se realizó el conteo de cuatro cuadros grandes (de las esquinas) de la cámara de Neubauer. Se realizó la lectura en un microscopio compuesto a 40x. El número de leucocitos reportados se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Núm. de leucocitos/mm}^3 = \frac{N \times 20 \times 10}{4} = N \times 50$$

Donde:

N = Número de leucocitos contados (suma del conteo de los 4 cuadros grandes exteriores)

20 = Factor de dilución

10 = Corrección de profundidad de la cámara para llevar a mm<sup>3</sup>

#### 5.4.5 Variables de carga parasitaria

Para la obtención de las variables de infección parasitaria se sacrificaron 15 peces por tratamiento (3.3% del total de organismos/tratamiento). El sacrificio se realizó introduciendo una aguja de disección en la región del cerebro, según lo recomendado por Midtlyng *et al.* (2000), para ejemplares sujetos a análisis parasitológico.

Inmediatamente después del sacrificio, se examinaron los órganos externos (piel, ojos, branquias, aletas) en busca de lesiones o irregularidades y así evaluar visualmente el estado del órgano.

La carga parasitaria se evaluó mediante la prevalencia e intensidad de la infección de parásitos externos en tres sitios (piel, branquias y aletas). En piel se determinó mediante el raspado del mucus, el cual se colocó en un portaobjetos. Una vez obtenida la muestra se fijó usando safranina como colorante de contraste. Las muestras fijadas se empacaron para su posterior análisis en el Laboratorio Químico-Biológico de la Universidad del Papaloapan. Las placas se examinaron con un microscopio compuesto con los objetivos 10 y 40x.

Las muestras de branquias y aletas se fijaron en formol al 10% a temperatura ambiente (de acuerdo a la técnica propuesta por Midtlyng *et al.*, 2000) para su posterior análisis en el Laboratorio Químico-Biológico de la Universidad del Papaloapan. El análisis parasitológico se realizó colocando las muestras en agua y la observación se realizó en un microscopio estereoscópico (Marca: Carl Zeiss; Modelo: Stemi DV4) con los objetivos 25 y 35x.

La infección parasitaria se reportó con base en la prevalencia e intensidad de la infección. La prevalencia e intensidad media se determinó de acuerdo a Bush *et al.* (1997) y la intensidad mediana de acuerdo a Reiczigel *et al.* (2019) y se evaluaron de la siguiente manera:

- Prevalencia

$$P = \left( \frac{Ni}{Nt} \right) \times 100$$

Donde:

P = Prevalencia

N<sub>i</sub> = Número de hospederos infectados con 1 o más individuos de una especie particular (o grupo taxonómico) de parásitos.

N<sub>t</sub> = Número de hospederos examinados

- Intensidad media

$$\text{Intensidad media} = \frac{p}{N_i}$$

P = Número promedio de una especie particular de parásitos encontrados

N<sub>i</sub> = Número de hospederos infectados

- Intensidad mediana.

Se calculó la mediana del número de parásitos en particular encontrados en los organismos infectados. La identificación de los parásitos encontrados se hizo solo a nivel de género, según características contrastadas con la literatura.

### **5.5 Pruebas estadísticas**

Los datos se analizaron tal cual fueron obtenidos de los muestreos o en su caso calculados, a excepción de los datos de la variable sobrevivencia, los cuales fueron transformados con la función arcoseno, previo al análisis estadístico por la naturaleza porcentual de estos datos. Una vez se realizó la transformación, el análisis estadístico para esta variable siguió el mismo procedimiento que el resto de las variables.

Se realizó la prueba de normalidad (Anderson-Darling) y de homocedasticidad (Levene) a los datos para constatar los supuestos del análisis de varianza (ANDEVA). Se realizó el ANDEVA a las variables que cumplieron con los supuestos y posteriormente se realizó la prueba Tukey de comparación de medias. La variable de intensidad parasitaria en piel fue analizada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (debido a que no cumplió con los supuestos del ANOVA), posterior a esta prueba se realizó la prueba de Mann-Whitney para la comparación de medianas. Los análisis estadísticos se realizaron con el Software MINITAB®19. Se trabajó con un nivel de confianza del 95%.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Características físicas del ajo procesado

En la eliminación de la cáscara y otros desechos se perdió 12.4% del peso total de los bulbos seleccionados. El contenido de humedad en el ajo fresco fue de 66.4%, en las hojuelas (secas antes de la molienda) fue de 7.0% y en el polvo de ajo obtenido al final del proceso fue de 8.7%. Se obtuvo un rendimiento de 29.7% de ajo en polvo por kilogramo de ajo fresco procesado. El costo de producción por kilogramo de ajo en polvo fue de \$268.8 pesos.

### 6.2 Características de los organismos

Los organismos objeto de estudio en la presente investigación provenían de una población no monosexada con un 63.3% de machos y 36.7% de hembras. Los porcentajes de machos y hembras por tratamiento se muestran en el Anexo A.

### 6.3 Calidad del agua

En el cuadro 10 se muestra el valor promedio y la desviación estándar de los parámetros de calidad del agua, durante el periodo experimental.

Cuadro 10. Registro de la calidad del agua de la presa Miguel Alemán durante el periodo experimental.

Parámetro	Unidad	$\bar{x} \pm SD$
Temperatura	°C	27.2±0.70
Oxígeno disuelto	mg/L	5.14±0.95
pH	mg/L	7.73±0.15
Amonio	mg/L	0.23±0.19
Nitrato	mg/L	1.42±0.57
Fosfatos	mg/L	0.17±0.09
Cloro	mg/L	0.46±0.15

### 6.4 Variables productivas

En el Anexo B se presenta un resumen de las variables productivas evaluadas.

a) Efecto del ajo sobre el crecimiento

El tratamiento T3 incrementó el crecimiento de manera significativa ( $p < 0.05$ ) en las variables peso húmedo (PH), ganancia de peso (GP), tasa específica de crecimiento (TEC) y el rendimiento en filete (Rfi), respecto al tratamiento control (T0) en los dos periodos de muestreo. Mientras que en la longitud total (LT), el T3 mostró diferencias significativas con respecto a T1 y T0 en el segundo muestreo. No se encontraron diferencias significativas en el factor de condición (k) con la suplementación de ajo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valor promedio  $\pm$  desviación estándar de variables productivas en tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada con una dieta comercial suplementada con ajo (*Allium sativum*).

Variables					
	PH (g)	LT (cm)	GP (g)	TEC (%/día)	Rfi (%)
<b>TM</b>			<b>D0</b>		
<b>T0</b>	108.8 $\pm$ 25.8	17.3 $\pm$ 1.3	-	-	-
<b>T1</b>	108.5 $\pm$ 19.9	17.3 $\pm$ 1.0	-	-	-
<b>T2</b>	104.5 $\pm$ 25.4	16.8 $\pm$ 1.5	-	-	-
<b>T3</b>	105.5 $\pm$ 22.6	17.3 $\pm$ 1.2	-	-	-
			<b>D15</b>		
<b>T0</b>	182.1 <sup>b</sup> $\pm$ 36.6	20.2 $\pm$ 1.4	73.2 <sup>b</sup> $\pm$ 11.2	3.4 <sup>b</sup> $\pm$ 0.4	-
<b>T1</b>	190.2 <sup>ab</sup> $\pm$ 29.7	20.5 $\pm$ 1.0	81.7 <sup>ab</sup> $\pm$ 5.9	3.7 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.4	-
<b>T2</b>	194.7 <sup>ab</sup> $\pm$ 34.2	20.5 $\pm$ 1.3	90.2 <sup>ab</sup> $\pm$ 5.3	4.1 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.4	-
<b>T3</b>	203.3 <sup>a</sup> $\pm$ 33.3	20.8 $\pm$ 1.0	97.8 <sup>a</sup> $\pm$ 1.6	4.4 <sup>a</sup> $\pm$ 0.1	-
			<b>D30</b>		
<b>T0</b>	232.4 <sup>b</sup> $\pm$ 64.9	21.9 <sup>b</sup> $\pm$ 1.7	50.4 <sup>b</sup> $\pm$ 4.3	1.4 <sup>b</sup> $\pm$ 0.2	27.6 <sup>b</sup> $\pm$ 4.0
<b>T1</b>	254.6 <sup>ab</sup> $\pm$ 58.1	22.3 <sup>b</sup> $\pm$ 1.8	64.3 <sup>ab</sup> $\pm$ 11.8	1.6 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.5	28.0 <sup>ab</sup> $\pm$ 3.7
<b>T2</b>	263.2 <sup>ab</sup> $\pm$ 60.9	22.6 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.8	68.5 <sup>ab</sup> $\pm$ 13.3	1.8 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.2	28.8 <sup>ab</sup> $\pm$ 4.0
<b>T3</b>	283.1 <sup>a</sup> $\pm$ 60.3	23.3 <sup>a</sup> $\pm$ 1.3	79.9 <sup>a</sup> $\pm$ 5.0	2.0 <sup>a</sup> $\pm$ 0.1	31.4 <sup>a</sup> $\pm$ 2.9

TM = tratamiento. D15 = día 15, D30 = día 30. T0 = control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%. PH = peso húmedo, LT = longitud total, GP = ganancia de peso, TEC = tasa específica de crecimiento y Rfi = rendimiento del filete. Las medias que no comparten superíndice son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba de Tukey.

b) Efecto del ajo sobre los índices de eficiencia alimenticia

El factor de conversión alimenticia osciló entre 1.0 y 1.3, observándose una disminución de este valor a medida que se incrementó el porcentaje de ajo (Cuadro 12). En el primer muestreo (M15) se obtuvieron tres grupos de medias con diferencias significativas. En orden de menor a mayor el primer grupo de medias conformado por el T3 y T2 (FCA de 1.0), seguido del T1 (FCA de 1.2) y la media mayor correspondió al grupo control (FCA de 1.3).

En el segundo muestreo (M30) los tratamientos T3 y T2 (FCA de 1.0) mostraron diferencias significativas respecto al grupo control (FCA de 1.3).

En el muestreo a los 15 días se obtuvieron tres grupos de medias con diferencias significativas en la tasa de eficiencia alimenticia (TEA). La mayor media correspondió al tratamiento T3 y la menor al grupo control (Cuadro 12). A los 30 días la mayor media de TEA se obtuvo nuevamente con el tratamiento T3, presentando diferencias significativas únicamente con respecto al grupo control (T0).

Cuadro 12. Valor promedio  $\pm$  desviación estándar de índices de eficiencia alimenticia en tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada con una dieta comercial suplementada con ajo (*A. sativum*).

Tratamiento	Variables	
	FCA	TEA
		<b>D15</b>
T0	1.3 <sup>a</sup> $\pm$ 0.0	79.2 <sup>c</sup> $\pm$ 0.5
T1	1.2 <sup>b</sup> $\pm$ 0.0	87.0 <sup>b</sup> $\pm$ 1.0
T2	1.0 <sup>c</sup> $\pm$ 0.1	95.8 <sup>a</sup> $\pm$ 4.1
T3	1.0 <sup>c</sup> $\pm$ 0.0	98.5 <sup>a</sup> $\pm$ 1.7
		<b>D30</b>
T0	1.3 <sup>a</sup> $\pm$ 0.1	78.4 <sup>b</sup> $\pm$ 4.0
T1	1.1 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.1	90.4 <sup>ab</sup> $\pm$ 3.8
T2	1.0 <sup>b</sup> $\pm$ 0.1	97.8 <sup>a</sup> $\pm$ 9.2
T3	1.0 <sup>b</sup> $\pm$ 0.1	97.1 <sup>a</sup> $\pm$ 6.7

D15 = día 15, D30 = día 30. T0 = control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%. FCA = Factor de conversión alimenticia y TEA = Tasa de eficiencia alimenticia. Las medias que no comparten superíndice son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba de Tukey.

c) Efecto del ajo en la sobrevivencia de tilapia del Nilo

La suplementación con ajo no mostró diferencias significativas entre tratamientos en la variable sobrevivencia (S) en ninguno de los periodos evaluados (Anexo B). La mortalidad observada por tratamiento en ambos periodos (primer periodo de 0 a 15 días y segundo período de 16 a 30 días) se muestra en el Anexo C.

