

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN EL SISTEMA DE PERMACUAPONÍA  
EN LOS ESTANQUES DE LA INSTITUCIÓN AGRICOLA GUACAVIA, CUMARAL  
META



DANIELA LIZETH MENDOZA ROJAS  
ANA SOFIA RIVERA ALDANA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO  
2023

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN EL SISTEMA DE PERMACUAPONÍA  
EN LOS ESTANQUES DE LA INSTITUCIÓN AGRICOLA GUACAVIA, CUMARAL  
META

DANIELA LIZETH MENDOZA ROJAS  
ANA SOFIA RIVERA ALDANA

Trabajo de grado modalidad de auxiliatura de investigación para optar el título de Ingeniero  
Ambiental

Director  
DIEGO ANDREY CORTES NARANJO  
Ingeniero Ambiental - Magister en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO  
2023

**Autoridades Académicas**

**P. José Gabriel Mesa Angulo, O.P.**

Rector General

**P. Eduardo González Gil, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio Balaguera Cepeda , O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Rodrigo García Jara, O. P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. Julieth Andrea Sierra Tabón**

Secretaria general – Seccional Villavicencio

**Mg. William Peñaranda Zárate**

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

## Tabla de contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	8
<b>1. Justificación</b> .....	9
<b>2. Pertinencia social</b> .....	10
<b>3. Objetivos macroproyecto</b> .....	11
<b>3.1. Objetivo general</b> .....	11
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	11
<b>4. Objetivos auxiliatura de investigación</b> .....	12
<b>4.1. Objetivo general</b> .....	12
<b>4.2. Objetivos Específico</b> .....	12
<b>5. Metodología</b> .....	13
<b>5.1. Fase 1. Recolección de Información</b> .....	14
<b>5.1.1. Etapa 1. Caracterización de las condiciones iniciales de los estanques</b> .....	14
<b>5.1.2. Etapa 2. Monitoreo de los parámetros de la calidad del agua</b> .....	14
<b>5.2. Fase 2. Comparación de resultados de los parámetros de la calidad del agua</b> ..	16
<b>5.2.1. Actividad 1: Cálculo de la Raíz del Error Medio Cuadrático</b> .....	16
<b>5.2.2. Actividad 2: Análisis estadístico</b> .....	16
<b>5.2.3. Actividad 3: Gráficos de variación de los parámetros de la calidad del agua con respecto al tiempo.</b> .....	17
<b>5.2.4. Actividad 3: Validación de resultados con la normativa</b> .....	17
<b>6. Resultados y análisis</b> .....	18
<b>6.1. Comparación de resultados de los parámetros de la calidad del agua</b> .....	22
<b>6.2. Validación de resultados con la normativa</b> .....	32
<b>7. Conclusiones</b> .....	33
<b>8. Recomendaciones</b> .....	35
<b>9. Referencias bibliografía</b> .....	36

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Parámetros a analizar in-situ.....	15
Tabla 2. Parámetros a analizar ex-situ. ....	15
Tabla 3. Condiciones iniciales de la entrada del estanque tomadas por Tecnoambiental S.A.S. .....	18
Tabla 4. Condiciones iniciales del estanque tomadas por Tecnoambiental S.A.S. ....	18
Tabla 5. Resultados de datos en el estanque con el sistema de permacuaponía. ....	20
Tabla 6. Resultados de datos en el estanque con el sistema de piscícola. ....	21
Tabla 7. Coeficiente de correlación de Pearson del sistema de permacuaponía.....	22
Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson del sistema de piscícola.....	23

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Estanques piscícolas tradicionales.....	13
Figura 2. Sistema de permacuaponía y piscícola. ....	13
Figura 3. Comportamiento de la temperatura del sistema de permacuaponía. ....	24
Figura 4. Comportamiento de la temperatura del sistema piscícola. ....	24
Figura 5. Comportamiento del potencial de hidrógeno del sistema de permacuaponía. ....	25
Figura 6. Comportamiento del potencial de hidrógeno del sistema piscícola. ....	25
Figura 7. Comportamiento de conductividad del sistema de permacuaponía. ....	26
Figura 8. Comportamiento de conductividad del sistema piscícola. ....	26
Figura 9. Comportamiento del oxígeno disuelto del sistema de permacuaponía. ....	27
Figura 10. Comportamiento del oxígeno disuelto del sistema piscícola. ....	27
Figura 11. Comportamiento de fosfatos del sistema de permacuaponía. ....	28
Figura 12. Comportamiento de fosfatos del sistema piscícola. ....	28
Figura 13. Comportamiento de nitritos del sistema de permacuaponía. ....	29
Figura 14. Comportamiento de nitritos del sistema piscícola. ....	29
Figura 15. Comportamiento de nitratos del sistema de permacuaponía. ....	30
Figura 16. Comportamiento de nitratos del sistema piscícola. ....	30
Figura 17. Comportamiento del DBO5 en el sistema de permacuaponía. ....	31
Figura 18. Comportamiento del DBO5 en el sistema piscícola. ....	31

## Resumen

La piscicultura consiste en la cría y explotación de cultivos de especies acuáticas en ambientes tanto de agua dulce como marina en un sistema de circulación de agua, mientras que, la permacuaponía es la combinación de un sistema de producción de peces y hortalizas. se evaluó la calidad del agua de dos sistemas, uno de permacuaponía y otro de producción piscícola tradicional en la Institución Educativa Agrícola Guacavía, debido a que la calidad de agua del sistema y del vertimiento se ve afectada por la actividad piscícola a causa del desaprovechamiento de los nutrientes provenientes del alimento, ya que el pez ingiere el 70% o 75% de este, convirtiéndose en un residuo alto en compuestos de **nitrógeno y fosforo**, de modo que, se genera el cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua. Para ello, se realiza el análisis de los parámetros de calidad de agua del afluente y de los estanques de producción a partir de 5 muestras tomadas de cada estanque en un periodo de tiempo de 2 meses. Se obtiene como resultado que los parámetros de la calidad del agua del estanque con sistema de permacuaponía presenta una mejora en el agua a diferencia del sistema tradicional de producción piscícola, debido a que se observa que los parámetros de fosfatos disminuyen un 40% y los nitratos un 65%. La conductividad eléctrica se encontraba en un rango muy bajo, sin embargo, este aumento un 23%.

**Palabras clave:** permacuaponía, calidad del agua, producción piscícola.

### **Abstract**

Fish farming is the raising and cultivation of aquatic species in both freshwater and marine environments in a water circulation system, while permacuaponics is the combination of a fish and vegetable production system. The water quality of two systems, one of permacuapony and the other of traditional fish production at the Guacavía Agricultural Educational Institution, was evaluated because the water quality of the system and the discharge is affected by the fish farming activity due to the waste of nutrients from the food, since the fish ingest 70% or 75% of it, becoming a residue high in nitrogen and phosphorus compounds, so that changes in the physicochemical parameters of the water are generated. For this purpose, the analysis of the water quality parameters of the influent and the production ponds was carried out on the basis of 10 samples taken from each pond over a period of 2 months. As a result, the water quality parameters of the pond with the permacuaponics system showed an improvement in the water as opposed to the traditional fish production system, due to the fact that the phosphate parameters decreased by 40% and nitrates by 65%. The electrical conductivity was in a very low range, however, it increased by 23%.

**Keywords:** permaquaponics, water quality, f fish production.

## Introducción

El agua es un elemento esencial para los seres vivos debido a que estos poseen el 80% de agua en su organismo para su existencia y se encuentra directamente relacionada con la demanda del recurso y el desarrollo social. Al pasar el tiempo los seres humanos en su contante desarrollo han generado la contaminación del recurso hídrico, de modo que ha causado el deterioro de ecosistemas acuáticos y suelos en los que se han asentado (Rodón, 2015).

La calidad del agua es un término relativo ya que depende los criterios del país y del uso en relación a la finalidad que proporciona, de modo que, dependiendo del tipo de actividad para la que se requiere el recurso se determinan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, usualmente, los criterios más exigentes son para el consumo humano, a diferencia de las características del agua que debe estar los parámetros para el hábitat de los peces y la vida silvestre, para actividades agrícolas e industriales, entre otras (Gualdrón, 2016).

Las actividades piscícolas afectan la calidad del agua a causa del desaprovechamiento del alimento del 30% y 25% que no consumido y el excremento de los peces se convierten en materia orgánica tanto en suspensión como decantada sobre el lecho. Estos desechos originarios de la alimentación incrementa la presencia de los nutrientes de fósforo (P) y compuestos nitrogenados, dos de los contaminantes más significativos para el entorno, debido a que estos nutrientes promueven el crecimiento de algas generando cambios en el pH y oxígeno disuelto, siendo este parámetro muy influyente en los organismos acuáticos ya que es necesario en su desarrollo, de tal forma, si se presenta insuficiencia de este parámetro puede causar la reducción del crecimiento de los peces e incrementar la tasa de mortalidad (Peña, 2007) (Luna, 2011).

