

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS

**TÍTULO: ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL: EFECTO EN EL DESEMPEÑO
ZOTÉCNICO Y BIENESTAR ANIMAL DE *Oreochromis niloticus*.**

ASESOR: REYNALDO VARGAS

ESTUDIANTE: ERVIN MORALES

II SEMESTRE

2025

**ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL: EFECTO EN EL DESEMPEÑO
ZOOTECNICO Y BIENESTAR ANIMAL DE *Oreochromis niloticus*.**

**TRABAJO DE TESIS SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS

**PERMISO DE PUBLICACIÓN PARCIAL O TOTAL DEBE SER OBTENIDO EN
LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ING. REYNALDO VARGAS PH. D.

ASESOR

PROF. ING. REGGIE GUERRA

PROF. ING. RICHARD MUDARRA

DAVID CHIRIQUÍ

REPUBLICA DE PANAMÁ

2025

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría en cada momento en especial en los más difíciles ayudándome a lograr esta meta.

A mis padres, por su esfuerzo, sacrificio contante y amor incondicional, mis hermanos y familiares por ser un pilar fundamental y de motivación.

A mis profesores y asesor por compartir sus conocimientos y por ser guía durante todo el proceso de formación, siendo pilar importante en mi formación y desarrollo profesional.

A mis amistades que me brindaron compañía, ánimo y confianza constante durante todo el proceso, para culminación de tan importante etapa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía, darme fuerzas, sabiduría y la inteligencia necesaria para culminar con éxitos esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, por ser esa fuente de confianza y motivación que me incentivo a continuar cada día hasta lograr esta meta.

A mis amigos, que me motivaron y ofrecieron animo contante y apoyo en cada proceso de la realización de este proyecto.

A mis profesores, en especial a mi asesor por brindarme la oportunidad de realizar el proyecto y ser la guía necesaria para llevar a cabo la elaboración de esta tesis ayudándome a ser un buen profesional.

Finalmente agradezco a cada una de las personas que contribuyeron a la realización de esta tesis, a mi crecimiento como profesional de las ciencias agropecuarias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Enriquecimiento ambiental.....	4
Bienestar animal en peces	6
2.2. Indicadores de bienestar animal en los peces	6
2.3. Factores de estrés en los peces	7
2.4. Procedimientos de gestión que generan estrés a los peces.....	9
2.4.1. Manejo	9
2.4.2. Clasificación	9
2.4.3. Alimentación	9
2.4.4. Transporte.....	10
2.4.5. Aclimatación	10
2.4.6. Retiro de alimentos.....	10
2.4.7. Reducción de los niveles de agua	10
2.4.8. Densidad de población	11
2.4.9. Parámetros de calidad del agua	11
2.4.10. Temperatura.....	11
2.4.11. Formas nitrogenadas	12
2.4.12. Oxígeno disuelto.....	12
2.4.13. Sólidos totales.....	13
2.5. Factores estresantes.....	13
2.5.1. Cautiverio	13
2.6. El uso de estructuras como alternativa de bienestar animal.....	13
III. OBJETIVOS	16
Objetivo general	16

Objetivos específicos	16
Hipótesis.....	16
Ho	16
Ha	16
IV. METODOLOGÍA	17
4.1. Área geográfica	17
4.2. Población.....	17
4.3. Periodo de aclimatación	17
4.4. Periodo experimental	18
4.5. Selección de los fenotipos de comportamiento	18
4.6. Sistemas de alojamiento	18
4.6.1. Sistema con enriquecimiento ambiental	18
4.6.2. Sistema sin enriquecimiento ambiental.....	18
4.7. Tratamientos.....	18
4.8. Variables evaluadas	19
4.8.1. Comportamiento	19
4.9. Variables de estrés	20
4.9.1. Tasa ventilatoria	20
4.9.2. Concentración de glucosa en sangre.....	20
4.10. Variables zootécnicas	20
4.10.1. Peso final	20
4.10.2. Longitud total final.....	20
4.11. Análisis Estadístico.....	21
V. RESULTADOS.....	22
5.1. Indicadores de comportamiento	22
5.1.1. Transiciones.....	22
5.2. variables de estrés	23
5.2.1. Tasa ventilatoria después del estrés.....	23
5.2.2. Concentración de glucosa en sangre	28
5.2.3. Peso final	29
5.2.4. Longitud total final.....	30
VI. DISCUSIÓN	31
VII. CONCLUSIONES	34