### 6.5 Variables hematológicas

El conteo de glóbulos rojos presentó un incremento a medida que se aumentó el porcentaje de ajo en la dieta. Este incremento mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el T3 y el grupo control (Cuadro 13).

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los valores de hematocrito (HTC), proteína plasmática total (PT), glóbulos blancos (GB), hemoglobina (HB), concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM), hemoglobina corpuscular media (HCM) y volumen corpuscular medio (VCM) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valor promedio de variables hematológicas en tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con una dieta comercial suplementada con ajo (*A. sativum*).

Variables	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
<b>GR (<math>10^6</math> Cél/mm<sup>3</sup>)</b>	1.7 <sup>b</sup> ± 0.2	1.8 <sup>ab</sup> ± 0.1	2.0 <sup>ab</sup> ± 0.2	2.1 <sup>a</sup> ± 0.1
<b>HTC (%)</b>	28.5 ± 4.9	30.3 ± 2.4	30.3 ± 1.3	30.7 ± 5.4
<b>PT (g/dL)</b>	4.2 ± 0.3	4.3 ± 0.8	4.3 ± 0.4	4.4 ± 0.4
<b>HB (g/dL)</b>	9.4 ± 1.5	9.9 ± 0.7	10.3 ± 0.4	9.0 ± 4.7
<b>HCM (μg)</b>	51.4 ± 12.6	54.9 ± 4.1	53.3 ± 7.1	53.7 ± 10.3
<b>CHCM (%)</b>	33.1 ± 1.6	32.6 ± 1.5	34.0 ± 0.2	34.1 ± 0.3
<b>VCM (μm<sup>3</sup>)</b>	155.9 ± 41.0	168.5 ± 15.3	156.4 ± 20.4	157.3 ± 30.2
<b>GB (<math>10^3</math> Cél/mm<sup>3</sup>)</b>	30.6 ± 5.0	35.0 ± 15.7	36.4 ± 11.1	29.8 ± 3.6

T0 = control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%. GR = glóbulos rojos, HTC = hematocrito, PT = proteína plasmática total, HB = hemoglobina, HCM = hemoglobina corpuscular media, CHCM = concentración de hemoglobina corpuscular media, VCM = volumen corpuscular medio, GB = glóbulos blancos. Las medias que no comparten superíndice son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba de Tukey.

En las variables HCM y VCM la mayor media se obtuvo con la concentración de 0.5% de ajo, mientras que para la variable CHCM la media mayor correspondió al tratamiento con 2.5% de ajo.

### 6.6 Carga parasitaria

Se encontraron parásitos de los géneros: *Ergasilus*, *Cichlidogyrus* y *Thichodina* en el análisis parasitológico de los peces muestreados (Figura 4).

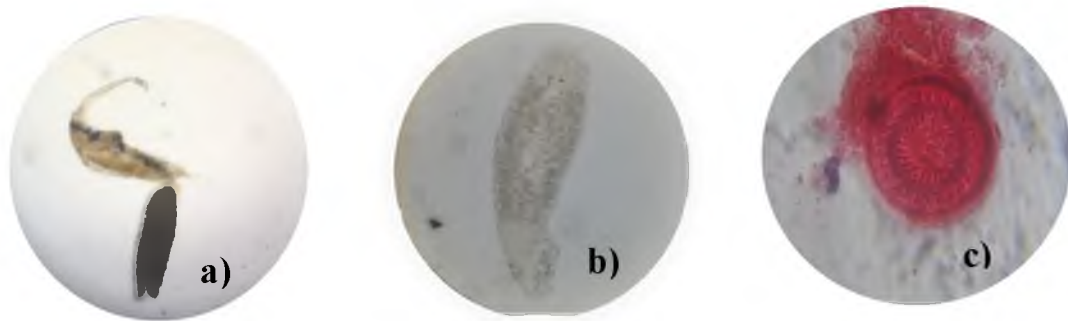


Figura 4. Parásitos externos encontrados en los organismos experimentales. a) Crustáceo parásito del género *Ergasilus* (10x), b) Monogéneo del género *Cichlidogyrus* (40x) y c) Protozoario del género *Thichodina* (40x).

#### 6.6.1 Carga parasitaria en branquias

En las branquias se encontraron monogéneos del género *Cichlidogyrus* y copépodos del género *Ergasilus*. La prevalencia del parásito *Cichlidogyrus* fue del 100% en todos los tratamientos, mientras que *Ergasilus* mostró una prevalencia ocasional en un organismo correspondiente al tratamiento T2 (1.5% de ajo).

La intensidad media de *Cichlidogyrus* por tratamiento se muestra en el Cuadro 14. El T3 mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al T1 y el grupo control (T0). La mayor intensidad media de parásitos del género *Cichlidogyrus* se obtuvo con el T0 y la menor con el T3 con 25.9 y 12.5, respectivamente.

Cuadro 14. Intensidad de parásitos externos en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con distintos porcentajes de ajo (*Allium sativum*), incluidos en la dieta comercial.

Tratamiento	Variables	
	IMB	IMP
	Género: <i>Cichlidogyrus</i> <sup>1</sup>	Género: <i>Trichodina</i> <sup>2</sup>
	$\bar{x}$	SD
T0	25.9 <sup>a</sup> ± 7.2	4 <sup>a</sup>
T1	18.9 <sup>b</sup> ± 5.9	3 <sup>a</sup>
T2	17.5 <sup>bc</sup> ± 6.1	1 <sup>b</sup>
T3	12.5 <sup>c</sup> ± 4.5	1 <sup>b</sup>

$\bar{x}$  = Media, SD = Desviación estándar. IMB = Intensidad media en branquias. Las medias en esta columna que no comparten superíndice, son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba ANDEVA, pos hoc Tukey. IMP = Intensidad mediana en piel. Las medianas en esta columna que no comparten superíndice son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba Kruskal wallis, pos hoc Mann-Whitney

### 6.6.2 Carga parasitaria en piel

Se encontraron protozoarios del género *Trichodina* en el mucus de la piel.

La prevalencia de este parásito fue de 93%, 86.7%, 60% y 53.3% en los tratamientos T0, T1, T2 y T3, respectivamente.

Se encontraron 2 grupos de intensidad mediana del parásito *Trichodina* sp. Cuadro 14.

Los tratamientos T3 y T2 mostraron intensidad mediana estadísticamente iguales entre sí, pero presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento T1 y el grupo control. Se obtuvo una mayor intensidad mediana de *Trichodina* sp. en el tratamiento T1 y el grupo control que en el resto de los tratamientos.

### 6.6.3 Carga parasitaria en aletas

No se observó ningún parásito en aletas con la metodología aplicada.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Condiciones de cultivo

Los parámetros de calidad del agua evaluados en la presa durante la fase experimental se encuentran dentro del rango de tolerancia para el cultivo de tilapia del Nilo según lo menciona El-Sayed (2006) y como se muestra en el Cuadro 10 y Cuadro 2.

### 7.2 Características del ajo procesado

En el presente trabajo se implementó una temperatura de secado del ajo a 45°C, para no sobrepasar el rango de temperatura ideal (50 a 60°C) recomendado por Lawson (1998). Con un secado a temperatura controlada se busca evitar pérdidas considerables de aliina y alicina, las cuales son de los principales compuestos bioactivos del ajo y le confieren numerosas propiedades curativas (Rahman, 2007). El proceso de secado requirió un tiempo de 48 horas para lograr las características deseadas en el ajo en polvo, tiempo mayor al registrado por Ajiboye *et al.* (2016), quienes realizaron el secado a 50°C durante 14 horas.

La humedad determinada en el ajo fresco (66.4%) que se utilizó en este trabajo fue similar a lo reportado por Figueroa-González *et al.* (2014) y Gambogou *et al.* (2018). Mientras que el contenido de humedad del ajo en polvo (8.7%) fue superior al obtenido por Anju *et al.* (2010) y Lee y Lee (2011), quienes reportan un porcentaje de humedad de 3.2% y 5.3%, respectivamente. El alto contenido de humedad del ajo en polvo se atribuye a la rehidratación del ajo seco, durante el proceso de molienda, el tamizado y envasado. Lo anterior, se pudo corroborar mediante la determinación de humedad de las hojuelas antes de la molienda (7.0% de humedad) comparado con la humedad del ajo en polvo después de tamizarlo (8.7%). Los resultados obtenidos coinciden con Chakraborty *et al.* (2022), quienes afirman que el ajo puede rehidratarse por lo que la humedad final del ajo en polvo puede estar influenciada por la técnica de secado y por el tratamiento previo al secado.

### **7.3 Desempeño productivo**

Los tratamientos que incluyeron ajo en la dieta mostraron una tendencia hacia la mejoría en la mayoría de las variables productivas evaluadas, especialmente en el primer muestreo (M15). La diferencia entre los índices productivos del primer y segundo muestreo pudo deberse a la disminución del apetito (Anexo D) y al incremento de la mortalidad, días después de la biometría (Anexo C).

#### **7.3.1 Crecimiento**

Diversos estudios demuestran que el ajo proporciona un efecto promotor del crecimiento en los peces (Aly *et al.*, 2008; Ajiboye *et al.*, 2016). Aunque es importante resaltar que la intensidad de este efecto puede ser variable ya que depende de muchos factores (Lawson, 1998). En este trabajo, la suplementación de ajo en la dieta de tilapia del Nilo mostró efectos positivos en el crecimiento. El tratamiento T3 (2.5% de ajo) mostró un incremento significativo respecto al control en el peso húmedo, ganancia de peso, tasa específica de crecimiento, rendimiento en filete y longitud total. Ajiboye *et al.* (2016), obtuvo el mayor incremento en peso y ganancia de peso con una dosis de 3% de ajo en polvo. Mientras que, Setijaningsih (2021), obtuvo el mayor incremento de peso con 1% de ajo. En ambos trabajos se usó ajo en polvo. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio, Ajiboye *et al.* (2016) secaron el ajo a 50°C y lo incorporaron a una formulación para elaborar la dieta, mientras que Setijaningsih (2021) adquirió el ajo ya procesado, lo disolvió en agua y lo añadió con un pulverizador a un alimento comercial, rociando la solución sobre el alimento. Cabe resaltar que en ambos estudios la experimentación se realizó con juveniles de tilapia del Nilo con peso inicial de 0.09 g y 4.85 g, respectivamente; mientras que en nuestro caso se trabajó con organismos en etapa de engorda (106.8 g) en condiciones de cultivo comercial, debido a que en esta etapa es donde se reportan las mayores pérdidas por parte de los productores locales.

Samson (2019) probó concentraciones de 0, 1, 1.5 y 2% de ajo, el cual disolvió en agua y posteriormente agregó al alimento comercial; mientras que Fall y Ndong (2011) formularon dietas a las que agregaron concentraciones de 0, 0.05

y 0.1% de ajo. Ambas dietas se diseñaron para juveniles de tilapia con peso aproximado de 7 y 25 g, respectivamente. Las dosis empleadas no presentaron diferencias significativas en el crecimiento. Samson (2019) atribuye la falta de efecto del ajo en el crecimiento de tilapia al tiempo insuficiente de suministro de ajo, mientras que, Fall y Ndong (2011) sugieren más estudios para identificar una concentración que beneficie tanto el sistema inmunológico como el crecimiento.

Lee y Gao (2012) mencionan que la alicina presente en el ajo puede estimular la ingesta de alimento en los peces mediante el olor característico que presenta, mejorando la palatabilidad del alimento. Así mismo, puede mejorar el crecimiento debido a que en dosis óptimas promueve el desempeño de la flora intestinal, mejora la motilidad gastrointestinal, modula la secreción de enzimas mejorando la digestión y absorción de nutrientes y potencializa el uso de la energía (Khalil *et al.*, 2001; Lee y Gao, 2012). La flora intestinal está estrechamente relacionada con la salud de los organismos, pero también con la aparición y desarrollo de las enfermedades (Liu *et al.*, 2021). Erguig *et al.* (2015) sugieren que una alta concentración de alicina podría interferir con el metabolismo normal, suprimiendo la mitosis y como consecuencia producir un lento crecimiento o incluso la muerte.