## 1. **Justificación**

En el presente trabajo se evalúa la calidad del agua de dos sistemas, uno de permacuaponía y otro piscícola, debido a que las actividades piscícolas generan un impacto significativo dado que las elevadas cargas de nutrientes provenientes del desaprovechamiento del alimento que se le suministra a los peces y la generación de sólidos suspendidos por el alimento no consumido y las heces del animal. De modo que, la concentración de los nutrientes genera alteraciones en el oxígeno disuelto, cambios en el pH, conductividad y la turbiedad del agua (Buschmann, 2001).

La auxiliatura de investigación tiene un aporte al macroproyecto de investigación **“modelo circular de permacuaponía para la integración agrícola y pecuaria de piscicultores de la región de piedemonte llanero”** en la determinación de los aportes de un sistema de permacuaponía a la calidad del agua durante y después del proceso de producción piscícola.

## 2. Pertinencia social

El sistema de permacuaponía aporta a la producción piscícola beneficios debido a que se emplean dos funciones complementarias aprovechando los recursos disponibles como el agua utilizando una baja tasa de consumo y produciendo desechos aprovechables. Además, otro beneficio de la permacuaponía es que efectúa completamente una producción limpia y orgánica sin la utilización de químicos agresivos (Ramírez, 2017). Por ende, sería un impacto positivo tanto para el medio ambiente como para la comunidad productora, ya que al aplicar la permacuaponía se reutilizan los residuos procedentes de la producción piscícola para abonar a la producción agrícola, obteniendo dos cultivos y la reducción en los niveles contaminación del embalse, lo cual mejora los ingresos de los productores (Mendoza, D. & Rivera, A. 2022).

La comunidad estudiantil de la Institución Educativa Agrícola de Guacavía mejoraría su calidad de educación, ya que enseña diferentes áreas de la ciencia aumentando el interés de los estudiantes en crear nuevas alternativas amigables con el medio ambiente con respecto a la agricultura y acuicultura (Ramírez, Sabogal, Jiménez & Giraldo, 2017).

Posteriormente, la permacuaponía se establece como uno de los enfoques agrícolas sostenible a los que se refieren los objetivos de desarrollo sostenible, ya que desarrolla una eficiencia en los cuerpos hídricos utilizando menos del 90% del consumo de agua comparándolo con la actividad agrícola convencional, reutilizando el exceso de nutrientes producidos y disminuyendo la utilización de áreas para su implementación. No obstante, este sistema enfrenta dificultades en cuanto a los aspectos técnicos y socioeconómicos (Osorto & Sierra, 2020). La permacuaponía contribuye al cumplimiento de los objetivos 1 (fin de la pobreza), 2 (hambre cero), 8 (trabajo decente y crecimiento económico), 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y 12 (producción y consumos responsables) de los ODS, dando solución al desempleo rural, exclusión social, los bajos niveles de técnicos en los procesos productivos y contaminación. Debido a que este tipo de producción sostenible promueve la economía de las comunidades rurales, enfocándose en la conservación de los recursos naturales mediante un adecuado manejo y uso de los recursos (ONU, 2020).

### **3. Objetivos macroproyecto**

#### **3.1. Objetivo general**

Modelo circular de permacuaponía para la integración de la línea de producción agrícola y pecuaria de piscicultores de los llanos orientales

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar un sistema óptimo de permacuaponía
- Identificar los elementos que afectan la calidad del agua y la producción piscícola antes del sistema de permacuaponía.
- **Determinar los aportes de la permacuaponía a la calidad del agua durante y después de la producción piscícola.**

## **4. Objetivos auxiliatura de investigación**

### **4.1. Objetivo general**

Evaluar el mejoramiento de la calidad del agua en un estanque de producción piscícola con un sistema de permacuaponía en la Institución Educativa Agrícola Guacavía.

### **4.2. Objetivos Específico**

- Caracterizar las condiciones actuales de la calidad del agua de dos estanques con actividad piscícola en la Institución Educativa Agrícola Guacavía.
- Monitorear la calidad del agua en los estanques, uno de ellos con un sistema de permacuaponía mediante el análisis de parámetros físicos y químicos en laboratorio.
- Comparar la calidad de agua de los estanques estudiados con el fin de determinar su efectividad del sistema de permacuaponía en la mejora de la calidad del agua.

## 5. Metodología

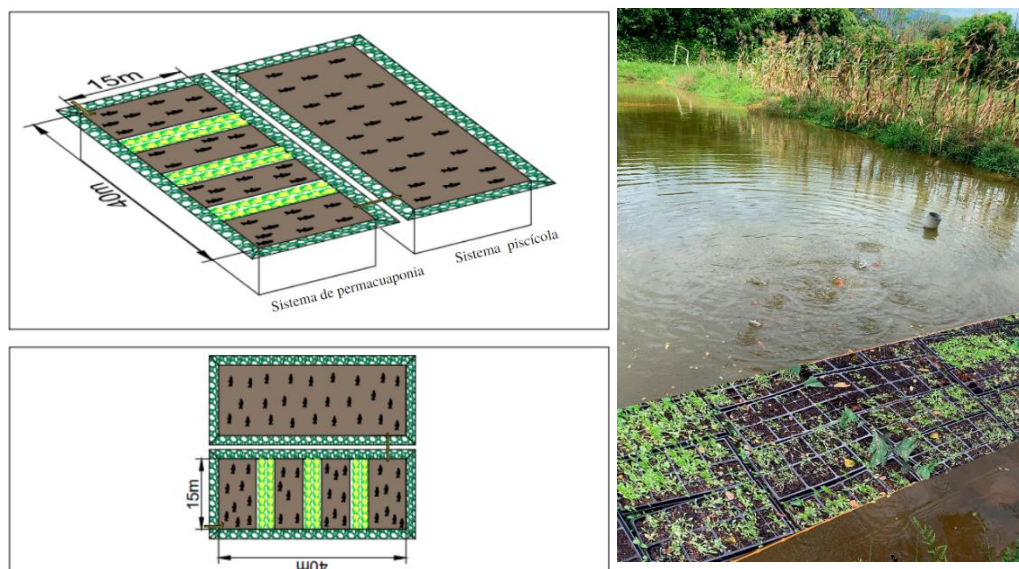
La evaluación de la calidad del agua en el estanque de producción piscícola con un sistema de permacuaponía se ejecuta en las instalaciones de la Institución Educativa Guacavía, localización correspondiente a 452 m.s.n.m y con una temperatura promedio de 21°C (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016).

*Figura 1. Estanques piscícolas tradicionales.*



Se llevó a cabo en dos estanques piscícolas que poseen dimensiones de 40x15 metros y 1.20 m de profundidad, en donde, se agregaron 400 alevinos, 300 especies de tilapia roja y 100 de mojarra en cada estanque, en uno de los estanques se implementó el sistema agrícola donde se cultivaron 1.000 plántulas de lechuga Batavia.

*Figura 2. Sistema de permacuaponía y piscícola.*



El sistema de permacuaponía consiste en el conjunto de un sistema agrícola y un sistema piscícola, las plántulas de lechuga aprovechan el residuo nutricional de alimento desechado por los peces, debido a que, el alimento que se le proporciona al pez a menudo contiene nutrientes en exceso; de esta manera, las plántulas pueden actuar como un sistema natural de aprovechamiento en términos de economía circular para reducir la cantidad de nutrientes no utilizados en el agua y, por lo tanto, ayudar a mantener un ecosistema acuático saludable y el residuo líquido que se aporta como vertimiento mejora en condiciones de aporte de nutrientes.

A partir del reconocimiento del área de estudio, se determina que los puntos para la toma de muestras serán la entrada y la salida del agua con el fin de conocer las condiciones iniciales en que proviene el agua y en las condiciones en que es vertida al cuerpo hídrico, tomando en cuenta la metodología de Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales (IDEAM, 2007).

## **5.1. Fase 1. Recolección de Información**

Inicialmente, para la obtención de la información se realizó por medio de la toma de muestras in-situ y ex-situ de los dos estanques, es decir el estanque con sistema de permacuaponía y el estanque sistema piscícola en la entrada, en el estanque y en el lodo.

