

### Quality engineering phase pre-breeding cachama (*Piaractus brachypomus*) using orthogonal design L8

### Ingeniería de calidad para la fase pre-cría de cachama (*Piaractus brachypomus*) utilizando el diseño ortogonal L8

Julio Seferino, HURTADO-MÁRQUEZ<sup>1\*</sup>, Wilmer, SANGUINO-ORTIZ<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Bolívar, Campus Tecnológico Parque Industrial y  
Tecnológico Carlos Vélez Pombo Km 1 Vía Turbaco. (0009-0008-0541-0638)  
<sup>2</sup>Universidad de Nariño, Calle 18 núm. 50-02 Ciudadela Universitaria Torobajo, Pasto,  
Colombia. (0000-0001-8037-2493)

Sent date: 16/November/2023 Acceptance date: 30/January/2024

---

#### Abstract:

The study conducted at the Aquamazonía aquaculture station in Putumayo, Colombia, assessed response variables including weight gain (WG), feed conversion ratio (FCR), and survival rate (%SR) in the pre-fattening process of *Piaractus brachypomus*. The Taguchi L8 orthogonal design was employed, with control factors at two levels: stocking density (A), feeding rate (B), feeding frequency (C), and food protein level (D), along with a noise factor (cultivation period) and the AD interaction. Results revealed improvements in productivity standards by identifying the optimal combination of A2, B1, C1, D2 levels, achieving a reduction in feed conversion to 0.75:1, an increase in weight gain to 4.63 g/period, and a 93.33% survival rate, surpassing the station's historical levels. The influence of the interaction between control factors A and D on response variables was highlighted. Application of this optimal combination in the pre-fattening production cycle demonstrated revenues of \$21,267,659, surpassing the \$18,300,422 generated with current production levels. This study offers a practical approach to enhance profitability in the white cachama aquaculture sector.

**Keywords:** Design Parameters, quality engineering, Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*), pre-breeding, signal / noise

---

#### Resumen:

El estudio realizado en la estación acuícola Aquamazonía en Putumayo, Colombia, evaluó Las variables de respuesta, incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y el porcentaje de sobrevivencia (%S), en el proceso de pre-cría de cachama *Piaractus brachypomus*. Se utilizó el diseño ortogonal L8 de Taguchi, considerando factores de control a dos niveles, incluyendo densidad de siembra (A), tasa de alimentación (B), frecuencia alimentaria (C) y nivel de proteína del alimento (D), así como un factor de ruido (periodo de cultivo) y la interacción AD. Los resultados revelaron mejoras en los estándares productivos al identificar la combinación óptima de niveles de los factores A2, B1, C1, D2, logrando reducir la conversión alimenticia a 0.75:1, aumentar el incremento de peso

---

a 4.63 g/periodo y alcanzar un 93.33% de sobrevivencia, superando el nivel histórico de la estación. Se destacó la influencia de la interacción entre los factores de control A y D en las variables de respuesta. La aplicación de esta combinación óptima en el ciclo de producción fase de pre-cría demostró ingresos de \$21,267,659, superando los \$18,300,422 generados con los niveles actuales de producción. Este estudio proporciona un enfoque práctico para optimizar la rentabilidad en la acuicultura de cachama blanca.

**Palabras clave:** Diseño de parámetros, Ingeniería de calidad, Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), pre-cría, señal/ruido

\* Corresponding author. E-mail: [jhurtado@utb.edu.co](mailto:jhurtado@utb.edu.co), [wilmer963@gamil.com](mailto:wilmer963@gamil.com)  
Tel. 3205504078

## 1. Introducción

En el año 2020 la pesca y acuicultura generó 178 millones de toneladas de los cuales una parte están destinados al consumo humano (FAO, 2022). De igual manera la producción acuícola en Colombia para el año 2021 sumó 192525 toneladas entre tilapia roja con un 58%, cachama blanca con un 19%, trucha arcoíris con un 16% y camarón blanco con el 3% (Miniagricultura, 2021). Las limitadas condiciones de los sistemas productivos en cuanto a calidad de agua, cantidad y calidad de balanceados y el hacinamiento crean escenarios para la proliferación de diferentes patógenos que afectan las variables respuesta como el crecimiento y la supervivencia (Brum *et al.*, 2017).