VIII.	RECOMENDACIONES	35
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de transiciones ajustada por la distribución de Poisson de los fenotipos de personalidad, sistemas y su interacción.	22
Tabla 2. Tasa ventilatoria en el primer minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipos de personalidad y su interacción.	23
Tabla 3. Tasa ventilatoria en el segundo minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.	24
Tabla 4. Tasa ventilatoria en el tercer minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.	25
Tabla 5. Tasa ventilatoria en el cuarto minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipos de personalidad y su interacción.	26
Tabla 6. Tasa ventilatoria en el quinto minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro de Enseñanza e Investigación de Chiriquí (CEIACHI). Fuente: Google Earth, 2024.	17
Figura 2. Media \pm desviación estándar de las concentraciones de glucosa en sangre entre sistemas (a), fenotipos de personalidad (b), y condición fisiológica (c). *** $p < 0.001$	28
Figura 3. Mediana, máximos y mínimos de las concentraciones de glucosa en sangre de los fenotipos de personalidad por condición fisiológica. ^{ns} $p > 0.05$; * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$	29
Figura 4. Media \pm desviación estándar del peso final. $nsp > 0.05$	28
Figura 5. Media \pm desviación estándar de la longitud total final. $nsp > 0.05$	29

RESUMEN

Los estanques de producción acuícola actualmente no presentan las mejores condiciones relacionadas con bienestar animal, por esta razón en el presente estudio nos propusimos como objetivo evaluar el efecto del fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental en variables productivas y de bienestar animal en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Los peces fueron separados en fenotipos de personalidad mediante la prueba de restricción. Para la separación en fenotipos de personalidad se utilizó el número de intentos de escape clasificando como proactivos aquellos individuos con totalidad de intentos de escape superior al tercer cuartil y reactivos aquellos individuos con totalidad de intentos de escape inferior al primer cuartil, empleando una gráfica de cajas de bigotes. Se utilizaron dos sistemas de alojamiento por triplicado uno con enriquecimiento ambiental y el otro sin enriquecimiento ambiental. El sistema con enriquecimiento ambiental consistió en la adición de estructuras como piedras y tubos de PVC, mientras que el sistema sin enriquecimiento no contaba con estructuras como las descritas anteriormente. En cada tanque se colocaron 20 individuos diez reactivos y diez proactivos, con un peso promedio inicial de 18.34 ± 2.58 gramos y una longitud total de 10.20 ± 0.58 centímetros. Los animales fueron evaluados de forma individual y al azar por el número de transiciones en la prueba de actividad para determinar su comportamiento, pruebas de estrés fisiológico como la tasa ventilatoria y niveles sanguíneos de glucosa, al final del ensayo se determinó el peso y la longitud total. Los resultados revelaron mayor número de transiciones en el fenotipo reactivo ($p < 0.05$). La tasa ventilatoria después del estrés fue mayor en el fenotipo de personalidad reactivo en el primero, segundo, tercero y cuarto minuto de evaluación comparado con proactivos ($p < 0.05$). Las concentraciones de glucosa en sangre fueron mayores en proactivos que reactivos ($p < 0.05$), en el sistema sin enriquecimiento que con enriquecimiento ($p < 0.05$) y en situación fisiológica de estrés frente a basal ($p < 0.05$). La interacción fenotipo de personalidad por condición revela que no existen diferencias entre proactivos y reactivos a nivel de situaciones estresantes ($p > 0.05$), pero si a nivel basal ($p < 0.05$). Las variables de desempeño peso y longitud total no mostraron diferencias entre fenotipos de personalidad,

sistemas de alojamiento y su interacción ($p>0.05$). En conclusión, la selección por fenotipos de personalidad y su evaluación en sistemas de alojamiento con enriquecimiento ambiental pueden ser una estrategia que mejora los indicadores de bienestar animal contribuyendo a la productividad y sostenibilidad de la actividad acuícola.