En nuestro experimento, la suplementación de ajo promovió un incremento en el rendimiento del filete de los peces tratados. El T3 mostró diferencias significativas con respecto al T0. Abdel-Hakim *et al.* 2010 también obtuvieron un mayor rendimiento en filete con la suplementación de ajo, respecto al tratamiento control. Cabe resaltar que los autores antes mencionados probaron los efectos del ajo fresco y seco en una concentración de 3 y 5% de ajo/kg de alimento, obteniendo los mejores resultados de rendimiento en filete con una suplementación de 3% de ajo seco. Abdel-Hakim *et al.* 2010 obtuvieron un mayor porcentaje de rendimiento en filete en comparación a los porcentajes obtenidos en este trabajo. La diferencia en los valores de rendimiento en filete obtenidos en este trabajo con respecto a estos autores podría deberse a la técnica de procesado y al tamaño y condición del pez como lo mencionan Clement y Lovell (1994).

### 7.3.2 Eficiencia alimenticia

La alimentación representa más del 50% de los costos de producción en la acuicultura y estos a su vez influyen en el precio de los organismos acuáticos cultivados (Rana *et al.*, 2009). Por lo tanto, mucho de los esfuerzos actuales en acuicultura están enfocados en reducir el FCA a través del mejoramiento genético, desarrollo de alimentos y suplementos nutricionales (Fry *et al.*, 2018).

Con el tratamiento T3 se obtuvo el mejor valor (1.0) de FCA, sin embargo, no presentó diferencias significativas con el tratamiento T2. Estos resultados dan pie a sugerir que la suplementación de 1.5% (o cercano a este) de ajo podría ser la dosis óptima para obtener un FCA deseable. La tendencia observada en los valores de FCA fue similar a lo reportado por Samson (2019), quien evaluó concentraciones de 0, 1, 1.5 y 2% de ajo, obteniendo un FCA de 1.92, 1.19, 1.38 y 1.81, respectivamente. Como se observa en los resultados reportados por este autor, con la dosis de 1% se obtuvo el mejor FCA y con una suplementación con más de 1% de ajo se obtuvo un FCA incluso menos favorable que en el tratamiento control (0%).

Los valores de FCA obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del rango reportado por Rana y Hassan (2013) quienes obtuvieron valores de FCA que oscilaron entre 1.0 y 1.7 para tilapias cultivadas en jaulas flotantes.

La suplementación con 2.5% de ajo mostró la mayor TEA (con valores de 98.5 y 97.1% para el primer y segundo periodo, respectivamente). Sin embargo, los valores fueron estadísticamente similares a los obtenidos con la suplementación de 1.5% en ambos periodos, siguiendo la misma tendencia que el FCA. Ajiboye *et al.* (2016), reportaron un valor de TEA de 97% al suministrar 3% de ajo en la dieta y de 56% en la dieta control (0% de ajo).

Probablemente nuestros resultados fueron afectados por el cultivo en jaulas flotantes, pues se ha observado que su uso puede contribuir a la mejora de las tasas de productividad debido a la naturaleza omnívora de la tilapia del Nilo, lo que le permite complementar su dieta con microalgas y fuentes de alimentos naturales (Nugroho *et al.*, 2022; Samad *et al.*, 2022; Lamo *et al.*, 2023).

### **7.3.3 Factor de condición**

La relación longitud-peso y el factor de condición proporcionan información sobre el crecimiento de los peces y el bienestar animal (Jisr *et al.*, 2018). También proporciona información sobre la disponibilidad del alimento, el patrón de crecimiento, salud general, condición y gordura, así como características morfológicas de los peces (Schneider *et al.*, 2000). Khallaf *et al.* (2003) mencionan que el factor de condición puede variar por el sexo, la estación, la disponibilidad del alimento y la contaminación del agua.

El factor de condición ( $k$ ) mostró diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3 al inicio de la fase experimental, aún a pesar de que los organismos tenían peso y longitud estadísticamente iguales en todos los tratamientos. Esta diferencia pudo ser causada por la densidad de siembra manejada ( $30 \text{ organismos/m}^2$ ) previo al experimento, la cual pudo haber causado una fuerte competencia por el alimento. Durante el experimento la densidad de siembra se disminuyó a  $5 \text{ organismos/m}^3$ , se alimentó a saciedad y se estableció un horario de alimentación. En la fase experimental no se encontraron diferencias significativas de  $k$  entre tratamientos, este resultado pudo ser causado porque las condiciones de cultivo mejoraron y se homogenizaron en esta etapa como lo mencionan Khallaf *et al.* (2003).

Los valores de  $k$  desde el inicio de la fase experimental hasta su término oscilaron entre 2.0 y 2.3. Estos valores fueron superiores a un estudio de tilapia del Nilo en el que se suplementó con ajo, obteniéndose valores de  $k$  ente 1.82 y 1.84. Un valor de  $k$  cercano a 2.0 en la tilapia del Nilo es considerado aceptable, ya que se encuentra dentro del rango observado en varios estudios (Gupta, 2012; Anani y Nunoo, 2016; Reyes, 2024). De acuerdo a lo anterior, los organismos experimentales alcanzaron un  $k$  aceptable tanto en el tratamiento control como en los tratamientos que incluyeron un porcentaje de ajo en la dieta.

### **7.3.4 Supervivencia**

No se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de supervivencia entre tratamientos en ninguno de los periodos.

El manejo de los peces durante la biometría pudo ser una de las causas de la mortalidad observada, sobre todo porque se intensificó posterior a esta actividad (entre los días 18 al 21) en todos los tratamientos y posteriormente disminuyó. Assane *et al.* (2022) obtuvieron hasta 90% de mortalidad en tilapia, por una coinfección de monogéneos y *Aeromonas*, esta mortalidad se detonó posterior al estrés por transporte. La manipulación causa estrés en los organismos aun a pesar de aplicar las buenas prácticas de producción acuícola y de seguir los protocolos de bienestar animal (Silveira-Telli, 2014). Las actividades antropogénicas, el contacto diario con los depredadores potenciales y la proximidad con otras jaulas de cultivo pudieron ser también factores estresantes como lo mencionan Huicab-Pech *et al.* (2016) y Cain (2022). Los peces con estrés o lesiones pueden presentar inmunodepresión y disminución de la capacidad para enfrentarse a los patógenos (Qiang *et al.*, 2016). Si el estrés es prolongado o frecuente se puede comprometer la supervivencia de los organismos (Jianyu *et al.*, 2006).

#### **7.4 Desempeño hematológico**

Los parámetros sanguíneos de una población de peces pueden variar según la edad, el sexo, la calidad del agua, la estación, el estrés y factores pre y post análisis (Bolasina, 2006; Clauss *et al.*, 2008; Witeska *et al.*, 2022).

En este estudio, la suplementación con ajo en la dieta de tilapia del Nilo mostró un incremento en los glóbulos rojos a medida que se aumentó su porcentaje en la dieta. Con el T3 se obtuvo el valor más alto ( $2.1 \times 10^6$  Cél/mm<sup>3</sup>) y con el T0 el más bajo ( $1.7 \times 10^6$  Cél/mm<sup>3</sup>). El valor de GR obtenido en el T3 es superior a lo reportado por Setijaningsih (2021), quien probó dosis de 0, 1, 3 y 5% de ajo en la dieta de tilapia, obteniendo el máximo valor de GR ( $1.74 \times 10^6$  Cél/mm<sup>3</sup>) con 1% de ajo. Naqi *et al.* (2019), probaron dosis de 0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0%, estos autores al igual que en este trabajo observaron un incremento en los GR al incrementar la dosis de ajo, obteniendo el valor máximo de GR ( $2.82 \times 10^6$  Cél/mm<sup>3</sup>) con 2% de ajo.

Los GR obtenidos en los tratamientos T2 y T3 del presente trabajo, se encuentran dentro del rango normal reportado para organismos machos con peso de entre 50 a 150 g, según lo reportado por Hrubec *et al.* (2000) y Hahn-von-Hessberg *et al.* (2014). Por otra parte, los GR de los tratamientos T0 y T1 estuvieron por debajo de los valores reportados por los autores antes mencionados, pero similares a lo reportado por Hahn-von-Hessberg *et al.* (2011) en machos de tilapia con peso de 250 a 350 g, producidas en un cultivo semi-intensivo (Cuadro 6).

La suplementación con ajo no mostró un efecto significativo sobre el resto de las variables hematológicas. Sin embargo, aunque no se observaron diferencias significativas en estas variables, se observó un ligero incremento en las variables HTC y PT a medida que se incrementó el porcentaje de ajo (Anexo E y Anexo F).

Los valores del hematocrito obtenidos en este estudio (T0=28.5, T1=30.3, T2=30.3 y T3=30.7) fueron similares a los obtenidos por Aly y Mohamed (2010), quienes incluyeron ajo en la dieta de los organismos analizados. Estos autores obtuvieron valores de 27.6, 28.5 y 30.0% de hematocrito en peces suplementados con 3% de ajo por 1, 2 y 3 meses, respectivamente. Hahn-von-Hessberg *et al.* (2011) y Hahn-von-Hessberg *et al.* (2014) no incluyeron ajo en la dieta de los organismos analizados y reportaron un valor de hematocrito superior al de este estudio, mientras que Hrubec *et al.* (2000) reportan un índice de referencia (27-37%) similar (Cuadro 6).

La proteína plasmática total con un valor de 4.3 g/dL fue superior a lo reportado por Bittencourt *et al.* (2003) y Hahn-von-Hessberg *et al.* (2014), pero inferior a lo reportado por Hrubec *et al.* (2000).

De igual forma, se observó un incremento no significativo en el nivel de HB y GB con 0.5 y 1.5% de ajo con respecto al tratamiento control, pero disminuyeron incluso por debajo del tratamiento control con la dosis de 2.5% de ajo (Anexo G y Anexo H). Setijaningsih (2021) obtuvo un valor máximo de HB y GB con la suplementación de 1% y 3% respectivamente y al incrementar el

porcentaje de ajo en la dieta, los valores de HB y GB disminuyeron, observando resultados similares a lo obtenido en este estudio. Irkin *et al.* (2014) también observaron una disminución de los parámetros hematológicos cuando se suministró una sobredosis de ajo en polvo y asociaron estos resultados a una posible toxicidad. Los valores de HB y GB de todos los tratamientos evaluados en este estudio, se encuentran dentro de los valores normales reportados por Hrubec *et al.* (2000) y Hahn-von-Hessberg *et al.* (2014) (Cuadro 6).

Las variables que no mostraron alguna tendencia específica, ya sea de incremento o disminución respecto al porcentaje de ajo suministrado fueron la HCM, el VCM y la CHCM. El valor máximo de HCM se obtuvo con 0.5% de ajo, este valor coincide con lo reportado por Hahn-von-Hessberg *et al.* (2011) y Hahn-von-Hessberg *et al.* (2014). Así mismo, el VCM máximo se obtuvo con la suplementación de 0.5% de ajo, este valor coincide con lo reportado por Hrubec *et al.* (2000). Por último, la media mayor para CHCM se obtuvo con la suplementación con 2.5% de ajo, coincidiendo con lo reportado por Bittencourt *et al.* (2003).

### **7.5 Desempeño en la carga parasitaria**

Los ectoparásitos *Cichlidogyrus* y *Trichodina* son comunes en la mayoría de granjas de tilapia del Nilo en México y sus prevalencias suelen ser altas (mayor al 60%) (Osuna-Cabanillas *et al.*, 2022). Estos parásitos pueden impactar de manera negativa al pez huésped y desencadenar la aparición de otras enfermedades. Chitmanat *et al.* (2005) reportan que algunos trabajos se han enfocado en el estudio de la potencialidad del ajo como desparasitante natural en peces, dada la latente toxicidad de los desparasitantes químicos que se usan en la acuicultura. El extracto de ajo mediante baño de inmersión es el más usado como tratamiento antiparasitario en peces, a diferencia del uso de ajo en polvo suministrado por vía oral como el que se empleó en este trabajo.