El proceso productivo acuícolas bajo sistemas intensivos se cimienta en el uso de balanceados con altos niveles de proteína y energía, y un adecuado balance de nutrientes necesarios para cubrir los requerimientos nutricionales de las especies ícticas. Además, los piensos son pilar para el funcionamiento de los sistemas productivos de altas densidades y cargas de biomasa donde los peces son susceptibles al estrés, afectando los rendimientos, la productividad y presencia de enfermedades, con mortalidades que superan el 60%, dejando importantes pérdidas económicas al sector (Mancilla *et al.*, 2021; Torres-Mesa *et al.*, 2015)

Un proceso de calidad en producción acuícola, parte de un manejo adecuado de los factores de control tales como densidad de siembra, alimentación, preparación del recinto acuícola, etc.; dichos factores deben estar dentro de los niveles óptimos para garantizar los mejores resultados en las variables respuestas. Lograr determinar los niveles óptimos de los factores de control, asegura la calidad del producto/proceso (Naranjo Palacios *et al.*, 2020; Wu & Wu, 1997), así mismo Moreno Marcial & Santos Méndez, (2022) manifiesta la importancia de optimizar los procesos productivos reduciendo costos y mejorando la calidad; en cuanto a los procesos acuícolas estos requieren una mejora continua para obtener una mayor eficiencia y calidad del producto (Fernández *et al.*, 2019)

La producción acuícola ha crecido durante los últimos años como respuesta a la alta demanda de carne de pescado, lo cual ha traído consigo la necesidad de mejoras de los procesos productivos FAO (2022). Debido a lo anterior, diferentes autores han estudiado de forma independiente factores de control; Victoriano *et al.*, (2012) determinó la frecuencia alimentaria y la ración de alimento en juveniles de *Psetta maxima*, Estruch *et al.*, (2020)

evaluó el impacto de una alta ingesta de proteínas vegetales en el proteoma de la mucosa intestinal de la dorada *Sparus aurata*, L; Jiang *et al.*, (2021) estudió el efecto de dietas de la proteína de *Clostridium autoethanogenum* en el crecimiento, histología intestinal e inmunidad del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* y Messina *et al.*, (2023) investigaron la inclusión dietética de *Halobacterium salinarum* modula el rendimiento de crecimiento y las respuestas inmunológicas en la dorada cultivada *Sparus aurata* L. buscando determinar los mejores niveles que maximizan el crecimiento, sobrevivencia o minimizan la conversión alimenticia, así como el efecto que pueden tener en la salud del animal.

El propósito de este estudio, fue mejorar los estándares productivos del proceso de cultivo de la especie Cachama (*Piaractus brachyomus*) en la fase de pre-cría que se realiza en la estación Piscícola Aquamazonía en el departamento del Putumayo, evaluando cuatro factores de control densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria y nivel de proteína de la dieta, para lograr optimizar las variables respuesta incremento de peso, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia ante el factor de ruido denominado periodo que se caracterizó por la variación de las condiciones de calidad de agua tales como temperatura, oxígeno disuelto, pH y nitritos, y lograr las mejores utilidades económicas, a partir de Ingeniería de Calidad utilizando el diseño ortogonal L8 para optimizar las variables respuestas

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Ubicación

La investigación se realizó en la estación piscícola Aquamazonía ubicada a 32 kilómetros de la cabecera municipal de Villagarazón en el departamento del Putumayo-Colombia a una altitud de 365 m.s.n.m., temperatura ambiente 27°C y precipitación de 4.500 ml anual.

### 2.2. Periodo de estudio

El periodo de estudio se dividió en tres etapas con una duración de 15 días cada una de ellas, durante este tiempo se realizaron las pruebas de campo según el arreglo ortogonal L8 para cada periodo. Así mismo, se realizó en un tercer periodo la validación y comprobación del modelo matemático establecido.