ABSTRACT

Aquaculture production ponds currently do not provide the best conditions for animal welfare. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of personality phenotype and environmental enrichment on production variables and animal welfare in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish were categorized into personality phenotypes using a restriction test. Escape attempts were used for classification: individuals with a total number of escape attempts above the third quartile were classified as proactive, while those below the first quartile were classified as reactive, using a boxplot. Two housing systems were used in triplicate: one with environmental enrichment and one without. The enriched system included structures such as rocks and PVC pipes, while the non-enriched system lacked these structures. Each tank contained 20 individuals (10 reactive and 10 proactive) with an initial average weight of 18.34 ± 2.58 grams, and a total length of 10.20 ± 0.58 cm. Animals were evaluated individually and randomly for behavioral activity based on the number of transitions in an activity test, physiological stress tests including ventilation rate and blood glucose levels, and final weight and total length measurements. Results showed a higher number of transitions in the reactive phenotype ($p < 0.05$). The ventilation rate after stress was higher in the reactive phenotype at the first, second, third, and fourth minute of evaluation compared to proactive individuals ($p < 0.05$). Blood glucose levels were higher in proactive than in reactive individuals ($p < 0.05$), in the non-enriched system compared to the enriched system ($p < 0.05$), and in the stress condition compared to the basal state ($p < 0.05$). The interaction between personality phenotype and condition showed no differences between proactive and reactive individuals under stressful situations ($p > 0.05$) but did show differences at the basal level ($p < 0.05$). Performance variables such as weight and total length did not differ between personality phenotypes, housing systems, or their interaction ($p > 0.05$). In conclusion, selecting personality phenotypes and evaluating them in housing systems with environmental enrichment can be a strategy to improve animal welfare indicators, contributing to the productivity and sustainability of aquaculture.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en una de las principales fuentes de suministro de peces en todo el mundo, más de la mitad de los peces que consumimos son cultivados; esto se debe a que la captura de peces salvajes fue estabilizada por la sobreexplotación que ocurrió durante décadas (FAO, 2020).

La demanda mundial de alimentos acuícolas ha aumentado llevando a los productores a buscar alternativas que incrementen la producción para alcanzar las cotas de abastecimiento, debido a esto se ha utilizado en el cultivo de peces los sistemas de producción intensivos e hipertensivos donde muchas veces no se brindan las mejores condiciones ambientales requeridas por el animal y no se logra alcanzar los máximos rendimientos (FAO, 2020).

Huntingford *et al.* (2006), definieron el bienestar animal basado en el enfoque de función que es el mantenimiento de las funciones fisiológicas y conductuales normales para adaptarse al entorno de crianza. Peces con un mayor bienestar responden con buena salud física y demuestran tener una gran capacidad para mantener la homeostasis, obteniendo como resultados animales con mayores tasas de crecimiento y resistencia a las enfermedades, reducción de las lesiones físicas y mejor respuesta al estrés, en consecuencia, mayor retorno económico para los productores.

Las condiciones estándar de los estanques de producción de tilapia no suelen ser las mejores si lo relacionamos con el bienestar animal, suelen ser pobres en estructuras y diseñados solamente para alcanzar altas densidades de siembra por metro cúbico, generalmente los estanques para la producción de tilapia los encontramos en áreas carentes de árboles u algún otro tipo de arreglos dentro de los tanques que brinde una mejor protección ambiental y por ende condiciones confortables para los animales dentro del sistema de producción (Williams *et al.*, 2009).

Para satisfacer las necesidades fisiológicas de los peces, es importante tener un conocimiento detallado del comportamiento de las especies utilizadas (Williams *et*

al., 2009); y sistemas que garanticen las condiciones adecuadas para los animales criados en cautiverio, para expresar su potencial genético promover el mejor rendimiento con la menor contaminación ambiental y consumo de alimento (Silva *et al.*, 2018).

El cautiverio de los animales afecta directamente sus comportamientos ocasionando distintas estereotipias las cuales se pueden disminuir con el enriquecimiento ambiental; con el cual se busca conseguir que los peces tengan una vida saludable. El enriquecimiento ambiental, al añadir complejidad física al ambiente, busca reducir la expresión de rasgos indeseables en los peces criados en cautiverio. Según Reinhardt, (2004) y Fox *et al.* (2006), el enriquecimiento del entorno puede disminuir las respuestas de miedo, agresión, y estrés. El enriquecimiento ambiental mejora los índices productivos durante el proceso de producción al modificar las condiciones estándares de alojamiento (Olsson y Dahlborn, 2002).

El enriquecimiento ambiental se considera en general como un aumento deliberado en la complejidad ambiental con el objetivo de mejorar el bienestar animal, aumentar el rendimiento en la producción, mejorar el estado fisiológico, satisfacer necesidades psicológicas mediante un aumento de complejidad ambiental que se logra con la introducción de nuevos estímulos ambientales en el sistema de cría, reduciendo los rasgos estereotipados y de mala adaptación en los peces criados en entornos desprovistos de estímulos; la mala adaptación puede ser fisiológica, conductual, morfológica y psicológico afectando componentes de aptitud física, salud, supervivencia y reproducción (Näslund y Johnsson, 2014).