El ajo en polvo, suministrado por vía oral a los organismos experimentales disminuyó la carga parasitaria de *Cichlidogyrus* y *Trichodina*. El mayor efecto

antiparasitario contra ambos parásitos se obtuvo con el tratamiento T3 (2.5% de ajo/kg de alimento).

Abd El-Galil y Aboelhadid (2012) probaron el efecto antiparasitario del aceite de ajo y del ajo fresco contra parásitos monogéneos y *Trichodina* mediante baños de inmersión. Estos autores recomiendan baños por inmersión a una concentración de 3 ppt de aceite de ajo durante una hora y 300 mg/L de ajo fresco machacado por tiempo indefinido para erradicar ambos parásitos presentes en la cría de tilapia del Nilo. El ajo fresco machacado proporcionó un efecto más prolongado.

## 8. CONCLUSIONES

- 1.- La suplementación de la dieta de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con 2.5% de ajo (*Allium sativum*) en polvo en la fase de engorda, produjo un incremento en las variables de crecimiento y en el número de glóbulos rojos y también disminuyó significativamente la intensidad del monogéneo *Cichlidogyrus* en branquias.
- 2.- Las variables de eficiencia alimenticia mejoraron significativamente a partir de la suplementación con 1.5% de ajo en polvo. También disminuyó la intensidad mediana de *Trichodina* en piel a partir de esta concentración.
- 3.- La suplementación con ajo no tuvo efectos en el factor de condición, en la sobrevivencia y en algunos parámetros hematológicos como la hemoglobina, el hematocrito, la proteína total y los glóbulos blancos.
- 4.- Se obtuvo un rendimiento de 30% de ajo (*Allium sativum*) en polvo, observándose una tendencia a la rehidratación durante el procedimiento.

## 9. RECOMENDACIONES

- 1.- Determinar la concentración óptima del ajo (*Allium sativum*) en polvo, suministrada a la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en todas las etapas de desarrollo.
- 2.- Realizar pruebas para determinar la duración y la frecuencia de los tratamientos con ajo (*A. sativum*) en los cultivos de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) que mejoren las variables productivas y hematológicas y simultáneamente disminuya la carga parasitaria.
3. Determinar para cada una de las etapas de desarrollo de la tilapia del Nilo, la concentración de ajo en polvo que pudiera presentar efectos tóxicos. Se sugiere realizar las pruebas con una concentración mayor a 1.5%.
- 4.- Evaluar la vida de anaquel del ajo en polvo.

## 10. LITERATURA CITADA

- Abd El-Galil, M. A. & Aboelhadid, S. M. (2012). Trials for the control of trichodinosis and gyrodactylosis in hatchery reared *Oreochromis niloticus* fries by using garlic. *Veterinary Parasitology*. 185(2-4): 57-63.
- Abdel-Hakim, N., Lashin, M., Ashry, A., & Al-Azab, A. D. (2010). Effect of fresh or dried garlic as a natural feed supplement on growth performance and nutrients utilization of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 14(2): 19-38.
- Aboud, O. A. (2010). Application of some Egyptian medicinal plants to eliminate *Trichodina* sp. and *Aeromonas hydrophila* in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Researcher*. 2(10): 12-16.
- Addo, S., Mullah, S., Ofori-Danson, P. K., Amponsah, S. K. K. & Nyarko, J. O. (2021). Prevalence of parasitic infections on cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) In Bong County, Liberia. *Ghana Journal of Science*. 62(1): 13-25.
- Aguirre Fey, D. (2009). Parásitos branquiales de cuatro grupos genéticos de tilapias, cultivados en la zona Centro-Norte del Estado de Veracruz (Tesis de maestría). Instituto de ecología, AC Xalapa, Veracruz México. 88 p.
- Ajiboye, O. O., Yakubu, A. F., Simpa, J. O. & Balogun, S. A. (2016). Effect of garlic-supplemented diets on growth response, survival, nutrient utilization and body composition of monosex *Tilapia zillii*. *World Journal of Fish and Marine Sciences*. 8(2): 115-122.
- Akhter, N., Wu, B., Memon, A. M. & Mohsin, M. (2015). Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: a review. *Fish & shellfish immunology*. 45(2): 733-741.
- Akinrotimi, O. A., Wilfred-Ekpripo, P. C. & Ukwe, O. I. K. (2018). Effects of 2, 2-Dichlorovinyl Dimethyl Phosphate (DDVP) on leukocyte profiles in juveniles and adult sizes of *Tilapia guineensis*. *MOJ Immunology*. 6(5): 173-176.

- Alathari, S., Chaput, D. L., Bolaños, L. M., Joseph, A., Jackson, V. L., Verner-Jeffreys, D., Paley, R., Tyler, C. R. & Temperton, B. (2023). A Multiplexed, Tiled PCR Method for Rapid Whole-Genome Sequencing of Infectious Spleen and Kidney Necrosis Virus (ISKNV) in Tilapia. *Viruses*. 15(4): 965.
- Al-Hussinee, L., Subramaniam, K., Surachetpong, W., Popov, V., Hartman, K., Starzel, K., Yanon, R., Watson, C., Ferguson, H., Frasca Jr. S. & Waltzek, T. (2019). Tilapia Lake Virus (TiLV): a Globally Emerging Threat to Tilapia Aquaculture: FA213, 4/2019. *EDIS*, 2019(2).
- Aly, S.M., Atti, N.M.A. & Mohamed, M.F. (2008). Effect of garlic on the survival, growth, resistance and quality of *Oreochromis niloticus*. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, pp. 277–296.
- Aly, S.M. & Mohamed, M.F. (2010). *Echinacea purpurea* and *Allium sativum* as immunostimulants in fish culture using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 94(5): e31-e39.
- Amal, M. N. A. & Zamri-Saad, M. (2011). Streptococcosis in tilapia (*Oreochromis niloticus*): a review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 34(2): 195-206.
- Amani, D.K., Soltani, M., Rajabi, I.H. & Kamali, A. (2019). The antifungal effects of *Allium sativum* and *Artemisia sieberi* extracts on hatching rate and survival of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) larvae. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 19(2):669-680
- Anani, F. K., & Nunoo, F. K. E. (2016). Length-weight Relationship and Condition Factor of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* fed Farm-made and Commercial Tilapia Diet.
- Anju, S., Kawatra, A., & Sehgal, S. (2010). Chemical composition of garlic powder using different drying methods. *Asian Journal of Home Science*. 5(1): 90-93.
- Ankri, S., & Mirelman, D. (1999). Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes and Infection*. 1: 125-129.

- Anton, R. (2016). Les constituants spécifiques des Alliaceae. *Phytothérapie*. 14(3): 149-153.
- Assane, I. M., Prada-Mejia, K. D., Gallani, S. U., Weiser, N. F., Valladão, G. M. R., & Pilarski, F. (2022). *Enterogyrus* spp. (Monogenea: Ancyrocephalinae) and *Aeromonas jandaei* co-infection associated with high mortality following transport stress in cultured Nile tilapia. *Transboundary and Emerging Diseases*. 69(4): e276-e287.
- Avinash, P., Sobita, S. & Girish, P. (2020). Integrated Management of Bulb Rot (*Fusarium proliferatum*) of Garlic (*Allium sativum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(06): 176-180.
- Bae, S. E., Cho, S. Y., Won, Y. D., Lee, S. H. & Park, H. J. (2014). Changes in S-allyl cysteine contents and physicochemical properties of black garlic during heat treatment. *LWT-Food Science and Technology*. 55(1): 397-402.
- Bannister, J.V.C. (1976). The length–weight relationship, condition factor gut contents in the dolphin fish *Coryphaena hippurus* (L.) in the Mediterranean *Journal of Fish Biology*. 9(4): 335-338.
- Bhattacharya, S., Sen, D. & Bhattacharjee, C. (2022). Inhibition mechanism study for diallyl thiosulfinate (allicin) against crucial bacterial proteins through in silico molecular docking simulation. *Process Biochemistry*. 122: 110-119.
- Betanzo-Torres, E. A., Piñar-Álvarez, M. D. L. Á., Sierra-Carmona, C. G., Santamaria, L. E. G., Loeza-Mejía, C. I., Marín-Muñiz, J. L. & Sandoval Herazo, L. C. (2021). Proposal of ecotechnologies for tilapia (*Oreochromis niloticus*) production in Mexico: Economic, environmental, and social implications. *Sustainability*. 13(12): 6853.
- Bhujel, R.C. (2014). A manual for tilapia business management. CABI, Wallingford.
- Bisso-Andrade, A. (2018). Resistencia a los antimicrobianos. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*. 31(2): 50-59.

- Bittencourt, N. D. L. R., Molinari, L. M., de Oliveira, D., Pedroso, R. B., Nakamura, C. V., Ueda-Nakamura, T., de Abreu Filho, B. A. & Dias Filho, B. P. (2003). Haematological and biochemical values for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in semi-intensive system. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 25(2): 385-389.
- Blaxhall, P. C. (1972). The haematological assessment of the health of freshwater fish: a review of selected literature. *Journal of Fish Biology*, 4(4), 593-604.
- Blaxhall, P. C. & Daisley, K. W. (1973). Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*, 5(6), 771-781.
- Bolasina, S. N. (2006). Cortisol and hematological response in Brazilian codling, *Urophycis brasiliensis* (Pisces, Phycidae) subjected to anesthetic treatment. *Aquaculture International*. 14: 569-575.
- Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M. & Shostak, A. W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *The Journal of Parasitology*. 575-583.
- Cabello, F. C., Godfrey, H. P., Buschmann, A. H. & Dölz, H. J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *The Lancet Infectious Diseases*. 16(7): e127-e133.
- Cai, J., Galli, G & Zhou X. 2023. Top 10 Species Groups in Global Aquaculture 2021. FAO, Rome, Italy, pp. 4.
- Cain, K. (2022). The many challenges of disease management in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*. 53(6).
- Cañizares, P., Gracia, I., Gómez, L. A., García, A., De Argila, C. M., Boixeda, D. & de Rafael, L. (2004). Thermal degradation of allicin in garlic extracts and its implication on the inhibition of the in-vitro growth of *Helicobacter pylori*. *Biotechnology Progress*. 20(1): 32-37.
- Chandra, M. (2023). Role of Bioactive Compounds in Hormonal Bioregulation. En: Thakur, M., Belwal, T. (eds). *Bioactive Components: A Sustainable System*

for Good Health and Well-Being. Singapore: Springer Nature Singapore. pp. 323-342.

- Chakraborty, S., Patel, S. K., Chakraborty, S. K. & Nyma, R. (2022). Effect of different drying techniques and packaging materials on garlic (*Allium sativum*) powder. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 92 (5): 593-7.
- Chaudhary, M. & Garg, A. P. (2023). Bioactive compounds from plants and animals: A review. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. 7(1): 105-117.
- Chen, C., Cai, J., Liu, S. Q., Qiu, G. L., Wu, X. G., Zhang, W., Chen, Ch., Qi, W. L., Wu, Y. & Liu, Z. B. (2019). Comparative study on the composition of four different varieties of garlic. *PeerJ*. 7: e6442.
- Chitmanat, C., Tongdonmuan, K. & Nunsong, W. (2005). The use of crude extracts from traditional medicinal plants to eliminate *Trichodina* sp. in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 27(Suppl 1): 359-364.
- Clauss, T. M., Dove, A. D. & Arnold, J. E. (2008). Hematologic disorders of fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic animal practice*. 11(3): 445-462.
- Clement, S. & Lovell, R. T. (1994). Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*. 119(2-3): 299-310.
- CNVV (Catálogo Nacional de Variedades Vegetales). 2024. Disponible en: [Catálogo Nacional de Variedades Vegetales \(en línea\) | Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales). Consultado el 02 de Febrero de 2024.
- Coipel, Y. R., Odio, A. D., Álvarez, O. M., Proenza, R. T., Marrero, I. G. & Delgado, D. L. C. (2021). Global market for veterinary herbal products during the 2018-2019 period. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 58: e181002.