### 2.3. Unidad experimental

Se instalaron ocho tanques plásticos con capacidad de 30 litros de agua los cuales fueron lavados, desinfectado con hipoclorito de sodio al 5.5%, dotados con una línea de aireación y llenados con 25 litros de agua y que correspondieron a la unidad experimental en los cuales cada uno de los factores controlables, según el diseño ortogonal L8, se repitieron 4 veces dentro el mismo factor y cuatro veces entre los tratamientos. Diariamente se hizo recambios del 20% del volumen del agua con lo cual se mantuvo la calidad de agua dentro de los rangos

establecidos para el cultivo de la especie íctica y fueron medidos utilizando un oxímetro referencia YSI OD 200 los cuales deberían estar para oxígeno disuelto entre 5.5 – 8.5 mg/l, temperatura entre 24 y 25°C y un kit de colorimetría referencia Lamotte para medir pH entre 6.0 – 8.8, NH<sub>4</sub> < 0.01 mg/l, NO<sub>2</sub> < 0.01 mg/l y NO<sub>3</sub> < 40 mg/l (Brú-Cordero *et al.*, 2017; Chaverra *et al.*, 2017).

#### 2.4. Material biológico y muestreos

Se utilizaron 960 ejemplares de cachama (*Piaractus brachypomus*) con un peso promedio de 4.9 g ±1.07 y provenientes de la estación piscícola Aquamazonía. Los peces se distribuyeron al azar en las respectivas unidades experimentales de acuerdo al nivel del factor densidad. El 40% de los peces fueron muestreados en cada periodo de estudio, para lo cual fueron tranquilizados con quinaldina a 10 ppm (Velasco-Santamaría *et al.*, 2008) y se registró el peso y talla inicial y final para lo cual se utilizó una balanza electrónica con una precisión de 0.1g y un ictiómetro con precisión de 1 mm respectivamente, posteriormente los individuos fueron tratados en una salmuera de 2.5g/l con aireación durante 5 minutos y regresados a su respectivo tanque, al finalizar cada periodo de estudio se registró el número de peces vivos. Se utilizó alimento comercial pelletizado de 2mm de diámetro y se suministró diariamente de forma manual entre las 8:00 a.m. y 4:00 p.m. La tasa de alimentación, la frecuencia alimentaria y el nivel de proteína a suministrar se estableció según el diseño ortogonal L8.

#### 2.5. Diseño de parámetros

El diseño ortogonal L8 (Tabla 1) fue construido con un arreglo interno para los factores de control densidad de siembra (A), tasa de alimentación (B), frecuencia alimentaria (C), nivel de proteína (D), cada uno con dos niveles y la interacción de los factores AD y un arreglo externo para el factor de ruido causado por la diferencia de las condiciones de calidad de agua en cada periodo (Tabla 2).

**Tabla 1.** Diseño Ortogonal L8, arreglo interno y externo

	No. corrida	Factores controlables				Arreglo externo	
		Niveles				Factor de Ruido	
		A	B	C	D	P1	P2
Arreglo interno	1	1	1	1	1	1	2
	2	1	1	2	2	1	2
	3	1	2	1	2	1	2
	4	1	2	2	1	1	2
	5	2	1	1	2	1	2
	6	2	1	2	1	1	2
	7	2	2	1	1	1	2
	8	2	2	2	2	1	2

**Tabla 2.** Factores Controlables y de Ruido

	<b>Factor/nivel</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
A.	Densidad de siembra peces/litro	1.4	1.8
B.	Tasa de alimentación % de biomasa	4	6
C.	Frecuencia alimentaria por día	2	3
D.	Nivel de proteína bruta en %	32	38
E.	Factor de Ruido	P1	P2

El factor de ruido se caracterizó por las diferencias en cuanto a los parámetros de calidad de agua T°C, oxígeno disuelto mg/l, pH y nitritos mg/l que se registraron en cada periodo tal como se indica en la tabla 3.