Huntingford *et al.* (2012), detallaron que en los sistemas de crianza muchos parámetros pueden comprometer el bienestar de los peces si no se le da un control adecuado a la calidad del agua, las altas densidades, la clasificación y la falta de estímulos ambientales; al prolongarse estas situaciones se pueden producir efectos negativos que pueden ser funcionales como enfermedades o emocionales como ansiedad y miedo. Las buenas prácticas de bienestar animal previenen emociones

negativas y además da a los peces cautivos oportunidades de experimentar efectos positivos al generar comodidad, placer, estimulación, interés y seguridad.

Näslund y Johnsson, (2016) identificaron el enriquecimiento ambiental como una estrategia efectiva para mejorar el bienestar de los peces en cautiverio. Esta técnica consiste en incrementar la complejidad del entorno para reducir comportamientos inadaptados, comunes en peces privados de estímulos. El enriquecimiento físico, mediante la inclusión de elementos como piedras, plantas, algas, arena, grava y objetos artificiales, es crucial ya que imita el hábitat natural de los peces. Al proporcionar este entorno enriquecido, se promueve un comportamiento más natural y se mejora la calidad de vida de los peces.

De acuerdo con Mellor, (2016), el requisito para un buen bienestar es disminuir las experiencias y emociones negativas y promover las experiencias positivas. Proporcionar a los peces un enriquecimiento ambiental diseñado para aumentar la complejidad es una forma efectiva de promover experiencias positivas al estimular a los peces, fomentando la exploración cumpliendo así con el bienestar animal. De acuerdo con esto el propósito de esta investigación fue evaluar el efecto del fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental en variables productivas y de bienestar animal en tilapia del Nilo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Enriquecimiento ambiental

La producción acuícola puede causar problemas de bienestar como el estrés, problemas de salud e incluso mortalidad en cualquier etapa durante la crianza de los peces, esto afecta directamente los rasgos de producción (Galhardo y Oliveira, 2009).

El concepto de enriquecimiento ambiental fue descrito por primera vez por Yerkes hace más de un siglo y luego redescubierto por Hediger, ambos zoobiólogos (Mellen y Sevenich MacPhee, 2001). Así, el concepto de enriquecimiento ambiental se desarrolló y aplicó inicialmente en el campo de los zoológicos antes de comenzar a introducirse en los animales de laboratorio y de granja a finales de los años 1980. En la década de 1990, el concepto de enriquecimiento ambiental en la acuicultura ganó la atención científica. Diez años después, etólogos comenzaron a aplicar el enriquecimiento ambiental para mejorar el comportamiento natural de los peces y su desempeño posterior a la liberación (Kleiber *et al.*, 2023).

Según estudios publicados por Mellen y Sevenich MacPhee, (2001) y Young, (2003), los programas de enriquecimiento ambiental son de suma importancia ya que el uso de ellos puede mejorar el bienestar animal, la producción de alimentos, los acuarios de exhibición y los de investigación.

En las especies de peces comerciales se ha demostrado que aumentar la complejidad del entorno de cría puede alterar su comportamiento. Por ejemplo, el enriquecimiento ambiental en el sistema de cría del bacalao atlántico (*Gadus morhua*) aumenta los comportamientos exploratorios y disminuye el tiempo tomado para recuperarse de la exposición a un estresor (Braithwaite y Salvanes, 2005).

La complejidad ambiental es un parámetro que se debe considerar para la construcción de los estanques para la cría de peces. Los entornos naturales submarinos son extremadamente variables y ofrecen lugares donde los animales pueden esconderse y sentirse seguros, reduciendo el estrés y la ansiedad. Es por

ello por lo que se plantea la idea de que el enriquecimiento ambiental puede mejorar en gran medida el bienestar de los animales en cautiverio (Simpson y Kelly, 2011).

Estudios con peces sugieren que la complejidad ambiental del entorno de cría puede alterar el comportamiento y ejercer efectos positivos en su estado de bienestar y salud al reducir el impacto del estrés (Pounder et al., 2016), con un efecto comparable al obtenido con fármacos antidepresivos y ansiolíticos. Además, el enriquecimiento ambiental puede aumentar el desarrollo del cerebro, mejorar las actividades cognitivas (Salvanes *et al.*, 2013), y mejorar las habilidades de búsqueda de alimentos de peces de cultivo, simulando el componente del hábitat natural.