### ***5.1.1. Etapa 1. Caracterización de las condiciones iniciales de los estanques***

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Tecnoambiental S.A.S con NIT: 8220017390, certificado por el IDEAM localizado en la ciudad de Villavicencio con el fin de tener un referente a las pruebas realizadas y determinar el intervalo de confianza.

### ***5.1.2. Etapa 2. Monitoreo de los parámetros de la calidad del agua***

#### ***5.1.2.1. Actividad 1: Toma de muestras in-situ y ex-situ***

- Se realizó la toma de análisis in-situ, previa a la instalación del sistema de permacuaponía con el uso del multiparámetro WTW 3630 para medir los siguientes parámetros de calidad del agua:

Tabla 1. Parámetros a analizar in-situ.

Variable	Unidad	Método
pH	pH	Multiparámetro
Conductividad eléctrica	us/cm	Multiparámetro
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	Multiparámetro

Nota: adaptado de de (Ruiz & Guayara, 2020).

- Se tomaron 4 muestras para el análisis ex-situ de los siguientes parámetros fisicoquímicos:
- 

Tabla 2. Parámetros a analizar ex-situ.

Variable	Unidad	N° Standard Methods
DBO5	mg O <sub>2</sub> /L	5210B
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L	4500-NO2 B
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	4500-NO3 B
Fósforo	mg P-P04 /L	4500-P C

Nota: adaptado de (Ruiz & Guayara, 2020) .

**5.1.2.2. Actividad 2: Monitoreo de los parámetros de calidad del agua.** Los monitoreos se realizaron durante 2 meses, en donde, en cada 15 días se tomará las muestras de los parámetros de la calidad del agua in-situ y ex situ para el estanque teniendo un total de 5 muestras por cada estanque.

Las muestras fueron recolectadas en frascos de vidrio tapa azul color ámbar y preservadas en una nevera de icopor con gel refrigerante de acuerdo al protocolo descrito por el Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater de la AWWA (numeral 1060 B y C) y la Guía Técnica Colombiana 100 de 2004.

## 5.2. Fase 2. Comparación de resultados de los parámetros de la calidad del agua

Finalmente, se compararon los resultados de parámetros de calidad del agua de las muestras obtenidas, por medio gráficos de la variación de los parámetros con respecto al tiempo.

### 5.2.1. Actividad 1: Cálculo de la Raíz del Error Medio Cuadrático

Se realizó un análisis estadístico para verificar la correlación de datos por raíz del error medio cuadrático, refiriéndose a calcular la cantidad de error que existe en medio de dos grupos de datos, en este caso, se comparan los datos entre el estanque con sistema de permacuaponía y el estanque con solo sistema piscícola. A partir de la siguiente ecuación (Martínez, 2020):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{estimado} - \text{real})^2}{N}}$$

N = Número total de datos.

### 5.2.2. Actividad 2: Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el coeficiente de correlación de Pearson a partir de los datos obtenidos de los dos estanques, uno con el sistema de permacuaponía y el piscícola; permitiendo determinar la relación entre las variables con la siguiente formula:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$

r = coeficiente de correlación

S<sub>xy</sub> = covarianza de X y Y

S<sub>x</sub> = desviación estándar de X

S<sub>y</sub> = desviación estándar de Y

La correlación de las variables se mide de -1 a 1, es decir, si r = -1 indica una correlación perfecta negativa, si r = 1 indica una correlación perfecta positiva o si r = 0 no existe una correlación entre las variables.

### ***5.2.3. Actividad 3: Gráficos de variación de los parámetros de la calidad del agua con respecto al tiempo***

Los datos recolectados por cada analítica son comparados mediante gráficos de la variación de los parámetros con respecto al tiempo en el software Excel, con el fin de tener una mejor perspectiva de los cambios en los parámetros a medir entre los estanques al implementar en uno de ellos un sistema de permacuaponía.

### ***5.2.4. Actividad 3: Validación de resultados con la normativa***

Validar los resultados obtenidos del punto salida de los dos estanques con la normativa ambiental vigente para la actividad piscícola

## 6. Resultados y análisis

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del sistema de permacuaponía fueron comparados con el sistema piscícola de la Institución Educativa Agrícola Guacavía en la vereda de Guacavía del municipio de Cumaral en temporada de lluvia.

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la caracterización de las condiciones iniciales de los estanques a partir de las muestras recolectadas el día 23 de agosto de 2022 antes de la implementación del sistema de permacuaponía; en la **tabla 3** corresponde a la muestra tomada en el punto de entrada del agua al estanque y la **tabla 4** a la muestra tomada del agua del estanque.

Tabla 3. Condiciones iniciales de la entrada del estanque tomadas por Tecnoambiental S.A.S.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5210 B, 4500 O G	< 5
FOSFATOS	mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	SM 4500 P D	0,33
NITRATOS	mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B	< 0,5
NITRITOS	mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	SM 4500 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B	< 0,02
NITROGENO TOTAL	mg N/L	SM 4500NorgC, 4500 NH3 B, C	< 5
OXIGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	SM 4500 O C	9,2
pH	Potencial de Hidrogeno	SM 4500 H <sup>+</sup> B	6,97
POTASIO DISUELTO	mg K/L	SM 3030 B, 3500K-B	0,2
TEMPERATURA	°C	SM 2550B	28,1

Tabla 4. Condiciones iniciales del estanque tomadas por Tecnoambiental S.A.S.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5210 B, 4500 O G	< 5
FOSFATOS	mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	SM 4500 P D	0,06
NITRATOS	mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B	< 0,5
NITRITOS	mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	SM 4500 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B	< 0,02
NITROGENO TOTAL	mg N/L	SM 4500 Norg C, 4500 NH3 B, C	< 5
OXIGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	SM 4500 O C	8,32
pH	Potencial de Hidrogeno	SM 4500 H <sup>+</sup> B	6,45
POTASIO DISUELTO	mg K/L	SM 3030 B, 3500 K B	0,7
TEMPERATURA	°C	SM 2550 B	26,9

En cuanto a los datos de monitoreo de los parámetros de calidad del agua de la primera fase de recolección de información, se observan en la siguiente **tabla 5** que corresponde a los

resultados obtenido del estanque del sistema de permacuaponía y en la **tabla 6** corresponde a los datos obtenidos del estanque del sistema piscícola.

Tabla 5. Resultados de datos en el estanque con el sistema de permacuaponía.

Punto de Muestreo	Fecha	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Fosfato	Nitritos	Nitratos	DBO <sub>5</sub>
Estanque	28/10/2022	4,24	38,4	5,37	25,32	0,427	0,004	7,013	6,1
Entrada		6,8	21,61	6,85	22,62	0,317	0,003	2,987	5,8
Lodos		5,41	4,28	4,13	11,5	0,871	0,006	6,753	6,5
Estanque	5/12/2022	6,26	39,20	4,28	25,20	0,444	0,004	7,922	3,00
Entrada		7,40	22,16	5,08	23,20	0,351	0,004	3,766	7,60
Lodos		6,55	5,12	5,87	11,80	1,245	0,007	8,052	7,60
Estanque	15/12/2022	6,30	35,87	2,93	26,20	0,803	0,002	2,792	4,40
Entrada		7,10	26,80	8,15	23,16	0,373	0,003	1,299	0,40
Lodos		6,43	72,60	8,42	12,20	1,864	0,039	8,636	0,60
Estanque	27/01/2023	6,32	50,17	3,58	25,63	0,475	0,006	11,948	4,00
Entrada		6,30	6,18	8,39	23,32	0,463	0,001	1,948	3,80
Lodos		7,90	94,5	6,23	24,28	0,572	0,002	2,143	4,40
<b>RMSE</b>		<b>0,9</b>	<b>-</b>	<b>3,13</b>	<b>7,93</b>	<b>0,32</b>	<b>0,02</b>	<b>5,91</b>	<b>2,33</b>

Tabla 6. Resultados de datos en el estanque con el sistema de piscícola.