**Tabla 3.** Caracterización de los niveles del factor ruido (Periodo)

<b>Periodo</b>	<b>T°C</b>	<b>O<sub>2</sub> mg/l</b>	<b>pH</b>	<b>NO<sub>2</sub> mg/l</b>
P1	24.55	7.86	6.17	0.54
P2	24.15	8.15	7.12	1.15

Al finalizar cada periodo de estudio se calcularon los valores de las variables: incremento de peso periodo, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia.

## 2.6. Modelo matemático

El modelo matemático establecido para las variables respuesta: conversión alimenticia, incremento de peso periodo y porcentaje de sobrevivencia; se planteó de la siguiente manera:

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_l + \alpha_i\theta_l + \varepsilon_{ijklm}$$

Dónde:

$Y_{ijklm}$  Es la medición de cada variable cuando los factores en estudio se encuentran en sus niveles  $i$ ,  $j$ ,  $k$  y  $l$  y el factor de ruido periodo en su nivel  $m$ .

$\mu$  Es la media general de cada variable

$\alpha_i$  Es el efecto medio del  $i$  –ésimo nivel del factor densidad de siembra sobre cada variable.

$\beta_j$  Es el efecto medio del  $j$  –ésimo nivel del factor tasa de alimentación sobre cada variable.

$\delta_k$  Es el efecto medio del  $k$  –ésimo nivel del factor frecuencia alimentaria sobre cada variable.

- $\theta_l$  Es el efecto medio del  $l$  – ésimo nivel del factor nivel de proteína sobre cada variable.
- $\alpha_i\theta_l$  Es el efecto medio del  $i$  – ésimo nivel del factor densidad de siembra y el  $l$  – ésimo nivel del factor nivel de proteína sobre cada variable.
- $\varepsilon_{ijklm}$  Es el error experimental en el  $l$  – ésimo nivel de los factores  $\alpha, \beta, \delta$  y  $\theta$  y en el  $m$  – ésimo nivel del factor ruido periodo

## 2.7. Planteamiento de Hipótesis

Los factores de control: Densidad de siembra (A), Tasa de alimentación (B), Frecuencia alimentaria (C), Porcentaje de proteína (D) y la interacción Densidad de siembra- nivel de proteína (AD); no tienen influencia sobre la variable respuesta conversión alimenticia.

La cual se traduce en términos de los efectos, así:

$$H_0: \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } C = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } D = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } AD = 0$$

Contra la hipótesis alternativa: al menos un factor tiene influencia significativa sobre la conversión alimenticia, traducida como:

$$H_1: \text{Efecto } A \neq 0$$

$$H_1: \text{Efecto } B \neq 0$$

$$H_1: \text{Efecto } C \neq 0$$

$$H_1: \text{Efecto } D \neq 0$$

$$H_1: \text{Efecto } AD \neq 0$$

## 2.8. Análisis estadístico

Para determinar el nivel óptimo y más robusto de cada factor controlable se utilizó el cociente señal/ruido según la variable respuesta como se indica a continuación:

**Señal/ruido, menor es mejor:** se aplicará esta señal para minimizar la variable conversión alimenticia.

$$-10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

Dónde:

$Y$  Es la variable respuesta conversión alimenticia  
 $n$  Número de observaciones

**Señal/ruido, mayor es mejor:** se aplicará esta señal para maximizar las variables porcentaje de sobrevivencia e incremento de peso. Está representada por la siguiente fórmula:

$$-10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^{-2} \right]$$

Dónde:

$Y$  Es la variable respuesta en estudio (incremento de peso y %S)  
 $n$  Número de observaciones

## 2.10. Variables a evaluar

### 2.10.1. Conversión alimenticia

Capacidad del organismo en transformar una unidad de alimento en unidades de biomasa

$$CA = \frac{AS}{IP}$$

Donde:

$CA$ : Conversión alimenticia aparente  
 $AS$ : Unidades de alimento suministrado  
 $IP$ : Unidades de Incremento de peso.