Proporcionar enriquecimiento en los estanques de cría puede mejorar el uso del área de refugio dentro del estanque. La introducción de refugios debe evaluarse cuidadosamente y equilibrarse con la densidad de peces y la territorialidad de la especie, ya que una escasa cobertura podría provocar competencia y eventos agresivos que conduzcan a la reducción del nivel de bienestar, pero, por otro lado, un mayor número de refugios puede aumentar la competencia en situaciones de alta densidad y también puede aumentar los niveles de estrés (Boerrigter y Verberk, 2020).

El enriquecimiento ambiental debe evaluarse para cada especie y etapa de vida específica ayudando a revertir los comportamientos indeseados causados por la falta de complejidad estructural en los hábitats artificiales (Huntingford *et al.*, 2006). Está relacionado con la economía y los objetivos éticos de la empresa que se dedique a la producción acuícola, ya que con el enriquecimiento ambiental se logra una mayor supervivencia, contribuye a un mayor crecimiento y mejora indicadores de bienestar animal. Como mencionan (Olesen *et al.*, 2010; Grimsrud *et al.*, 2013), el aumento del bienestar también puede tener beneficios económicos, ya sea directamente por una mayor aceptación para comprar peces cultivados o indirectamente por una mejor calidad del pez.

El enriquecimiento estructural de los sistemas de cría de peces se implementa para mejorar el bienestar y la producción de los peces ya que los factores de estrés como el manejo, el transporte, las densidades y la alimentación son practicas inevitables, y reducir el estrés con los efectos nocivos que estas actividades causan es un objetivo fundamental para lograr un buen crecimiento y desarrollo, logrando así una buena producción (Ashley, 2007).

Bienestar animal en peces

El concepto de bienestar animal se enfoca en la necesidad de sensibilidad animal, la capacidad de sentir dolor y placer, de experimentar diferentes estados afectivos y placenteros de los animales que destinamos a la producción de alimentos (Reimert *et al.*, 2023).

Ashley, (2007) indicó que el bienestar es el estado del individuo a medida que hace frente al medio ambiente, y el medio ambiente de los peces criados en cautiverio es estresante debido a todos los procesos operativos necesarios durante la época de crianza.

Una definición de bienestar no solo se basa en la salud física sino también en la falta de sufrimiento mental. Por lo tanto, el concepto de bienestar es mucho más amplio que solo mantener la salud física y evitar el estrés prolongado en los animales (Ashley, 2007).

Un bienestar apropiado significa que el pez es capaz de adaptarse fisiológicamente a su ambiente de cautiverio y mantener sus sistemas fisiológicos en función, en el caso de las granjas de producción de alimentos se puede obtener medidas directas de bienestar mediante una evaluación en productividad (tasas de mortalidad y crecimiento), o de un amplio conjunto de parámetros fisiológicos relacionados con la alostasis (Iwama, 2007; Segner *et al.*, 2012).

2.2. Indicadores de bienestar animal en los peces

Para garantizar bienestar de los peces alojados en estanques experimentales, es necesario contar con buenos indicadores que sean fácil y confiablemente reconocibles y mínimamente invasivos. Los indicadores de bienestar deben incluir

diferentes aspectos relacionados con el comportamiento y desempeño fisiológico de los individuos cautivos (Ashley, 2007).

Los indicadores como lo son la ausencia de hambre, dolor, malestar y miedo se pueden evaluar mediante indicadores metabólicos, de rendimiento, anatómicos, conductuales y fisiológicos. La evaluación de los niveles de bienestar animal, mediante parámetros tisulares y sanguíneos es un método invasivo que requiere procedimiento de captura y toma de muestras (Williams *et al.*, 2009).

Para comprender correctamente el estado de bienestar de los peces criados en cautiverio, se debe tener conocimiento profundo acerca del comportamiento y la biología de la especie a utilizar, la respuesta fisiológica al estrés es un proceso complejo y medir los niveles de cortisol, glucosa y lactato es un enfoque muy común para evaluar los efectos del estrés agudo en los peces criados en cautiverio (Miller *et al.*, 2020).