Punto de muestreo	Fecha	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Fosfato	Nitritos	Nitratos	DBO5 <sub>5</sub>
Piscina	28/10/2022	4,5	40,9	5,12	25,02	0,401	0,008	13,896	5,2
Entrada		4,2	36,5	6,5	21,52	0,328	0,004	7,532	5,9
Lodos		7,5	26,4	4,02	12,3	1,369	0,007	11,429	4,2
Piscina	5/12/2022	4,36	39,20	4,20	24,20	0,427	0,014	12,338	4,35
Entrada		5,90	46,80	6,04	22,50	0,382	0,005	4,545	6,50
Lodos		7,23	13,90	4,56	13,40	1,307	0,013	10,130	5,40
Piscina	15/12/2022	5,58	57,30	2,39	25,40	0,525	0,019	12,727	3,30
Entrada		6,20	38,10	7,23	22,90	0,463	0,004	2,597	5,50
Lodos		7,20	88,90	6,48	11,20	1,880	0,034	12,208	1,70
Piscina	27/01/2023	6,1	57,20	3,17	25,00	1,276	0,013	14,286	3,50
Entrada		6,10	63,80	7,41	22,1	0,508	0,002	1,948	3,20
Lodos		9,30	105,3	4,96	19,36	2,024	0,041	12,338	4,10
<b>RMSE</b>		<b>1,64</b>	<b>-</b>	<b>3,5</b>	<b>8,31</b>	<b>0,83</b>	<b>0,01</b>	<b>10</b>	<b>1,43</b>

En la tabla 5 y tabla 6, se observa el cálculo de error medio cuadrático (RMSE), el cual indica la desviación de los datos en los dos sistemas representados en las mismas unidades de la variable. El parámetro que presenta mayor desviación entre sus datos son los nitratos del sistema piscícola con 10 mg/L. En los dos sistemas la temperatura tiene una desviación de sus datos de 7,93 y 8,31 °C. Mientras que, los parámetros que presentan una desviación baja son nitritos y el pH.

Es importante tener presente que esta desviación se debe a que son un conjunto de datos tomados de tres puntos de muestro distintos, y en cada punto conlleva una relación de acuerdo a la ubicación de donde fue tomada la muestra y el cálculo se realizó teniendo en cuenta los datos obtenidos de la caracterización inicial de los parámetros del estanque.

### 6.1. Comparación de resultados de los parámetros de la calidad del agua

Se presenta el coeficiente de la correlación de Pearson de los dos sistemas, en donde se observa el grado de correlación de las variables que se encuentran altamente relacionadas, ya que este permite identificar que tan asociadas se encuentran las variables entre sí.

En el sistema de permacuaponía, se observa (ver **tabla 7**) que a mayor fosfato menor temperatura con una correlación menor o igual a -0,581 a un nivel de 0,05.

Tabla 7. Coeficiente de correlación de Pearson del sistema de permacuaponía.

		Correlaciones						
		pH	Conductividad Eléctrica	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Fosfato	Nitratos	DBO <sub>5</sub>
Ph	Correlación de Pearson	1	0,302	0,260	0,097	-0,044	-0,428	-0,171
	Sig. (bilateral)		,341	0,415	0,764	0,892	0,165	0,596
	N	12	12	12	12	12	12	12
Conductividad Eléctrica	Correlación de Pearson	0,302	1	0,053	0,232	0,382	0,105	-0,443
	Sig. (bilateral)	0,341		0,869	0,467	0,220	0,747	0,150
	N	12	12	12	12	12	12	12
Oxígeno Disuelto	Correlación de Pearson	0,260	0,053	1	-0,239	0,367	-0,377	-0,458
	Sig. (bilateral)	0,415	0,869		0,455	0,241	0,228	0,134
	N	12	12	12	12	12	12	12
Temperatura	Correlación de Pearson	0,097	0,232	-0,239	1	-0,581*	-0,311	-0,115
	Sig. (bilateral)	0,764	0,467	0,455		0,048	0,326	0,722
	N	12	12	12	12	12	12	12
Fosfato	Correlación de Pearson	-0,044	0,382	0,367	-0,581*	1	0,428	-0,442
	Sig. (bilateral)	0,892	0,220	0,241	0,048		0,165	0,151
	N	12	12	12	12	12	12	12
Nitratos	Correlación de Pearson	-0,428	0,105	-0,377	-0,311	0,428	1	0,061
	Sig. (bilateral)	0,165	0,747	0,228	0,326	0,165		0,850
	N	12	12	12	12	12	12	12
DBO <sub>5</sub>	Correlación de Pearson	-0,171	-0,443	-0,458	-0,115	-0,442	0,061	1
	Sig. (bilateral)	0,596	0,150	0,134	0,722	0,151	0,850	
	N	12	12	12	12	12	12	12

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En el sistema piscícola, se observa (ver **tabla 8**) que a mayor pH menor temperatura con relación de 0,01 menor o igual a -0,634, esto se debe a que cuando una correlación es negativa las variables son inversas, también se puede ver que a mayor fosfato mayor es el pH en el agua de la piscícola con una relación de 0,05 menor o igual a 0,856 y que a mayor DBO<sub>5</sub> mejor conductividad eléctrica hay con una relación de 0,01 menor o igual a -0,601.

Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson del sistema de piscícola.

Correlaciones								
		pH	Conductividad Eléctrica	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Fosfato	Nitratos	DBO <sub>5</sub>
pH	Correlación de Pearson	1	0,421	-0,042	-0,634*	0,856**	0,081	-0,280
	Sig. (bilateral)		0,172	0,897	0,027	0,000	0,803	0,379
	N	12	12	12	12	12	12	12
Conductividad Eléctrica	Correlación de Pearson	0,421	1	0,112	-0,009	0,528	0,161	-0,601*
	Sig. (bilateral)	0,172		0,729	0,978	0,078	0,618	0,039
	N	12	12	12	12	12	12	12
Oxígeno Disuelto	Correlación de Pearson	-0,042	0,112	1	-0,143	-0,178	-0,768**	0,185
	Sig. (bilateral)	0,897	0,729		0,658	0,579	0,004	0,565
	N	12	12	12	12	12	12	12
Temperatura	Correlación de Pearson	-0,634*	-0,009	-0,143	1	-0,687*	-0,085	0,263
	Sig. (bilateral)	0,027	0,978	0,658		0,014	0,793	0,410
	N	12	12	12	12	12	12	12
Fosfato	Correlación de Pearson	0,856**	0,528	-0,178	-0,687*	1	0,453	-0,526
	Sig. (bilateral)	0,000	0,078	0,579	0,014		0,139	0,079
	N	12	12	12	12	12	12	12
Nitratos	Correlación de Pearson	0,081	0,161	-0,768**	-0,085	0,453	1	-0,369
	Sig. (bilateral)	0,803	0,618	0,004	0,793	0,139		0,238
	N	12	12	12	12	12	12	12
DBO <sub>5</sub>	Correlación de Pearson	-0,280	-0,601*	0,185	0,263	-0,526	-0,369	1
	Sig. (bilateral)	0,379	0,039	0,565	0,410	0,079	0,238	
	N	12	12	12	12	12	12	12

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

A continuación, se presenta la comparación de los resultados de los parámetros de calidad del agua de los dos sistemas de los estanques de la segunda fase.

Figura 3. Comportamiento de la temperatura del sistema de permacuaponía.

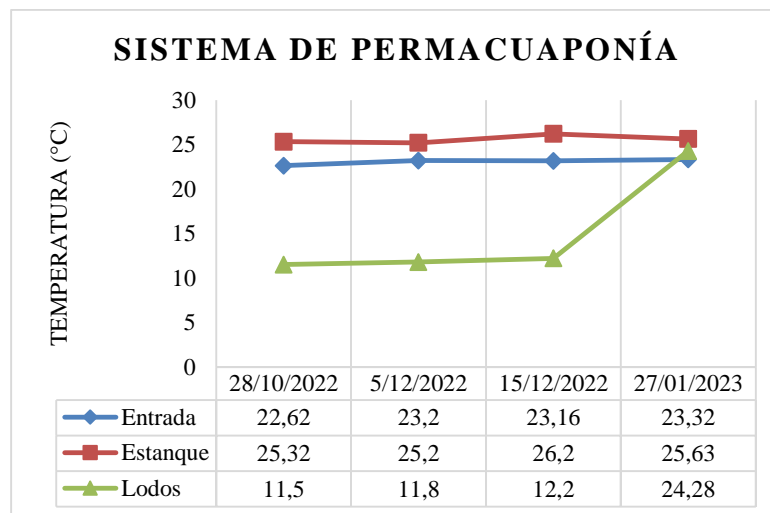
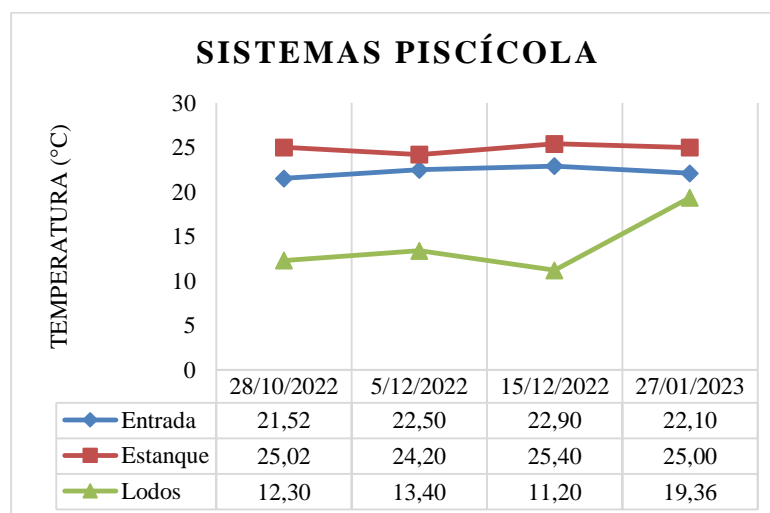


Figura 4. Comportamiento de la temperatura del sistema piscícola.