- CONAPESCA, 2018. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca: Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2018. Disponible en: [https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dqppe/2018/ANUARIO\\_2018.pdf](https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dqppe/2018/ANUARIO_2018.pdf). Consultado el 21 de diciembre de 2021.
- CONAPESCA, 2019. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca: Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2019. Disponible en: [https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion\\_estadistica\\_por\\_especie\\_y\\_entidad](https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad). Consultado el 07 de agosto de 2022.
- Cooper, R. M., Tsimring, L. & Hasty, J. (2017). Inter-species population dynamics enhance microbial horizontal gene transfer and spread of antibiotic resistance. *Elife*. 6: e25950.
- De Filippis, L.F. (2016). Plant secondary metabolites: From molecular biology to health products. En: Azooz, M.M. & Ahmad, P. (eds). Plant-environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. 5<sup>th</sup> edition. Wiley Blackwell: Hoboken, NJ, USA. pp. 263-299.
- Devi, P. V., & Brar, D. J. K. (2018). Comparison of proximate composition and mineral concentration of *Allium ampeloprasum* (elephant garlic) and *Allium sativum* (garlic). *Chemical Science Review and Letters*. 7(25): 362-367.
- Dewi, A. D. R., Kusnadi, J. & Wen-Ling, S. (2017). Comparison of the main bioactive compounds and antioxidant activity from garlic water-soluble and garlic oil. *International Conference on Natural Resources and Life Sciences (NRLS-2016)*: 20-34.
- Diab, A. S., Aly, S. M., John, G., Abde-Hadi, Y., & Mohammed, M. F. (2008). Effect of garlic, black seed and Biogen as immunostimulants on the growth and survival of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae), and their response to artificial infection with *Pseudomonas fluorescens*. *African Journal of Aquatic Science*, 33(1): 63-68.

- Díaz, L. & Jiménez, K. (2008). Validación de un Método de Extracción de Alicina en Ajo y su Cuantificación por HPLC. *Simposio de Metrología*. Vol. 1066 (No. 1): 1-6.
- dos Santos, P. C. M., da Silva, L. M. R., Magalhaes, F. E. A., Cunha, F. E. T., Ferreira, M. J. G. & de Figueiredo, E. A. T. (2022). Garlic (*Allium sativum* L.) peel extracts: From industrial by-product to food additive. *Applied Food Research*. 2(2022): 100186.
- Dubey, H., Singh, A., Patole, A. M., Tenpe, C. R. & Ghule, B. V. (2012). Allicin, a SUR2 opener: possible mechanism for the treatment of diabetic hypertension in rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 22(5): 1053-1059.
- Eid, H. I., Abou-El-Atta, M. & Hafez, A. (2017). Investigation of some mycotic infections with economic importance in fresh water Nile Tilapia. *Suez Canal Veterinary Medical Journal*. XXII(2): 87-94.
- El-Sayed, A.-F. M. (2006). Tilapia Culture. CAB eBooks, Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University, Alexandria, Egypt. 277 p.
- Erazo-Pagador, G., Dumarán-Paciente, H. R., & Caloyloy, B. J. (2022). Acute lethal toxicity of dried garlic (*Allium sativum*) powder on orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) juveniles under static exposure. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. 42(1): 28-38.
- Erguig, M., Yahyaoui, A., Fekhaoui, M. & Dakki, M. (2015). The use of garlic in aquaculture. *European journal of Biotechnology and Bioscience*. 3(8): 28-33.
- Fänge R. (1992). Fish blood cells. En: Hoar W. S., Randall D. J., Farrell A. P., (eds). Fish physiology, vol. 12B. San Diego (CA): Academic Press Inc. 1–54 p.
- Fall, J. & Ndong, D., 2011. The effect of garlic (*Allium sativum*) on growth and immune responses of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis*

- aureus*). *Journal of Clinical Immunology and Immunopathology Research*. 3(1): 1–9.
- FAO 2020a. Top 10 species groups in global aquaculture 2018. World Aquaculture Performance Indicators (WAPI). Rome. 4 pp.
- FAO 2020b. Tilapia production and trade with a focus an India. World Aquaculture Performance Indicators (WAPI). Rome. pp. 100
- FAO 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture: Blue Transformation in Action. Rome. pp. 249.
- Fei, C., Pemberton, J. G., Lillico, D. M., Zwozdesky, M. A. & Stafford, J. L. (2016). Biochemical and functional insights into the integrated regulation of innate immune cell responses by teleost leukocyte immune-type receptors. *Biology*. 5(1): 13.
- Figuroa-González, J. J., Reveles-Hernández, M., Alvarado-Nava, M. D. y García-Guardado, K. B. (2014). Tipificación fisicoquímica de productos agroindustriales de ajos zacatecanos. Folleto Técnico No. 59. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 20 páginas.
- Foyosal, M. J., Alam, M., Momtaz, F., Chaklader, M. R., Siddik, M. A., Cole, A. & Rahman, M. M. (2019). Dietary supplementation of garlic (*Allium sativum*) modulates gut microbiota and health status of tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture Research*. 50(8): 2107-2116.
- Fry, J. P., Mailloux, N. A., Love, D. C., Milli, M. C. & Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly?. *Environmental Research Letters*. 13(2): 024017.
- Gambogou, B., Anani, K., Karou, S. D., Ameyapoh, Y. A. & Simporé, J. (2018). Effect of Aqueous garlic extract on biofilm formation and antibiotic susceptibility of multidrug-resistant uropathogenic *Escherichia coli* clinical isolates in Togo. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research*. 5(7): 23-33.

- Guillamón, E. (2018). Efecto de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars Pharmaceutica (Internet)*. 59(3), 185-196.
- Gonçalves, T. M., Almeida, L. A. & Borges, S. E. 2003. Características de carcaça de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em quatro classes de peso ao abate. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 25(1): 25-29.
- Gokalp, F. (2018). The inhibition effect of garlic-derived compounds on human immunodeficiency virus type 1 and saquinavir. *Journal Biochemical and Molecular Toxicology*. 32: e22215–e22215.
- Grano-Maldonado, M. I., Rodríguez-Santiago, M. A., García-Vargas, F., Nieves-Soto, M. & Soares, F. (2018). An emerging infection caused by *Gyrodactylus cichlidarum* Paperna, 1968 (Monogenea: Gyrodactylidae) associated with massive mortality on farmed tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) on the Mexican Pacific coast. *Latin American Journal of Aquatic Reseach*. 46(5): 961-968.
- Guo, J. J., Kuo, C. M., Hong, J.W., Chou, R. L., Lee, Y. H. & Chen, T. I. (2015) The effects of garlic-supplemented diets on antibacterial activities against *Photobacterium damsela* subsp. piscicida and *Streptococcus iniae* and on growth in Cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*. 435(2015):111–115.
- Gupta, N., Haque, M. M. & Khan, M. (2012). Growth performance of tilapia fingerling in cage in ponds managed by Adivasi households: An assessment through length-weight relationship. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 10(1): 149-155.
- Haenen, O. L., Dong, H. T., Hoai, T. D., Crumlish, M., Karunasagar, I., Barkham, T., Chen S. L., Zadoks, R., Kiermeier, A., Wang, B., Gamarro, E. G., Takeuchi, M., Azmai, M.N., Fouz, B., Pakingking, Jr. R., Wei, Z. W. & Bondad-Reantaso, M. G. (2023). Bacterial diseases of tilapia, their

- zoonotic potential and risk of antimicrobial resistance. *Reviews in Aquaculture*. 15(Suppl. 1): 154-185.
- Hahn-Von-Hessberg, C. M., Quintero, A. G., & Jaramillo, A. V. G. (2011). Parámetros hematológicos de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1757) con peso entre 250 gy 350 g, en el Centro Experimental Piscícola de la Universidad de Caldas. *Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line)*, 5(1), 47-61.
- Hahn-von-Hessberg, C. M., Quiroz-Bucheli, A. & Grajales-Quintero, A. (2014). Caracteres hematológicos en individuos de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*, Trewavas 1983) con pesos entre 50-150 g y 150-250 g, estación piscícola, Universidad de Caldas, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*. 18(1), 142-157.
- Hamed, H. S., Ismal, S. M. & Faggio, C. (2021). Effect of allicin on antioxidant defense system, and immune response after carbofuran exposure in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 240: 108919.
- Hernández-Alvarado, J., Zaragoza-Bastida, A., López-Rodríguez, G., Peláez-Acero, A., Olmedo-Juárez, A. & Rivero-Perez, N. (2018). Actividad antibacteriana y sobre nemátodos gastrointestinales de metabolitos secundarios vegetales: enfoque en Medicina Veterinaria. *Abanico veterinario*. 8(1): 14-27.
- Hu, J., Li, C., Zhou, Y., Ding, J., Li, X. & Li, Y. (2023). Allicin inhibits Porcine Reproductive and respiratory syndrome virus infection in Vitro and alleviates inflammatory responses. *Viruses*. 15(5), 1050.
- Huicab-Pech, Z. G., Landeros-Sánchez, C., Castañeda-Chávez, M. R., Lango-Reynoso, F., López-Collado, C. J. & Platas Rosado, D. E. (2016). Current state of bacteria pathogenicity and their relationship with host and environment in tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Aquaculture Research and Development*. 7(5): 1-10.

- Hussein, M. A., Hassan, W. H. & Mahmoud, M. A. (2013). Pathogenicity of *Achlya proliferoides* and *Saprolegnia diclina* (Saprolegniaceae) associated with Saprolegniosis outbreaks in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *World Journal of Fish and Marine Sciences*. 5(2): 188-193.
- Hrubec, T. C., Cardinale, J. L. & Smith, S. A. (2000). Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*. 29(1): 7-12.
- Irkin, L. C., Yigit, M., Yilmaz, S. & Maita, M. (2014). Toxicological evaluation of dietary garlic (*Allium sativum*) Powder in European Sea Bass *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Food and Nutrition Sciences*. 5: 989-996.
- Jansen, M. D., Dong, H. T. & Mohan, C. V. (2019). Tilapia lake virus: a threat to the global tilapia industry?. *Reviews in Aquaculture*. 11(3): 725-739.
- Jianyu, X., Ying, L., Shaoron, C. & Xiangwen, M. (2006). Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision. *Aquacultural Engineering*. 35(3): 207-217
- Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C. & El-Dakdouki, M. H. (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 44(4): 299-305.
- Jose Priya, T. A. & Kappalli, S. (2023). Chemicals and Their Interaction in the Aquaculture System. En: Mohanan P. V. & Kappalli (eds.). *Biomedical Applications and Toxicity of Nanomaterials*. Singapore: Springer Nature Singapore. pp. 277-297.
- Kampayana, F., Nguyen, S. T. & Le, M. H. (2016). Tilapia cage culture in Rwanda: Current status and prospects for future development. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4(3): 428-435.