### 2.10.2. Incremento de peso periodo

Se define como la ganancia de peso que logran cada uno los individuos o la población total evaluada. Se medirá al final del periodo de experimentación mediante las diferencias de pesos final e inicial.

$$IP = Wf - Wi$$

Donde:

$IP$ : Incremento de peso durante el periodo  
 $Wf$ : Peso final.

$W_i$ : Peso inicial.

### 2.10.3. Porcentaje de Supervivencia

Porcentaje de animales que sobreviven al final del periodo experimental.

$$\%S = (N^{\circ} Pf / N^{\circ} Pi) \times 100$$

Donde:

$\%S$ : Porcentaje de animales vivos al final del estudio.

$N^{\circ} Pf$ : Número de animales vivos al final.

$N^{\circ} Pi$ : Número de animales vivos al inicio.

## 3. Resultados y Discusión

Las combinaciones de los factores controlables en cada corrida presentaron diferentes resultados para la Señal/Ruido (S/N), siendo 14.65, 4.38 y 39.87 los máximos valores para las variables incremento de peso, conversión alimenticia y supervivencia respectivamente. Lo que indica que los peces logran un mayor crecimiento cuando están a una mayor densidad de siembra y alimentados con una proteína del 38%, esto se debe principalmente a una mejor eficiencia de los peces en el aprovechamiento del alimento y su mejor desarrollo con altos niveles de proteína.

La variable incremento de peso obtuvo valores de 4.16 y 3.06 tanto en el primer como segundo periodo cuando los factores controlables se encontraban en su nivel uno, sin embargo, los máximos resultados para la variable fueron de 0.49 y 0.70 para cada periodo cuando los factores controlables A y D se encontraban en el nivel dos. Un mayor número de peces disminuyen la tasa de alimento no consumido y presentan una mayor ganancia de peso por unidad de alimento consumida. Lo anterior es corroborado por Brú-Cordero *et al.*, (2017) quienes reportan altos rendimientos de cachama blanca en biocultivo con tilapia a altas densidades de siembra de hasta 80 peces/m<sup>3</sup>.

En relación a la variable supervivencia registró valores del 97.14% y 100% para el primer y segundo periodo respectivamente cuando los factores controlables estaban en su nivel 1, sin embargo, cuando los niveles de los factores A y D estaban en su nivel 2 la supervivencia fue del 93.33% y 88.90% disminuyendo el número de peces vivos. Lo anterior indica que los peces a una baja densidad de siembra y un balanceado con proteína del 32% tienen condiciones más adecuadas para vivir y que al aumentar la densidad el porcentaje de supervivencia disminuirá aun cuando el alimento tenga un mayor valor proteico. Chaverra *et al.*, (2017) registra tasas de supervivencia mayores al 90% de cachama blanca en sistemas de biofloc a altas densidades y manifiesta que la buena calidad de agua y una dieta adecuada permiten adecuada supervivencia con altas cargas de biomasa.

Para la variable conversión alimenticia 0.71 y 1.07 tanto en el primer como segundo periodo cuando los factores controlables se encontraban en su nivel uno, sin embargo, los menores resultados para la variable fueron de 6.14 y 4.91 para cada periodo cuando los factores

controlables A y D se encontraban en el nivel dos. Perea Román *et al.*, (2021) reporta el potencial que tiene la cachama blanca para aprovechar la proteína proveniente de diversas materias primas usadas en la elaboración de balanceados con lo cual se logra alta digestibilidad que contribuye a resultados favorables para la conversión alimenticia. Los resultados obtenidos de esta variable fueron mejores a los reportados por Sarmiento *et al.*, (2021) quienes estiman valores de 1:2 para producción de cachama de policultivo con tilapia roja.