La temperatura con respecto al tiempo en el que se realizó el proyecto no presenta variaciones significativas en la entrada y el estanque de los dos sistemas. De modo que, el comportamiento es ideal para la supervivencia de los peces y en el caso del sistema de permacuaponía, para el crecimiento de las plántulas de lechuga Batavia, mientras que, en los lodos la temperatura tiene una variación muy significativa, ya que esta disminuye aproximadamente 10 °C en los dos sistemas de producción; esto se debe a que la temperatura

fue tomada por una fracción de agua extraída del lodo por medio de filtración al vacío en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás.

Figura 5. Comportamiento del potencial de hidrógeno del sistema de permacuaponía.

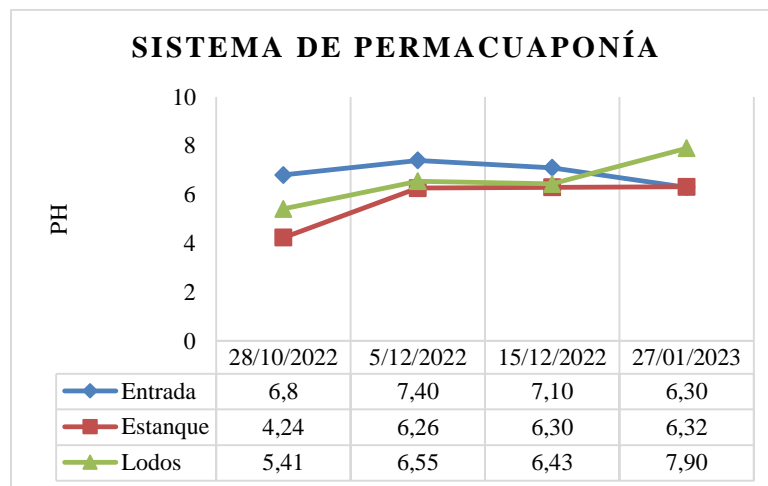
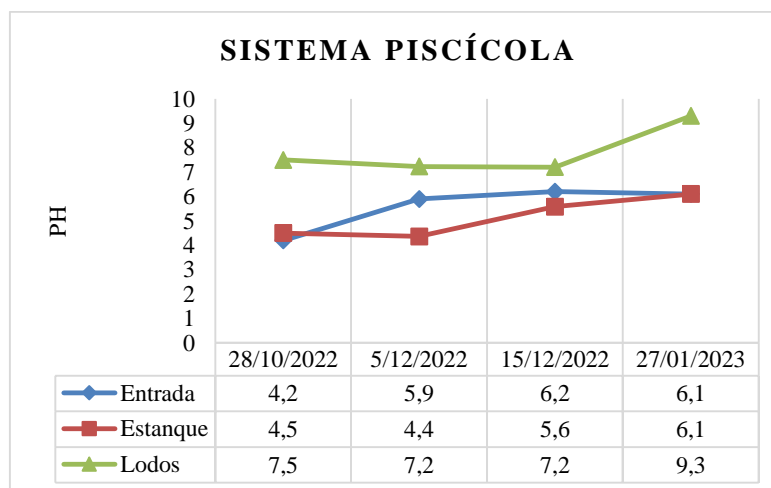


Figura 6. Comportamiento del potencial de hidrógeno del sistema piscícola.



Los datos obtenidos de pH del sistema de permacuaponía presenta mejores condiciones para el desarrollo de los peces debido a que la entrada presenta una variabilidad entre 6,3 a 7,4 y el estanque entre 4,2 a 6,3; y el pH óptimo es entre 6 a 8, mientras que, en el sistema piscícola en la entrada y en el estanque el pH se encuentra en un rango de 4 a 6, al igual que, en el parámetro anterior, el pH de los lodos fue medidos en una fracción de agua extraída por medio de filtración al vacío.

Figura 7. Comportamiento de conductividad del sistema de permacuaponía.

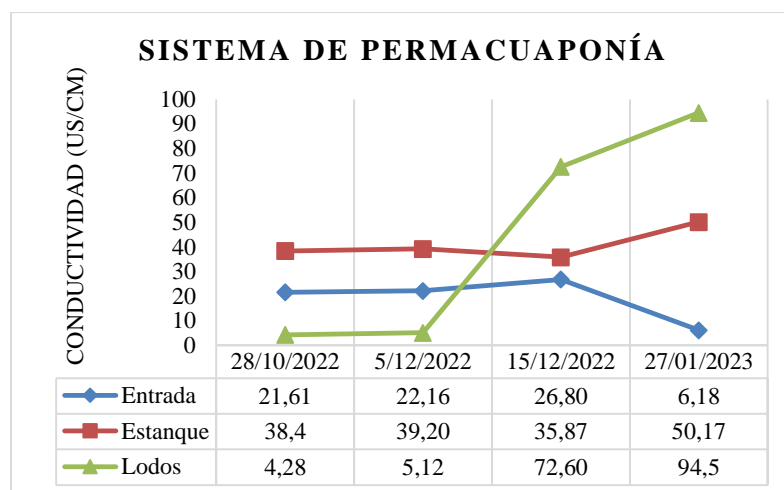
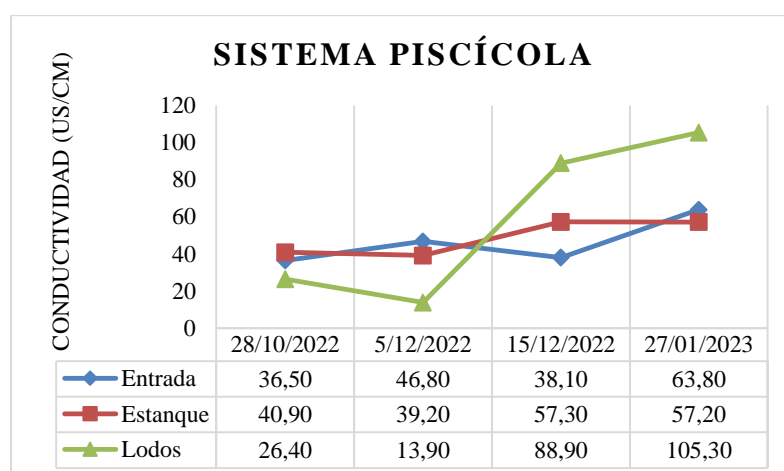


Figura 8. Comportamiento de conductividad del sistema piscícola.



La conductividad eléctrica del agua es una medida de capacidad para conducir corriente eléctrica y se encuentra relacionada con la cantidad de sales disueltas en el agua (Freitas, 2015). En la **figura 7** y **figura 8**, se evidencia la similitud de datos para los dos sistemas en cuanto a los puntos de entrada y estanque indican una conductividad eléctrica muy baja debido a que sus condiciones óptimas para la producción piscícola deben estar a partir de  $200 \mu\text{s/cm}$  hasta  $1000 \mu\text{s/cm}$ , esto se debe a la conductividad eléctrica con la que ingresa el agua de entrada. En cuanto a los lodos, se observa un aumento para los dos sistemas correspondiente a la cantidad de materia orgánica y nutrientes que pueden elevar la cantidad de iones en la muestra incrementando la conductividad eléctrica.

Figura 9. Comportamiento del oxígeno disuelto del sistema de permacuaponía.