- Kang, M. J., Kang, J. R., Woo, M. S., Kang, D. & Shin, J. H. (2022). Alterations in the physicochemical properties and antioxidant activity during aging of stored raw garlic. *Foods*. 11: 1390.
- Kari, Z. A., Wee, W., Hamid, N. K. A., Dawood, M. A., Zakaria, N. N. A. B. & Wei, L. S. (2022). The roles of polysaccharides in tilapia farming: A review. *Aquaculture and Fisheries*. 9(2024): 20-27
- Kembou-Ringert, J. E., Steinhagen, D., Readman, J., Daly, J. M. & Adamek, M. (2023). Tilapia lake virus vaccine development: a review on the recent advances. *Vaccines*. 11: 251.
- Kemper, K. J. (2000). Garlic (*Allium sativum*). *The longwood herbal task force and the center for holistic pediatric education and research*. 4: 1-49.
- Khallaf, E. A., Galal, M. & Authman, M. (2003). The biology of *Oreochromis niloticus* in a polluted canal. *Ecotoxicology*. 12: 405-416.
- Khalil, R. H., Nadia, B. M. & Soliman, M. K. (2001). Effects of Biogen and Levamisol Hcl on the immune response of cultured *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas hydrophila* vaccine. Beni-Suef University. *The Journal of Veterinary Medical Research*. XI(2): 381-392.
- Kuebutornye, F. K. & Abarike, E. D. (2020). The contribution of medicinal plants to tilapia aquaculture: a review. *Aquaculture International*. 1-19.
- Lamo, A., Mahyudin, I. & Agusliani, E. (2023). Profit and Feasibility Analysis of Tilapia Cultivation Business in Floating Net Cages, Barito Kuala Regency. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 23(4): 34-43.
- Lawson, L. D. (1998). Garlic: A review of its medicinal effects and indicated active compounds. In: Lawson L. D. & Bauer R. (eds.). *Phytomedicines of Europe: Chemistry and Biological Activity*. Washington DC: American Chemical Society, 176-209.
- Lee, J. Y. & Gao, Y. (2012). Review of the application of garlic, *Allium sativum*, in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(4), 447-458.

- Lee, J. J. & Lee, H. J. (2011). Physicochemical composition of baked garlic. *Korean Journal of Food Preservation*. 18(4): 575-583.
- Li, T., Ren, L., Wang, D., Song, M., Li, Q. & Li, J. (2020). Effect of allicin and its mechanism of action in purine removal in turbot. *Journal of Food Science*. 85(10): 3562-3569.
- Liñan-Cabello, M. A., Quintanilla-Montoya, A. L., Sepúlveda-Quiroz, C. & Cervantes-Rosas, O. D. (2016). Susceptibilidad a la variabilidad ambiental del sector acuícola en el Estado de Colima, México: Caso de estudio. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 44(3), 649-656.
- Liu, C., Zhao, L. P. & Shen, Y. Q. (2021). A systematic review of advances in intestinal microflora of fish. *Fish Physiology and Biochemistry*. 47: 1-13.
- Luengo, M. T. L. (2007). El ajo: Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. *Offarm: farmacia y sociedad*. 26(1): 78-81.
- Macedo-Viegas, E. M., de Souza, M. L. R. & do Nascimento Kronka, S. (1997). Estudo da carcaça de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em quatro categorias de peso. *Revista Unimar*. 19(3): 863-870.
- Maza, M. G., Ibañez, G. G., Hernández, J. C. M. & Dopico, A. C. (2014). Revisión bibliográfica sobre el uso terapéutico del ajo. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*. 6(1): 61-71.
- Martínez-Cordero, F.J., Delgadillo, T.S., Sanchez-Zazueta, E. & Cai, J. 2021. *Tilapia aquaculture in Mexico: assessment with a focus on social and economic performance*. Rome, FAO. Fisheries and Aquaculture Circular No. 1219.
- Mc Donald, D. G. & Milligan, C. L. (1992). 2 Chemical properties of the blood. En: Hoar, W. S., Randall, D. J. & Farrel, A. P. (eds.). *Fish physiology*. San Diego, CA: Academic. Vol. XII. pp. 55-133.
- Méndez-Lagunas L., Rodríguez-Ramírez J., Reyes-Vásquez D. & López-Ortíz A. (2017). Changes in physical properties and relations with allicin

- degradation during convective drying of garlic. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 11: 1227-1232.
- Midtlyng, P. J., Bleie, H., Helgason, S., Jansson, E., Larsen, J. L., Olesen, N. J., Olsen, A. B. & Vennerstrøm, P. (2000). Nordic manual for the surveillance and diagnosis of infectious diseases in farmed salmonids. Nordic Council of Ministers. 94 p.
- Modra, H., Svobodova, Z. & Kolářová, J. (1998). Comparison of differential leukocyte counts in fish of economic and indicator importance. *Acta Veterinaria Brno*. 67(4): 215-226.
- Moeder, M., Carranza-Diaz, O., López-Angulo, G., Ahumada-Santos, Y. P., Schrader, S., Reemtsma, T. & Delgado-Vargas, F. (2023). Organic Micropollutants from an Agricultural Drainage Ditch Contaminate a Shrimp Farm in Sinaloa (Mexico). *Journal of Ecological Engineering*. 24(3).
- Morales-Serna, F. N., Medina-Guerrero, R. M., Pimentel-Acosta, C., Ramírez-Tirado, J. H. & Fajer-Ávila, E. J. (2018). Parasite infections in farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in Sinaloa, Mexico. *Comparative parasitology*. 85(2): 212-216.
- Moyo, N. A. & Rapatsa, M. M. (2021). A review of the factors affecting tilapia aquaculture production in Southern Africa. *Aquaculture*. 535: 736386.
- Muahiddah, N. & Diamahesa, W. A. (2023). The Use of Garlic (*Allium sativum*) As an Immunostimulant In Aquaculture. *Journal of Fish Health*. 3(1): 11-18.
- Mutasim, Z. A. & Elgasim, A. E. (2016). Proximate analysis of garlic (*Allium sativum*) paste treated with ascorbic and citric acids. *Journal of Food Processing & Technology*. 7(2): 1000550.
- Naqi, J. A., Mateen, A., Hussain, D., Tahir, H. M., Hussain, S. & Tabasum, A. (2019). Effect of *Allium sativum* Supplemented Diets on Growth and Haematological Responses in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Pakistan Journal of Zoology*. 51(1).

- Ndashe, K., Hang'ombe, B. M., Changula, K., Yabe, J., Samutela, M. T., Songe, M. M., Kefi, A. S., Chilufya, L. N. & Sukkel, M. (2023). An Assessment of the Risk Factors Associated with Disease Outbreaks across Tilapia Farms
- Nugroho, E., Setijaningsih, L., Puspaningsih, D. & Dewi, R. R. S. P. S. (2022). The productivity phenomenon of tilapia floating net cages in Jatiluhur Reservoir in line with the Citarum Harum program. The 5<sup>th</sup> International Marine and Fisheries Symposium. *IOP Publishing*. 1119(1): 012060.
- Núñez-Torres, O. P., Paredes-Sandoval, J. C., Artieda-Rojas, J. R. & Muñoz-Espinoza, M. S. (2022). Aprovechamiento del extracto crudo de ajo (*Allium sativum*) como alternativa en la prevención de saprolegniosis en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the Selva Andina Animal Science*. 9(1): 3-14.
- Okoro, B. C., Dokunmu, T. M., Okafor, E., Sokoya, I. A., Israel, E. N., Olusegun, D. O., Bella-Omunagbe M., Ebubechi U. C., Ugbogu E. A. & Iweala, E. E. J. (2023). The ethnobotanical, bioactive compounds, pharmacological activities and toxicological evaluation of garlic (*Allium sativum*): A review. *Pharmacological Research*. 8(2023) 100273.
- Omar, S. H. & Al-Wabel, N. A. (2010). Organosulfur compounds and possible mechanism of garlic in cancer. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 18: 51-58.
- Peng, M., Zhao, X. & Biswas, D. (2017). Polyphenols and tri-terpenoids from *Olea europaea* L. in alleviation of enteric pathogen infections through limiting bacterial virulence and attenuating inflammation. *Journal of Functional Foods*. 36: 132-143.
- Pishchany, G. & Kolter, R. (2020). On the possible ecological roles of antimicrobials. *Molecular Microbiology*. 113: 580-587.
- Prasad, S., Shilpa, V. P., Abbas, H. S. & Kotakonda, M. (2022). Mechanisms of Antimicrobial Resistance: Highlights on Current Advance Methods for Detection of Drug Resistance and Current Pipeline Antitubercular Agents. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 23: 1824-1836.

- Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á. & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta universitaria*. 27(5):19-25.
- Osuna-Cabanillas, J. M., Medina-Guerrero, R. M., Camacho-Zepeda, S., Morales-Serna, F. N. & Fajer-Ávila, E. J. (2022). Prevalencia e intensidad de tricodínidos y monogeneos en tilapia cultivada en el suroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 9(2): e3290.
- Prabu, E., Rajagopalsamy, C. B. T., Ahilan, B., Jeevagan, I. J. M. A. & Renuhadevi, M. (2019). Tilapia—an excellent candidate species for world aquaculture: a review. *Annual Research & Review in Biology*. 31: 1-14.
- Qiang, J., He, J., Yang, H., Xu, P., Habte-Tsion, H. M., Ma, X. Y. & Zhu, Z. X. (2016). The changes in cortisol and expression of immune genes of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) at different rearing densities under *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture International*. 24: 1365-1378.
- Quijada, J. P. (1992). Reacomodos. Treinta años después. *Alteridades*. 4: 61-66.
- Rahman, M. S. (2007). Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. *International Journal of Food Properties* 10(2): 245-268.
- Rana, K. J., Siriwardena, S. & Hasan, M. R. (2009). Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Paper 541.
- Rana, K. J. & Hassan, M. R. (2013). On-farm feeding and feed management practices for sustainable aquaculture production: an analysis of case studies from selected Asian and African countries. On-farm feeding and feed management in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical, Rome, FAO. Paper No. 583. pp. 21-67.
- Rao, P. P., Rao, L. J. & Raghavan, B. (1999). Chemical composition of essential oils of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*. 8(1): 41-47.

- Reiczigel, J., Marozzi, M., Fábíán, I. & Rózsa, L. (2019). Biostatistics for parasitologists—a primer to quantitative parasitology. *Trends in Parasitology*. 35(4): 277-281.
- Reuter H.D., Koch P. & Lawson D.L. (1996). Therapeutic effects and applications of garlic and its preparations. En: Koch, H. P. & Lawson, D. L., (eds). *Garlic: The Science and Therapeutic Applications of Allium sativum L. and Related Species*, 2<sup>a</sup> ed. William & Wilkins, Baltimore, MD. pp. 135-212.
- Reyes, A. T. (2024). Comparison of Fulton's Condition Factor of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Reared in Ponds in Lubao, Pampanga, Philippines During the Dry Season. *UTTAR PRADESH Journal of Zoology*, 45(15), 406-416.
- Roberts, R. J. & Ellis, A. E. (2012). The Anatomy and Physiology of Teleosts. En: Roberts, R. J. (ed). *Fish pathology*. 4<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons. Iowa, USA. pp. 17-61.
- Rojas-Runjaic, B., Perdomo, D. A., García, D. E., González-Estopiñán, M., Corredor, Z., Moratinos, P. & Santos, O. (2011). Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 29(1): 113-126.
- Romero Hernández, E. (2021). Evaluación de la sustentabilidad en sistemas agroforestales tradicionales con manejo agroecológico: dos estudios de caso en los estados de Veracruz y Oaxaca (Tesis de Maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. 83 p.
- Rompikuntal, P. K. & Garlapati, S. (2015). Antimicrobial (Drug) Resistance. *Advances in Pharmacoepidemiology & Drug Safety*. S2: 001.
- Rutten, M. J., Bovenhuis, H. & Komen, H. (2005). Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*. 246(1-4): 125-132.