El análisis económico, registró diferentes valores de utilidad para cada una de las combinaciones de los factores controlables, obteniéndose unos ingresos de \$ 18,300,422 cuando los factores estaban en su nivel uno, así mismo indicó unos ingresos de \$ 21,267,659 cuando los factores A y D cambiaban a su nivel dos. Lo anterior expone un mayor ingreso económico al modificar los niveles de los factores densidad de siembra y valor proteico del balanceado.

De acuerdo con lo anterior, el arreglo ortogonal L8 de Taguchi y los estadísticos de desempeño de Señal/Ruido (S/N) permitieron elegir los niveles de los factores de control que optimizaron el incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y porcentaje de sobrevivencia (%S); y a su vez, maximizan el cociente S/N con lo cual se minimiza la variabilidad ocasionada por el factor de ruido (Periodo). Encontrándose un punto dentro del diseño que hace más robusto el proceso de cultivo de cachama blanca en la fase de pre-cría. El factor de ruido denominado periodo, se caracterizó en cada uno de sus dos niveles por las condiciones de calidad de agua, como se indica en la tabla 4.

**Tabla 4.** Caracterización de los niveles del factor ruido (Periodo)

Periodo	T°C	O <sub>2</sub> mg/l	Ph	NO <sub>2</sub> mg/l
P1	24.55	7.86	6.17	0.54
P2	24.15	8.15	7.12	1.15

Los resultados estadísticos obtenidos durante los periodos 1 y 2 para el cociente señal/ruido y la media de las variables evaluadas incremento de peso, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia; determinaron que para lograr una mejora del proceso de cultivo de cachama blanca en su fase de pre-cría es necesario modificar los niveles actuales de los factores A (densidad de siembra) y D (nivel de proteína) a su nivel 2; así mismo se debe conservar en su nivel uno los factores B (tasa de alimentación) y C (frecuencia alimentaria), lográndose maximizar la señal/ruido y optimizar las variables estudiadas, según se verificó en el periodo de comprobación de los valores predichos, como se indica en la tabla 5.

**Tabla 5.** Comparación de los resultados obtenidos de cada variable estudiada en el periodo de comprobación v/s valores predichos.

VARIABLE DE RESPUESTA		IP	CA	%S			
Tanque	Factores de control				Ȳ	Ȳ	Ȳ
	A	B	C	D			
T1	1	1	1	1	4.54	0.77	97.14
T2	1	1	2	2	3.72	0.92	91.43

T3	1	2	1	2	4.31	1.38	88.57
T4	1	2	2	1	4.07	1.3	94.29
T5	2	1	1	2	4.63	0.75	93.33
T6	2	1	2	1	3.45	1.19	88.89
T7	2	2	1	1	3.4	1,96	91,11
T8	2	2	2	2	4.61	1.22	86.67

La interacción de los factores AD fue significativa, para las tres variables estudiadas, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor para el cociente S/N y optimizar la media del incremento de peso y conversión alimenticia los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 2 y para el caso de la sobrevivencia deben estar en su nivel 1.

La validación del modelo matemático planteado, cumplió con los principios de aditividad, linealidad, normalidad e independencia; así mismo se encontró que los factores de mayor influencia tienen sobre las variables respuestas son la densidad de siembra (A), tasa de alimentación (B) y el nivel de proteína (D); además según el R<sup>2</sup> el modelo planteado se ajusta en un 79% para la variable incremento de peso, 89.1% para la conversión alimenticia y 96.90% para la variable porcentaje de sobrevivencia.

El mejor diseño de parámetros establecido es cuando los factores de control se encuentran A2, B1, C1 y D2, lográndose valores óptimos para las variables incremento de peso, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia en comparación a los estándares internacionales (IT), nacionales (Nal) y propios de Aquamazonía (Aq), como se indica en la tabla 6.

**Tabla 6.** Tabla comparativa de los resultados generados por el diseño T5.

Variable	IT	Nal	Aq	T5
IP	0.18 – 11,3	1.93	3.6	4.63
CA	0.8 – 1.0	1.67	1.5	0.75
%S	75 - 85%	90	90	92.3

El análisis económico realizado a cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluados en el periodo de comprobación y proyectado una producción para un estanque con un área de 1 Ha, determinó que las mayores utilidades e igual relación Beneficio/Costo (B/C) se obtuvieron para la combinación T5 como indica en la tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados de utilidad y relación B/C para cada combinación de los niveles de los factores de control evaluados.