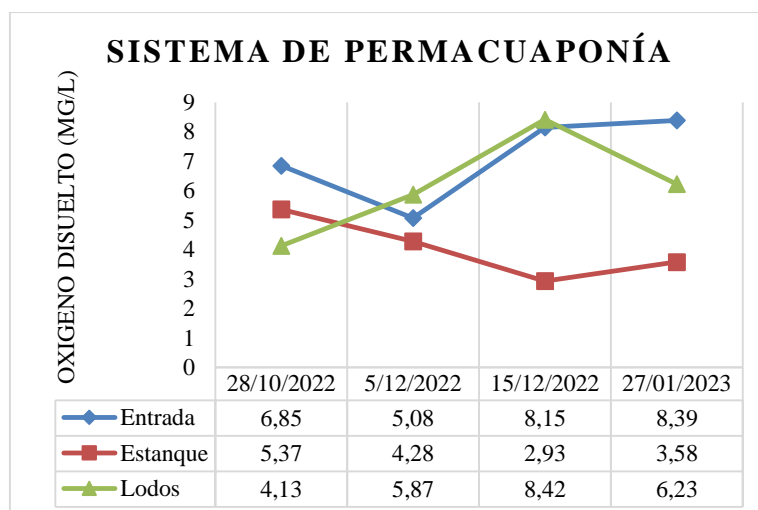
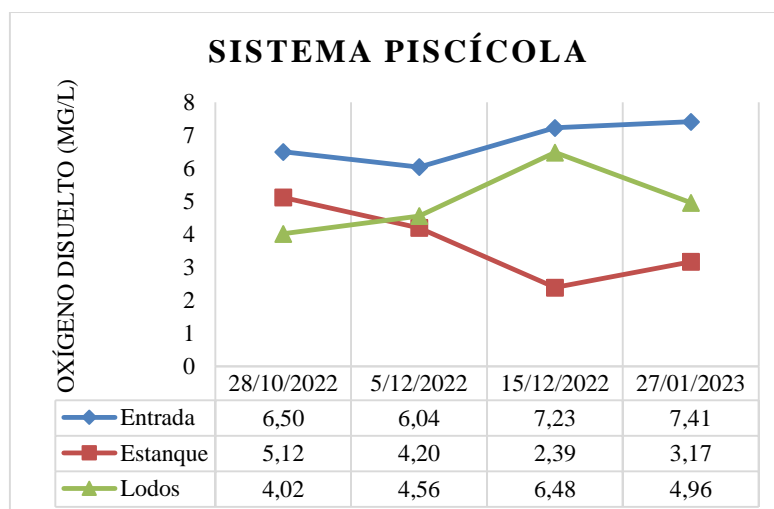


Figura 10. Comportamiento del oxígeno disuelto del sistema piscícola.



El oxígeno disuelto presenta un incremento exponencial en los lodos de los dos sistemas hasta la fecha 15/12/2022, luego disminuyó un 35% y 31%. Por el contrario, la variabilidad de los datos del estanque es decreciente hasta la tercera fecha. El aumento del oxígeno disuelto se debe a afluente que cae en el estanque y a la fotosíntesis que realiza la vegetación, mientras que, las bajas son por el consumo de los peces y por el exceso de nutrientes de compuestos nitrogenados y fosfatos. Las condiciones del oxígeno disuelto en el agua del estanque con sistema de permacuaponía se encuentran más cerca a la condición óptima para los peces ya que se encuentran por encima de 1,5 mg/L.

Figura 11. Comportamiento de fosfatos del sistema de permacuaponía.

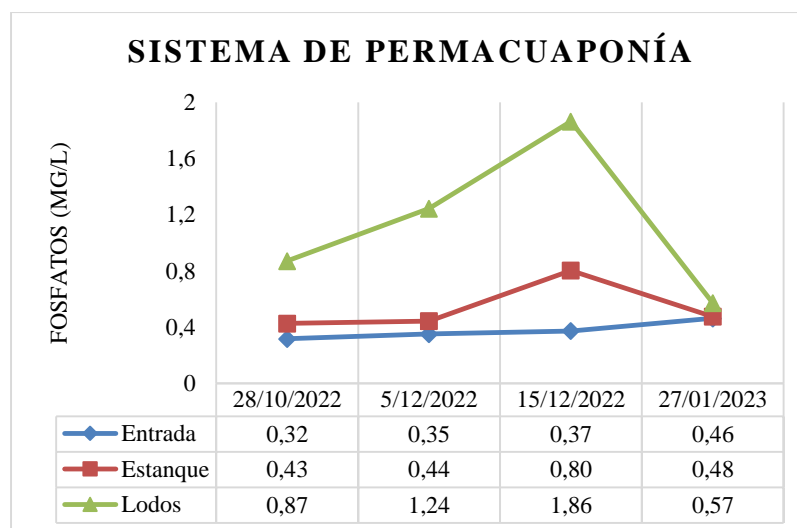
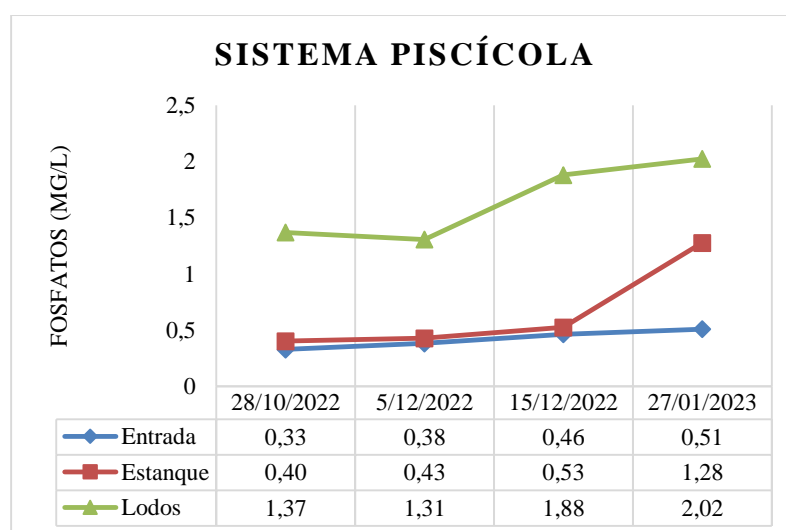


Figura 12. Comportamiento de fosfatos del sistema piscícola.



El fosfato es esencial en un sistema piscícola para el crecimiento y desarrollo del esqueleto de los peces, sin embargo, el exceso de este puede generar efectos negativos en la salud, generando el crecimiento de algas lo que puede ocasionar disminución de oxígeno en el agua para los peces. De acuerdo con la **figura 11** y **figura 12**, se observa un decrecimiento desde la tercera muestra realizada en la fecha 15/12/202 hasta la última muestra tomada del estanque con sistema de permacuaponía disminuyendo 32%, aproximándose a las condiciones recomendadas para el crecimiento óptimo de los peces. Por otro lado, el estanque con sistema piscícola tuvo un incremento de un 67% de fosfato durante los 2 meses de muestreo, esto se debe a los residuos de alimento que no son consumidos por los peces. Finalmente, con respecto al comportamiento del punto de muestreo de entrada de los dos sistemas se evidencia una

presencia más baja de fósforos debido a su ciclo natural proveniente de la escorrentía de minerales.

Figura 13. Comportamiento de nitritos del sistema de permacuaponía.

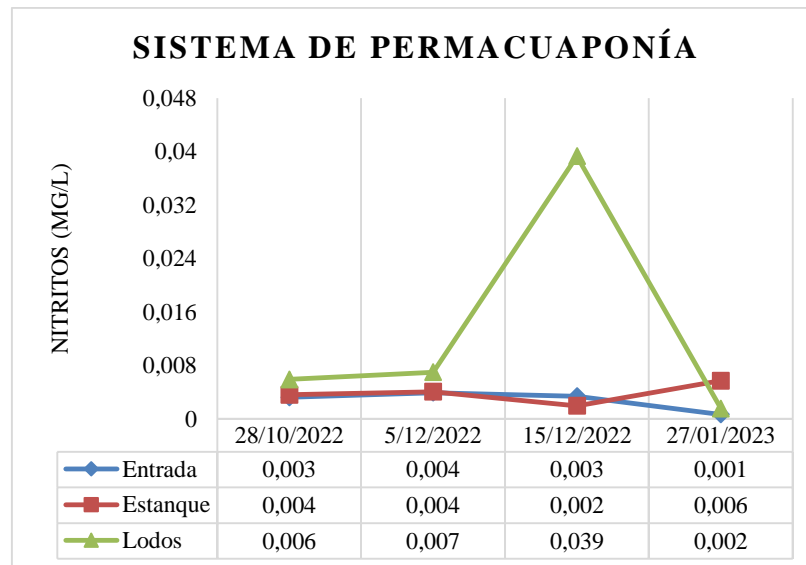
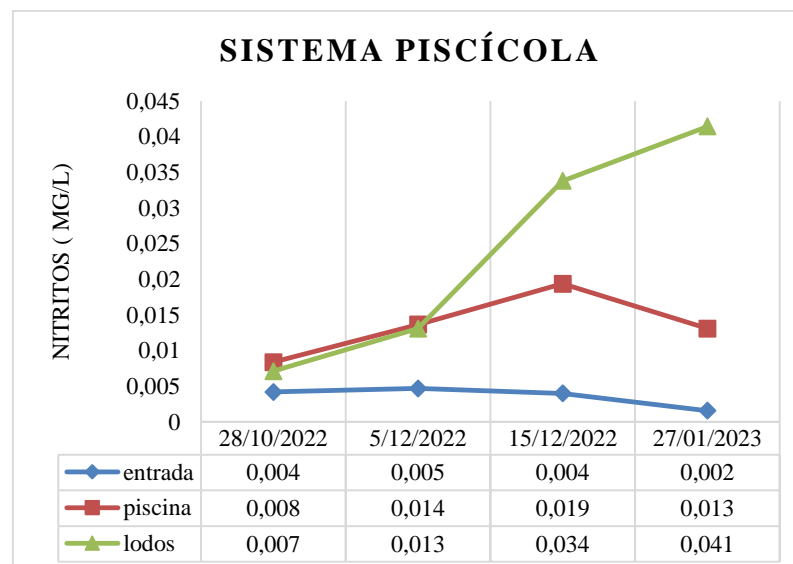


Figura 14. Comportamiento de nitritos del sistema piscícola.