- Sakai, M. (1999). Current research status of fish immunostimulants. *Aquaculture*. 172(1-2): 63-92.
- Samad, A. P. A., Amin, M. & Suwardi, A. B. (2022). Cultivation of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Using Floating Net Cage System to Improve Economic Value of Alur Cucur Community, Rantau, Aceh Tamiang. *Engagement: Journal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 6(1): 163-172.
- Samaddar, A. (2022). Recent trends on Tilapia cultivation and its major socioeconomic impact among some developing nations: A Review. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*. 1-11.
- Samson, J. S. (2019). Effect of garlic (*Allium sativum*) supplemented diets on growth, feed utilization and survival of red tilapia (*Oreochromis* sp.). *Technology*. 15(4): 637-644.
- Schneider, J.C., Laarman, P.W. & Gowing, H. 2000. Length-weight relationships. En: Schneider, James C. (ed.) 2000. Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates. Michigan Department of Natural Resources, Fisheries Special Report 25. Ann Arbor: 1 pp.
- Seibel, H., Baßmann, B. & Rebl, A. (2021). Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*. 8: 616955.
- Setijaningsih, L., Setiadi, E., & Taufik, I. 2021. The effect of garlic *Allium sativum* addition in feed to the growth performance and immune response of tilapia *Oreochromis niloticus*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 744 (2021): 012072.
- Shang, A., Cao, S. Y., Xu, X. Y., Gan, R. Y., Tang, G. Y., Corke, H., Mavumengwana, V. & Li, H-B. (2019). Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). *Foods*. 8(7): 246.
- Shahsavani, D., Baghshani, H., Aslani, M. R. & Fatemi, F. S. (2012). The impact of allicin on lead-induced oxidative damage in selected organs of the

- common carp (*Cyprinus carpio*). *Comparative Clinical Pathology*. 21: 769-775.
- Shelton, W.L. & Popma, T.J. (2006). Chapter I: Biology. En: Lim, Ch. & Webster, C. D. (eds). *Biology: Tilapia biology, culture and nutrition*. New York, NY, USA: Food Production Press. pp. 1-27.
- Shinn, A. P., Avenant-Oldewage, A., Bondad-Reantaso, M. G., Cruz-Laufer, A. J., García-Vásquez, A., Hernández-Orts, J. S., Kuchta, R., Longshaw, M., Metselaar, M., Pariselle, A., Pérez-Ponce de León, G., Pradhan, P. K., Rubio-Godoy, M., Sood, N., Vanhove, M. P. M. & Deveney, M. R. (2023). A global review of problematic and pathogenic parasites of farmed tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 15: 92-153.
- Silva, F. V., Sarmiento, N. L. D. A. F., Vieira, J. S., Tessitore, A. J. D. A., Oliveira, L. L. D. S. & Saraiva, E. P. (2009). Morphometric characteristics, carcass, filet, viscera and residues in different weight categories of the Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38: 1407-1412.
- Silveira-Telli, G., Ranzani-Paiva, M. J., Carla-Dias, T. D., Rosa-Sussel, F., Massatoshi, I. & Tachibana, L. (2014). Dietary administration of *Bacillus subtilis* on hematology and non-specific immunity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised at different stocking densities. *Fish & Shellfish Immunology*. 39(2): 305-311.
- Simorangkir, R., Sarjito, S. & Haditomo, A. H. C. (2020). Pengaruh Ekstrak Bawang Putih (*Allium sativum*) Terhadap Tingkat Pencegahan Infeksi Bakteri *Vibrio harveyi* dan Kelulushidupan Ikan Nila Salin (*Oreochromis niloticus*). *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*. 4(2): 139-147.
- Sîrbu, E., Dima, M. F., Tenciu, M., Cretu, M., Coadă, M. T., Țoțoiu, A., Cretu, M., Coadă, M. T., Totoiu, A.; Cristea, V. & Patriche, N. (2022). Effects of dietary supplementation with probiotics and prebiotics on growth, physiological

- condition, and resistance to pathogens challenge in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fishes*. 7(5): 273.
- Snieszko, S. F. (1974). The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *Journal of Fish Biology*. 6(2): 197-208.
- Sommerset, I., Krossøy, B., Biering, E. & Frost, P. (2005). Vaccines for fish in aquaculture. *Expert review of vaccines*. 4(1): 89-101.
- Stentiford, G. D. (2022). One Health Aquaculture—a personal perspective. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. 41(5): 188-191.
- Susanti, N., Oktaviani, D., Apriani, L., & Gustriana, G. (2021). The effectivity of Garlic (*Allium sativum* L.) and Turmeric (*Curcuma longa* L.) in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) infected by *Edwardsiella tarda*. *Indonesian Journal of Tropical Aquatic*. 4(2): 1-12.
- Syngai, G. G., Dey, S. & Bharali, R. (2016). Evaluation of toxicity levels of the aqueous extract of *Allium sativum* and its effects on the behavior of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 417-421.
- Tao, Z., Geng, D., Tao, J., Wang, J., Liu, S., Wang, Q., Xu, F., Xiao, S. & Wang, R. (2022). Synergistic Antibacterial Effect and Mechanism of Allicin and an *Enterobacter cloacae* Bacteriophage. *Microbiology spectrum*. 03155:22.
- Tierney, K. B., Farrell, A. P., & Kennedy, C. J. (2004). The differential leucocyte landscape of four teleosts: juvenile *Oncorhynchus kisutch*, *Clupea pallasii*, *Culaea inconstans* and *Pimephales promelas*. *Journal of Fish Biology*. 65(4): 906-919.
- Torrens, M. (2015). Interpretación clínica del hemograma. *Revista médica clínica las Condes*. 26(6): 713-725.
- Vajargah, M. F. (2021). A review of the physiology and biology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture & Marine Biology*. 10(6): 244-246.

- Valenzuela-Gutiérrez, R., Lago-Lestón, A., Vargas-Albores, F., Cicala, F. y Martínez-Porchas, M. (2021). Exploring the garlic (*Allium sativum*) properties for fish aquaculture. *Fish Physiology and Biochemistry*. 47(4): 1179-1198.
- Voigt, G. L. & Swist, S. L. (2011). *Hematology techniques and concepts for veterinary technicians*. 2<sup>nd</sup> Edition. Iowa, USA. John Wiley & Sons. 179 p.
- Wang, J., Gurupalli, H. V. & Stafford, J. L. (2023). Teleost leukocyte immune-type receptors. *Developmental & Comparative Immunology*. 104768:
- Wanja, D. W., Mbutia, P. G., Waruiru, R. M., Mwadime, J. M., Bebora, L. C., Nyaga, P. N. & Ngowi, H. A. (2020). Fish husbandry practices and water quality in central Kenya: potential risk factors for fish mortality and infectious diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020: 6839354.
- Weston, D.P. (2000). Ecological effects of the use of chemicals in aquaculture. En: J.R. Arthur, C.R. Lavilla-Pitogo, & R.P. Subasinghe (eds) Use of Chemicals in Aquaculture in Asia: Proceedings of the Meeting on the Use of Chemicals in Aquaculture in Asia 20-22 May 1996. Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center. pp. 23-30.
- Wiradana, P. A., Yudha, I. K. W. & Mukti, A. T. 2022. Mass tilapia (*Oreochromis mossambicus*) mortality in floating net cages at Batur Lake, Bangli Regency, Bali Province: a case report. En *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. Vol. 1036, No. 1. p. 012068.
- Witeska, M., Kondera, E., Ługowska, K. & Bojarski, B. (2022). Hematological methods in fish—Not only for beginners. *Aquaculture*. 547: 737498.
- Yavuzcan Yildiz, H., Phan Van, Q., Parisi, G. & Dam Sao, M. (2019). Anti-parasitic activity of garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) juice against crustacean parasite, *Lernantropus kroyeri*, found on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Italian Journal of Animal Science*. 18(1): 833-837.

- Zafar, A., Roni, M. A., Rana, M. & Akter, N. (2023). Growth, digestive enzyme activities, proximate composition and hemato-biochemical responses of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at various stocking densities in a recirculatory aquaculture system. *Journal of Applied Aquaculture* 35(4): 1179-1201.
- Zimmermann, S., Kiessling, A. & Zhang, J. (2023). The future of intensive tilapia production and the circular bioeconomy without effluents: Biofloc technology, recirculation aquaculture systems, bio-RAS, partitioned aquaculture systems and integrated multitrophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 15: 22-31.

## 11. ANEXOS

Anexo A. Porcentaje de machos y hembras por tratamiento de los organismos experimentales.

Anexo B. Valor promedio de las variables productivas en tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con distintos porcentajes de ajo (*A. sativum*), incluidos en su dieta.

Anexo C. Registro de mortalidad diaria en tilapias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

Anexo D. Consumo de alimento por tratamiento (CAT) en tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

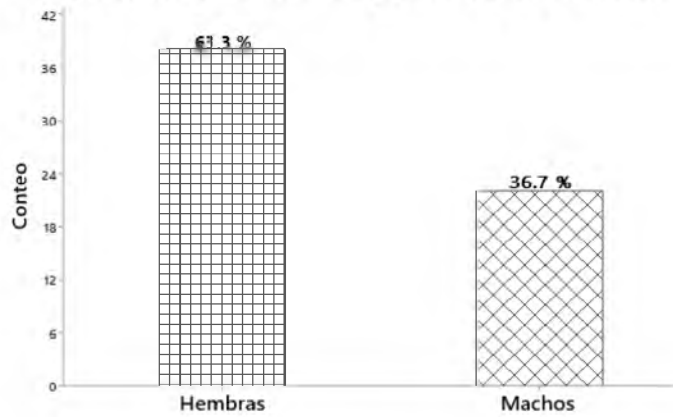
Anexo E. Nivel de hematocrito (HTC) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

Anexo F. Nivel de proteína plasmática total (PT) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

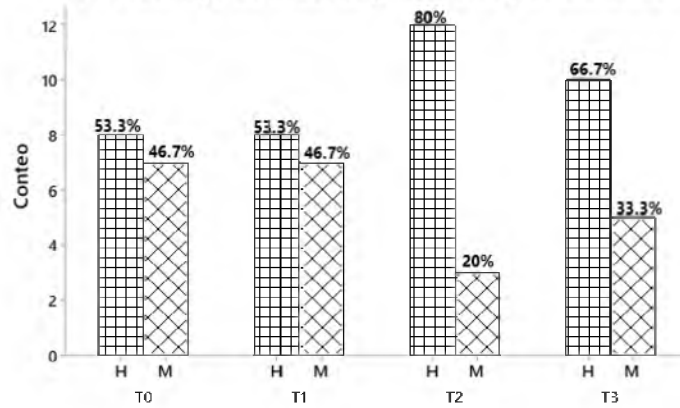
Anexo G. Número de glóbulos blancos (GB) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

Anexo H. Nivel de hemoglobina (HB) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*).