Tanque	VARIABLE DE RESPUESTA				IP	
	Factores de control				B/C	Utilidad \$
	A	B	C	D	P.C	P.C
T1	1	1	1	1	1.56	\$ 18,300,422
T2	1	1	2	2	1.40	\$ 13,173,606

T3	1	2	1	2	1.38	\$ 12,591,183
T4	1	2	2	1	1.47	\$ 15,379,186
T5	2	1	1	2	1.50	\$ 21,267,659
T6	2	1	2	1	1.36	\$ 14,855,396
T7	2	2	1	1	1.49	\$ 14,914,419
T8	2	2	2	2	1.37	\$ 15,845,151

## 4. Conclusiones

Este estudio de mejora de los estándares productivos en el proceso de pre-cría de Cachama blanca, a través de la ingeniería de calidad con el diseño de parámetros L8, ha proporcionado hallazgos significativos logrando obtener una combinación óptima de factores de control (A2, B1, C1, y D2) que mejoró sustancialmente las variables de respuesta IP, CA y %S, logrando una mayor rentabilidad económica, generando utilidades por \$21,267,659 por ciclo de producción en comparación con los \$18,300,422 con los factores en su nivel más bajo.

Los modelos matemáticos validados y el análisis económico respaldan la robustez y eficacia del enfoque propuesto. Se destaca la influencia conjunta de la densidad de siembra y el nivel de proteína en las respuestas, proporcionando pautas claras para la gestión del proceso productivo. Además, se confirma que el sistema acuático mantuvo parámetros de calidad adecuados para la fase de pre-cría.

## 5. Recomendaciones

Se sugiere mejorar la precisión de los modelos matemáticos existentes para las variables de incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y porcentaje de sobrevivencia (%S) en el cultivo de Cachama blanca. Esto puede lograrse mediante la inclusión de otros factores de control relevantes o reemplazando aquellos que no demuestren significancia estadística. Además, explorar otros diseños ortogonales podría proporcionar una perspectiva más completa para la mejora continua de la calidad del proceso.

Se recomienda extender las investigaciones utilizando el diseño de parámetros de Taguchi para robustecer otros procesos críticos en el cultivo de Cachama blanca, como la reproducción, larvicultura, alevinaje y ceiba. Al aplicar esta metodología a todas las etapas del ciclo de producción, se puede mejorar la calidad global del proceso y garantizar la consistencia en la obtención de resultados positivos.

Evaluar la aplicabilidad del modelo L8 propuesto en la fase de pre-cría del cultivo de Cachama blanca en diferentes periodos, considerando variaciones extremas en los parámetros de calidad del agua. Además, extender la metodología de Taguchi para mejorar la calidad del proceso en la producción acuícola de otras especies ícticas, maximizando o minimizando variables de interés. Explorar factores de ruido adicionales, como la calidad de insumos, métodos de preparación, tipos de recintos acuícolas y técnicas de cultivo, puede

proporcionar una visión integral para mejorar la robustez del proceso productivo. Establecer una línea de investigación dedicada a la calidad de procesos acuícolas, aplicando la metodología de Taguchi, puede contribuir significativamente a la optimización de la producción en diversas especies ícticas.