Los nitritos son formados a partir de la descomposición de los desechos de los peces, estos son de gran importancia debido a que su exceso puede perjudicar en la salud de los peces en cuanto a problemas respiratorios, ya que los nitritos inhiben la capacidad de los peces para transportar oxígeno en su cuerpo. Los datos obtenidos de nitritos para los dos sistemas se encuentran bajas teniendo en cuenta las condiciones estables para los peces, las cuales

corresponden a 0,2 mg/l. Sin embargo, el dato registrado más alto de nitritos fue de 0,041mg/l en la muestra de lodos del sistema piscícola debido a la materia orgánica descompuesta.

Figura 15. Comportamiento de nitratos del sistema de permacuaponía.

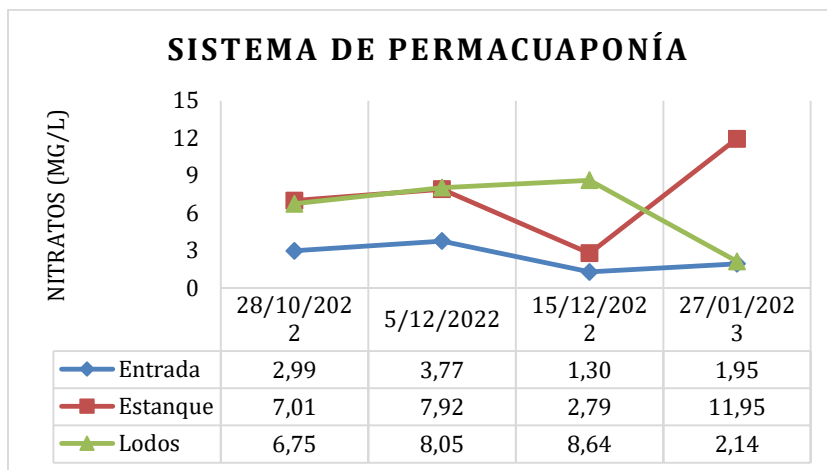
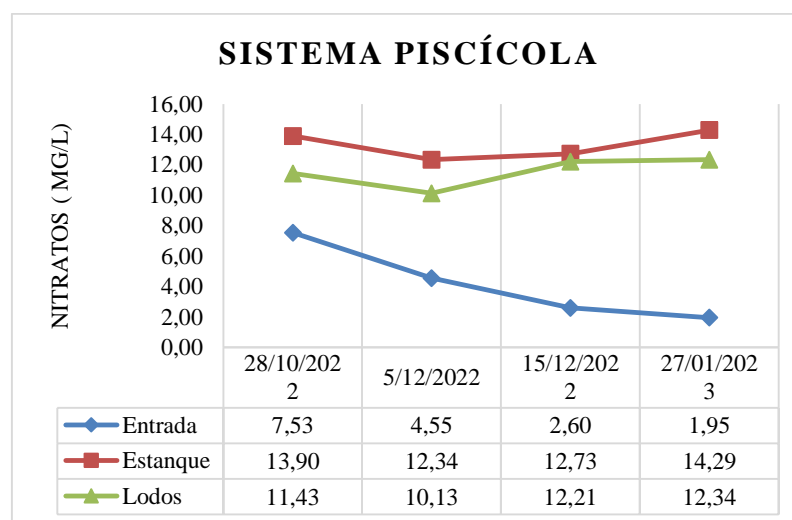


Figura 16. Comportamiento de nitratos del sistema piscícola.



Los nitratos ayudan a estimular el crecimiento y desarrollo saludable de los peces. Los niveles demasiado altos de nitratos pueden resultar en el crecimiento excesivo de algas, lo que puede reducir la cantidad de oxígeno disponible en el agua. Teniendo en cuenta los resultados de la **figura 15** y **figura 16**, el comportamiento de nitratos en los dos sistemas muestra una gran diferencia en cada una de las muestras indicando decrecimiento en el estanque con sistema de permacuaponía en la fecha del 5/12/2022. Por lo contrario, en el estanque del sistema piscícola en el último muestreo presento un aumento de un aproximado de 1 mg/L, aunque, no mayor a la última muestra tomada del sistema de permacuaponía, en donde se obtuvo un

resultado de 11,95 mg/L, la presencia de nitratos se debe al proceso de nitrificación donde las bacterias convierten el amoníaco (descompuesto de la materia orgánica) y los nitritos en nitrato. Sin embargo, los datos obtenidos se encuentran en condiciones óptimas para el crecimiento de los peces y la calidad del agua. En relación con los resultados de lodos en el sistema de permacuaponía, se observa inicialmente un incremento del 28% y luego decae a de 8,64 a 2,14 mg/L. Al contrario, en el sistema piscícola los lodos decrecieron un 1,3 mg/L y en la segunda muestra se observa un incremento 2,21 mg/L, debido a que, en los lodos se acumula la concentración debido a la decantación de las partículas.

Figura 17. Comportamiento del DBO<sub>5</sub> en el sistema de permacuaponía.

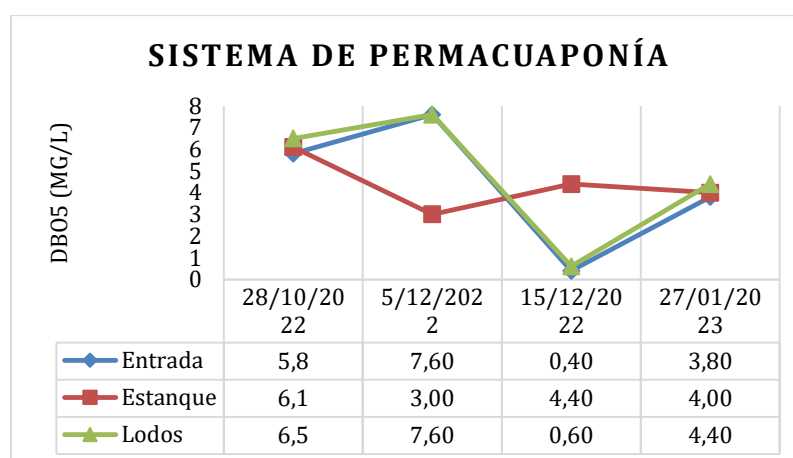
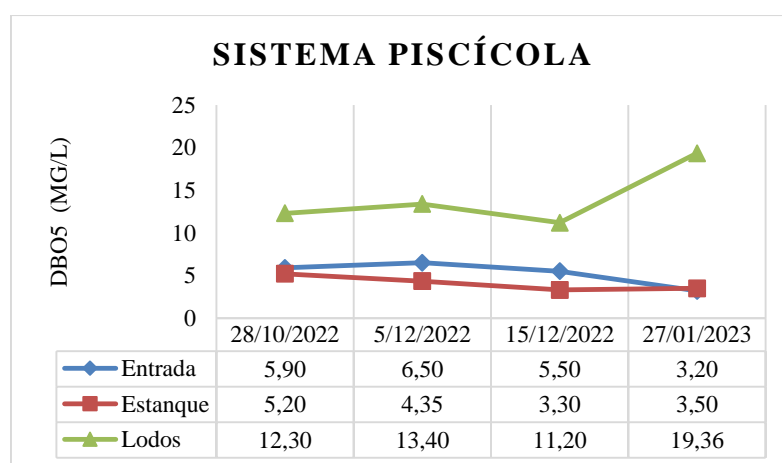


Figura 18. Comportamiento del DBO<sub>5</sub> en el sistema piscícola.