a) Porcentaje de machos y hembras en la muestra

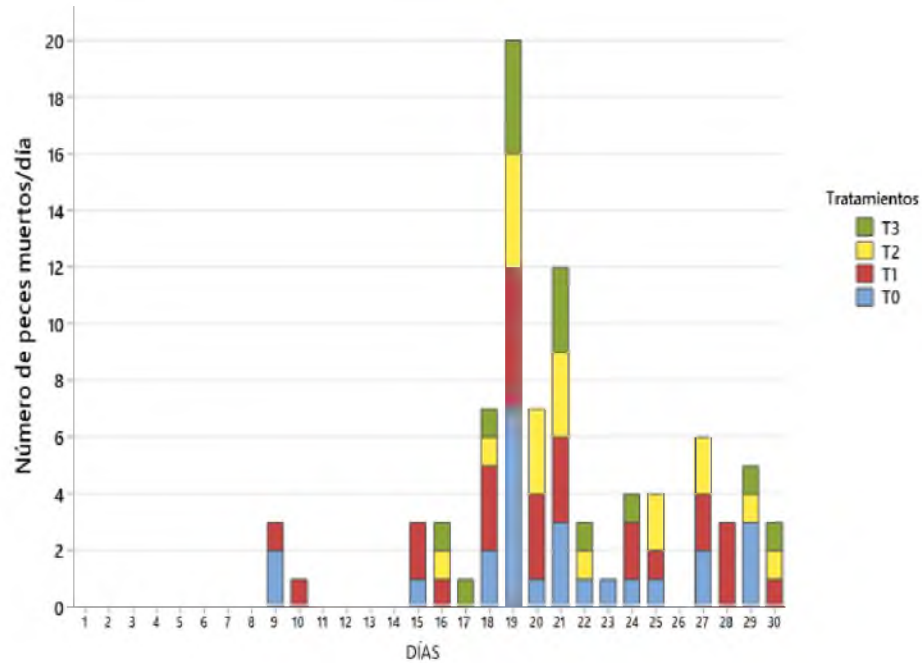


b) Porcentaje de machos y hembras por tratamiento

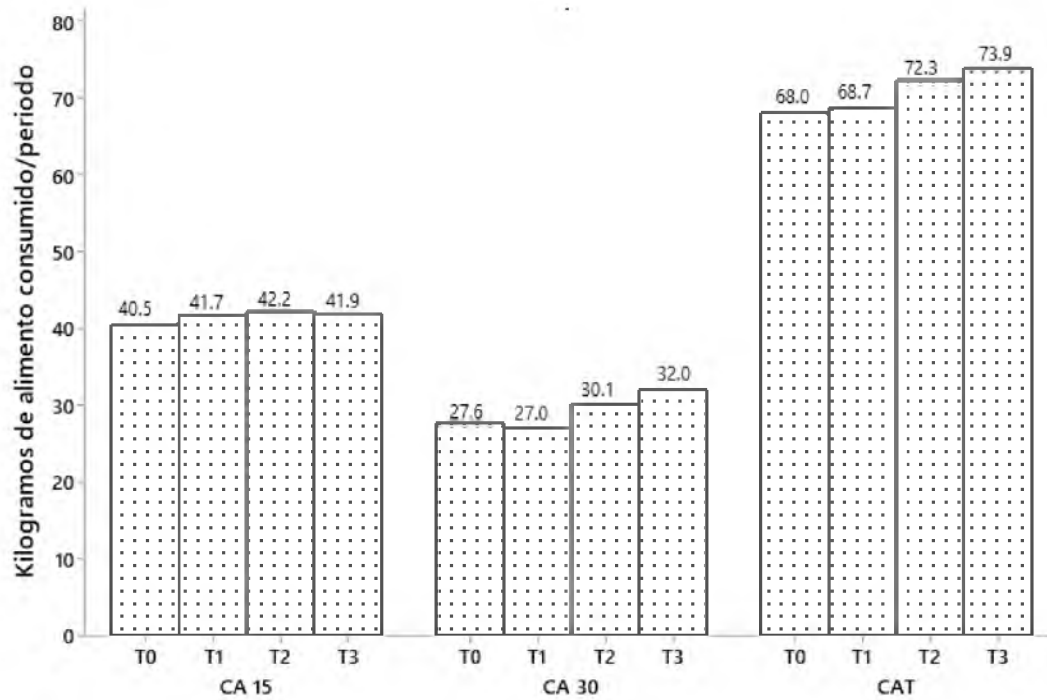


**Anexo A.** Porcentaje de machos y hembras por tratamiento de los organismos experimentales. T0 = grupo control, T1 = tratamiento con 0.5% de ajo en la dieta, T2 = tratamiento con 1.5% de ajo en la dieta y T3 = 2.5% de ajo en la dieta. H = hembras y M= machos.

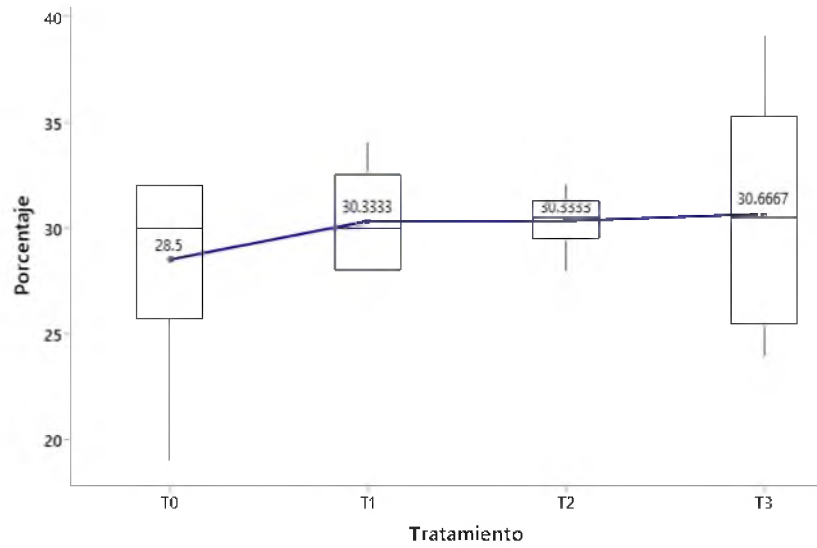




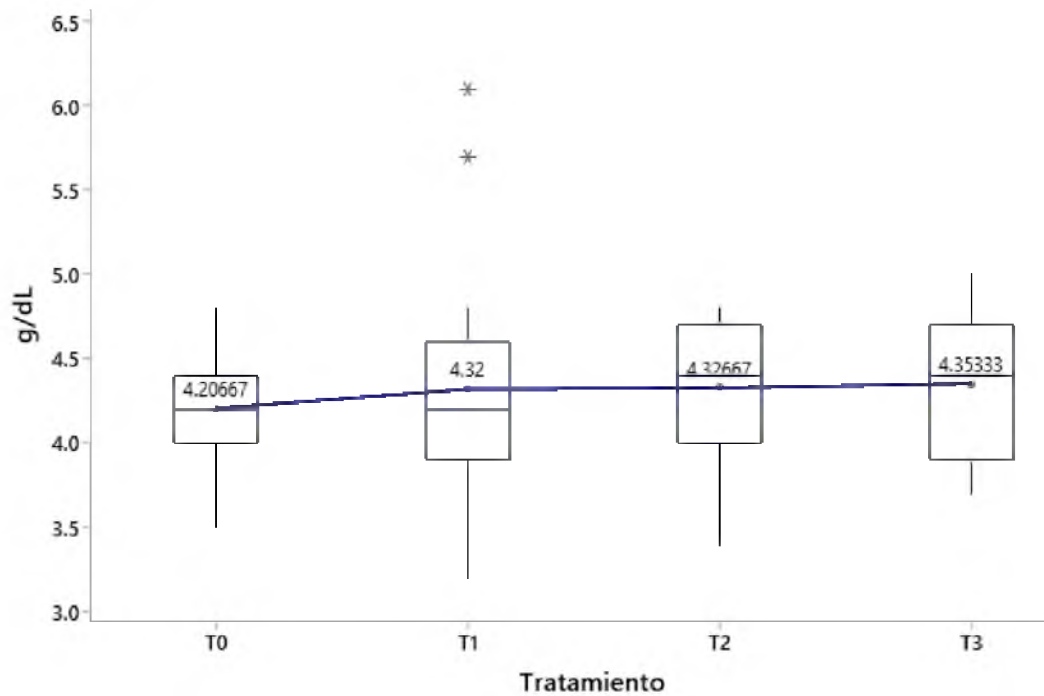
**Anexo C.** Registro de mortalidad diaria en tilapias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). T0 = grupo control, T1 = tratamiento con 0.5% de ajo en la dieta, T2 = tratamiento con 1.5% de ajo en la dieta y T3 = tratamiento con 2.5% de ajo en la dieta.



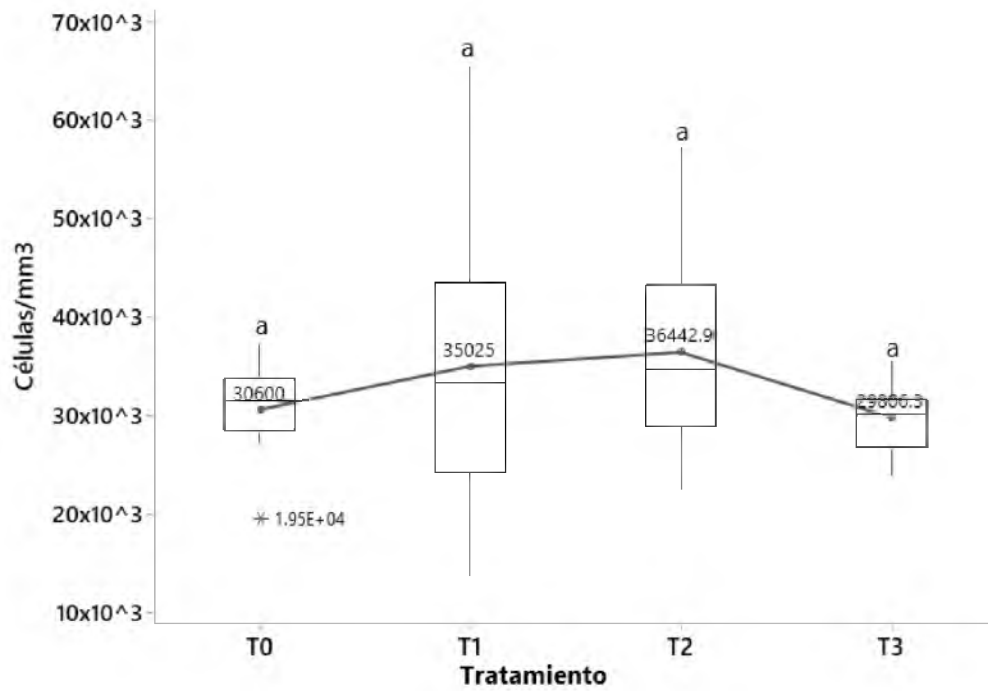
**Anexo D.** Consumo de alimento por tratamiento en tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). CA15 = Consumo de alimento del día 0 al día 15, CA30 = Consumo de alimento del día 16 al día 30, CAT = Consumo de alimento total. T0 = Control, T1 = 0.5% T2 = y T3 = 2.5%.



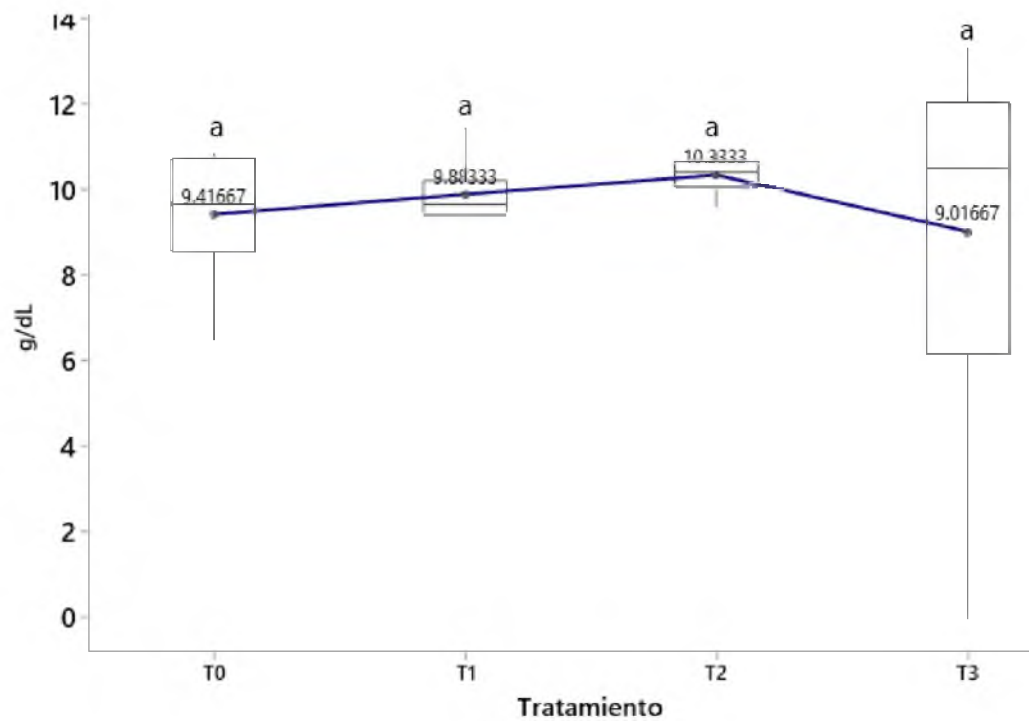
**Anexo E.** Nivel de hematocrito en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). T0 = Control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%.



**Anexo F.** Nivel de proteína plasmática total (PT) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). T0 = Control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%. g/dL = gramos/decilitro.



**Anexo G.** Número de glóbulos blancos (GB) en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). T0 = Control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5%.



**Anexo H.** Nivel de hemoglobina en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con diferentes porcentajes de ajo (*Allium sativum*). T0 = Control, T1 = 0.5%, T2 = 1.5% y T3 = 2.5 %. g/dL = gramos/decilitro.