## 6. Referencias

- Brú-Cordero, S. B., Pertúz-Buelvas, V., Ayazo-Genes, J., Atencio-García, V. J., & Pardo-Carrasco, S. (2017). Bicultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en biofloc alimentadas con dietas de origen vegetal. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 64(1), 44–60. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v64n1.65824>
- Chaverra, S., García, J., & Pardo, S. (2017). Biofloc effect on juvenils Cachama blanca *Piaractus brachypomus* growth parameters. *Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 12(4), 170–180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>
- Estruch, G., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Monge-Ortiz, R., Jover-Cerdá, M., Brown, P. B., & Peñaranda, D. S. (2020). Impact of high dietary plant protein with or without marine ingredients in gut mucosa proteome of gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.). *Journal of Proteomics*, 216 (Septembe, 103672. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2020.103672>
- FAO. (2022). *el estado mundial de la pesca y acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO. (Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO (ed.)). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0463es>
- Fernández, Y. R., De, O., & Rivadeneira, C. (2019). *Mejora del proceso de cultivo de especies acuícolas en la empresa pesquera de sancti spiritus*. 46, 21–33.
- Hernández-Valencia, M. (n.d.). Revisión bibliográfica de la producción intensiva de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en Colombia. *Repository.Ucc.Edu.Co*. Retrieved January 11, 2022, from [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/35459/1/2021\\_revision\\_bibliografica\\_produccion.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/35459/1/2021_revision_bibliografica_produccion.pdf)
- Jiang, X., Yao, W., Yang, H., Tan, S., Leng, X., & Li, X. (2021). Dietary effects of *Clostridium autoethanogenum* protein substituting fish meal on growth, intestinal histology and immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) based on transcriptome analysis. *Fish and Shellfish Immunology*, 119(August), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.10.005>
- Mancilla, Q., Paola, M., Santamaria, M. N., Jacinto, I., & Domingo -Ecuador, S. (2021). Evaluación de Cuatro Densidades de Tilapia Roja (*Oreochromis sp* A. Smith) Durante

- la Etapa de Alevinaje Mediante la Técnica de Acuaponía. *Repositorio.Espe.Edu.Ec.* <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24117/1/T-ESPESD-003104.pdf>
- Messina, C. M., Madia, M., Manuguerra, S., Espinosa-Ruiz, C., Esteban, M. A., & Santulli, A. (2023). Dietary Inclusion of *Halobacterium salinarum* Modulates Growth Performances and Immune Responses in Farmed Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.). *Animals*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/ani13172743>
- Miniagricultura, M. de agricultura y desarrollo rural. (2021). Acuicultura en Colombia. *Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP*, 30. <https://www.aunap.gov.co/images/convenio/presentacion-tecnica-acuicultura-en-colombia.pdf>
- Moreno Marcial, P. E., & Santos Méndez, M. M. (2022). Optimización de procesos de producción en medianas empresas del sector textil. *Reciamuc*, 6(1), 226–234. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(1\).enero.2022.226-234](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(1).enero.2022.226-234)
- Naranjo Palacios, F., Rios Lira, A. J., Pantoja Pacheco, Y. V., & Tapia Esquivias, M. (2020). Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 1–12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n2.011>
- Perea Román, C., Garcés-Caicedo, Y., Morales-Bravo, Y., Jiménez-Chamorro, M., Hoyos-Concha, J., & Vivas-Quila, N. (2021). Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818 \*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 16.
- Sarmiento, E., Zabaleta, E., Rodriguez, E., & Pérez, O. (2021). *Producción de Policultivos de Tilapia Roja y Cachama en el Departamento del Meta Bajo Implementación de la Norma NTC 5700*. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/12551>
- Torres-Mesa, A. C., Tovar-Bohórquez, M. O., Hurtado-Giraldo, H., & Gómez-Ramírez, E. (2015). Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio. *Orinoquia*, 19(1), 19. <https://doi.org/10.22579/20112629.311>
- Velasco-Santamaría, Y., Palacios-Ruiz, C., & Cruz-Casallas, P. (2008). Eficiencia anésteica de 2-fenoxietanol, benzocaina, quinaldina y metasulfonato de tricaina en alevinos y juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista MVZ Cordoba*, 13(3), 1435–1445. <https://doi.org/10.21897/rmvz.374>
- Wu, Y., & Wu, A. (1997). *Diseño Robusto utilizando los métodos Taguchi* (D. de Santos (ed.)). [https://books.google.es/books?id=bdLC6w083ycC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=bdLC6w083ycC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)