El DBO<sub>5</sub> es una medida de la cantidad de oxígeno que se consume por los microorganismos en la descomposición biológica de la materia orgánica presente en el agua (González, 2012). Con respecto a los resultados obtenidos de DBO<sub>5</sub>, en la **figura 17** se evidencia que el sistema de

permacuaponía obtuvo una disminución en los niveles de oxígeno en la tercera muestra de la entrada y lodos, esto indica que hubo una disminución de materia orgánica presente en el agua. Sin embargo, en el tiempo de un mes y medio aumento la demanda biológica de oxígeno. Por el contrario, el sistema piscícola presento un decrecimiento en la muestra del estanque de 5,20 mg/L a 3,5 mg/L esto puede ser a menos presencia de la materia orgánica, mientras que los lodos se encuentran en un rango entre 12,30 a 19,36 mg/L; debido a que son completamente materia orgánica. No obstante, los sistemas se encuentran en buen estado para el crecimiento de peces y calidad de agua.

## **6.2. Validación de resultados con la normativa**

No existe normativa aplicable a producción piscícola, por ende, existe una brecha de conocimiento sobre estos parámetros de calidad del agua y la actividad productiva, la comparación de los elementos medidos se realizó con respecto a los estándares de las entidades asociadas. En una búsqueda, se evidenció que el ministerio refiriere en la Resolución 631 del 2015 en el Capítulo VII, Artículo 15, donde se establecen los parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas, con el fin de verificar con los parámetros si el agua residual a verter en la fuente hídrica después de pasar por el sistema cumple con los valores límites. Con respecto al pH el sistema de permacuaponía se encuentra dentro de los valores establecidos 6,00 a 9,00 y los datos del sistema piscícola están en un rango de 4 a 6, y lodos están en 7 a 9,3. Por otro lado, el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno su valor máximo es de 50 mg/l O<sub>2</sub>, sin embargo, los datos de los dos sistemas no superan este límite, por lo contrario, se encuentran inferiores. Por otro lado, la ANUAP en sus documentos no tiene una norma específica para la calidad del agua. Por último, el decreto 1594 de 1984 el cual se refiere a los usos del agua y residuos líquidos, en el artículo 45 menciona los criterios de calidad permisible del recurso hídrico para la preservación de la flora y fauna, en el cual engloba el aprovechamiento de las especies hidrobiológicas tales como la pesca y acuicultura, de modo que, el sistema de permacuaponía no sobrepasa los criterios establecidos debido a que el pH se encuentra entre 4,5 a 9 y oxígeno disuelto de 4 mg/L.

## 7. Conclusiones

El sistema de permacuaponía aporta una mejora en la calidad del agua, debido a que las plántulas de lechuga Batavia actúan como un sistema natural de aprovechamiento para reducir la cantidad de nutrientes no utilizados en el agua y, por lo tanto, ayuda a mantener un ecosistema acuático saludable y el residuo líquido que se aporta como vertimiento mejora en condiciones de aporte de nutrientes.

La caracterización inicial de las condiciones de la calidad del agua para el estanque de permacuaponía en la Institución Educativa Agrícola Guacavía, fue realizada por la empresa TECNOAMBIENTAL S.A.S, donde se observó que se encuentran en condiciones óptimas para el crecimiento de los peces, teniendo en cuenta los resultados de las condiciones iniciales de la entrada del estanque y las condiciones iniciales dentro del estanque junto con los datos obtenidos del monitoreo se realizó el cálculo de error medio cuadrático indicando la desviación de los datos de los dos sistemas, presentando con mayor desviación los nitratos del sistema piscícola con 10 mg/L y los de menor desviación los nitritos y el pH.

De acuerdo con la comparación de los resultados, se concluye que la implementación del sistema de permacuaponía contribuyó positivamente, debido a que se observa un progreso de mejoría en los parámetros de fosfatos debido a que tuvo una disminución del 40% desde la tercera muestra, el pH tuvo un aumento a partir de la segunda muestra realizada del 33% hasta la cuarta muestra, en los nitratos tuvo una disminución de 65% desde la muestra dos a la muestra tres. Por otro lado, se observó que el parámetro de conductividad eléctrica se encontraba con rangos muy bajos para condiciones óptimas, esto se debe a conductividad eléctrica con la que ingresa el agua de entrada, sin embargo, desde la primera muestra tuvo un aumento del 23% hasta la última muestra realizada.

Con respecto a la normativa, se observa que no hay normativa para la calidad del agua de las actividades de producción piscícola, sin embargo, los datos fueron comparados con el decreto 1594 de 1984 en el cual establece los usos del agua y residuos líquidos y la resolución 631 del 2015 en donde establece los valores máximos permisibles de vertimientos, en donde se observó que el sistema de permacuaponía se encuentra entre los criterios permisibles del recurso hídrico.

La auxiliatura de investigación genera una línea base para los piscicultores de los llanos orientales que deseen implementar este tipo de sistema para sus actividades piscícolas debido a que se aprovecha los recursos disponibles como el agua, realizando una producción limpia y amigable con el medio ambiente consiguiendo producción agrícola y piscícola. Por otro lado, la comunidad estudiantil de la Institución Educativa Agrícola de Guacavía debido a que tienen un enfoque agropecuario esta investigación le aporta una nueva alternativa con respecto a la agricultura y acuicultura, en donde se potencializa los recursos, ya que integra un desecho a la actividad productiva promoviendo la economía circular.

## **8. Recomendaciones**

Dentro de la auxiliatura de investigación se recomienda a futuros investigadores realizar el sistema en prototipos de estanques a menor escala para tener un mejor control de las variables y elementos que están siendo objetos de la investigación.

Por otro lado, un aspecto importante para obtener una eficaz evaluación del mejoramiento de la calidad del agua es el tiempo, se recomienda generar una mejor planificación entre los tiempos de investigación teniendo en cuenta la evaluación de calidad del agua y la producción piscícola, con el fin de garantizar que este sea suficiente para adelantar los procesos investigativos que se requieran.

Finalmente, se sugiere tener presente en el desarrollo monitoreos en tiempos de lluvia y estiaje con el propósito de identificar las diferencias en concentración de parámetros fisicoquímicos.

## 9. Referencias bibliografía

- Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la Acuicultura*. . [Proyecto aplicado, Universidad de Los Lagos].  
<https://cetmar.org/DOCUMENTACION/dyp/ImpactoChileacuicultura.pdf>
- Freitas, F. (2015). *La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura*. Researchgate.  
[https://www.researchgate.net/publication/273732157\\_La\\_calidad\\_del\\_agua\\_y\\_las\\_buenas\\_practicas\\_en\\_acuicultura](https://www.researchgate.net/publication/273732157_La_calidad_del_agua_y_las_buenas_practicas_en_acuicultura)
- González, U. (2012). *Acuicultura (32)*. Trillas.
- Gualadrón, L. (2016). *Evaluación de la calidad del agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. [Proyecto aplicado, Universidad Libre de Colombia].  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/20335/CD%20EGA%202016%200006%20%20Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guayara Achury, J. F., & Ruiz Palacios, W. V. (2020). *Evaluación experimental comparativa de remoción de materia orgánica del sistema acuapónico a escala piloto y vertimientos de sistemas acuícolas tradicionales (meta)*. [Trabajo de grado, Institucional Universidad Santo Tomás].  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21873/2020wendyruiz?sequence=16&isAllowed=y>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. IDEAM.  
[http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)
- Luna, M. A. (2011). Efluente Piscícolas: Características Contaminantes, Impactos y Perspectivas de Tratamiento. *Journal de ciencia e ingeniería* 3(1), 12 - 15. Uniautonoma. <https://jci.uniautonoma.edu.co/2011/2011-2.pdf>
- Alicorp. Industria Acuicola. (s.f.). Manual de Crianza Tilapia.  
<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Organizaciones de las Naciones Unidas. (2020). *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

- Osorto, E. E., & Sierra, A. (2022). *La acuaponía Como un Sistema Sostenible para la Producción de Alimentos*. Zamorano. <https://www.zamorano.edu/2020/12/17/la-acuaponia-como-un-sistema-sostenible-para-la-produccion-de-alimentos/>
- Peña, E. (2007). *Calidad de agua*. [Trabajo de investigación, Escuela Superior Politécnica del Litoral].  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre. (2016). *Municipio de Cumaral departamento del meta*. PMGRD.  
[https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28356/PMGRD\\_CumaralMeta\\_2016.pdf](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28356/PMGRD_CumaralMeta_2016.pdf)
- Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado Giraldo, H. (2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 4(1-2), 32–51. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>
- Rondón, R. (2014). *Proyecto de educación ambiental "Agua esperanza de vida": una propuesta curricular*. [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3628>