Los indicadores físicos y de comportamiento permiten evaluar el bienestar de los peces simplemente observando a través de un procedimiento no invasivo. Esto dependerá de factores como el tipo de estanque, la turbidez del agua, la profundidad, la iluminación y la densidad de los animales. Los indicadores físicos del bienestar de los peces incluyen cambios del color de los ojos y piel (con oscurecimiento generalmente relacionado con enfermedades), alteraciones morfológicas (como aletas mordidas), renuencia a moverse, postura corporal alterada, producción de moco y frecuencia de latido opercular (Malavasi *et al.*, 2009).

2.3. Factores de estrés en los peces

Los factores de estrés en la producción acuícola son inevitables y reducir el estrés y sus efectos nocivos es uno de los objetivos fundamentales para el crecimiento y la producción exitosa, así como para el bienestar. Diferentes especies muestran una amplia variación en las respuestas fisiológicas a distintos factores estresantes asociados con la acuicultura. Las elevaciones en los niveles de cortisol en plasma

pueden diferir hasta en dos órdenes de magnitud entre diferentes especies de peces después de haberse sometido a estresores idénticos (Conte, 2004).

Los principales factores que afectan el rendimiento de *O. niloticus* durante su cultivo son: composición de la calidad del alimento para peces (composición nutricional), variación genética, densidad de población, tasa de alimentación, frecuencia de alimentación y calidad del agua como temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad y amoníaco. La calidad del agua también afecta la nutrición, el crecimiento, la carga de enfermedades y la tasa de supervivencia (Khanjani *et al.*, 2022).

El estado de estrés fisiológico y de comportamiento está estrechamente relacionado con muchos otros procesos biológicos (incluido el crecimiento y la resistencia a enfermedades), por ello el estrés de los peces se considera comúnmente como uno de los indicadores más importantes del estado de bienestar (Ashley, 2007; Galhardo y Oliveira, 2009).

El agua juega un papel importante ya que sus características fisicoquímicas afectan significativamente la vida de los peces, principalmente debido a la íntima relación entre sus fluidos corporales y el agua en el ambiente circundante. Los principales parámetros del agua que pueden afectar el bienestar de los peces son la temperatura, la concentración de gases disueltos (O_2 y CO_2), el pH, la salinidad, la presencia de los compuestos amoniacales derivados del metabolismo natural, contaminantes químicos de origen antropogénico como minerales pesados, pesticidas, iluminación, ruido y las vibraciones son cruciales para el bienestar de los peces (Toni *et al.*, 2017).

Debido a que en los estanques de cría los peces no pueden moverse a donde las condiciones fisicoquímicas del agua son mejores, es necesario mantener dichos niveles consistentes con el bienestar óptimo que la especie necesita (Reinhardt, 2004).

Los peces son reconocidos como animales sensibles y capaces de experimentar emociones, como lo demuestran una serie de experimentos etológicos y cognitivos,

basados en la noción de que los peces poseen conciencia y sensibilidad y pueden experimentar emociones (Näslund y Johnsson, 2016).

Se han propuesto diferentes métodos para evaluar el bienestar de los peces basado en los sentimientos, la observación del comportamiento, las pruebas de preferencia, las pruebas de aislamiento social y evaluaciones del desempeño cognitivo (Näslund y Johnsson, 2016; Colson *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

Un excelente bienestar de los peces se caracteriza por más experiencias o estímulos positivos como, por ejemplo, compañía en especies sociales y menos experiencias o estímulos negativos como el dolor y miedo (Huntingford *et al.*, 2006).

2.4. Procedimientos de gestión que generan estrés a los peces

2.4.1. Manejo

El hacinamiento excesivo de peces antes de los procedimientos de manejo puede ser estresante, cuando se disminuyen los niveles de oxígeno y calidad del agua, mayores son las posibilidades de rasguños abrasión. Mientras que algunas especies se adaptan bien a las altas densidades de carga (Barton *et al.*, 2000; Ruane y Komen, 2003) otras muestran niveles prolongados de cortisol elevados después de los procedimientos de confinamiento (Barton *et al.*, 2003).

2.4.2. Clasificación

A pesar de que la clasificación de los peces puede ser estresante durante la captura y el manejo, la clasificación limitada puede ser ventajosa para el bienestar reduciendo las diferencias de tamaño, previniendo así la agresión y reduciendo la competencia por la alimentación (Brannas *et al.*, 2003).

2.4.3. Alimentación

La densidad y los métodos de alimentación tienen una fuerte influencia en los niveles de interacciones sociales, jerarquías de dominancia y, posteriormente, crecimiento en peces criados en cautiverio. Las técnicas de alimentación y las densidades de población pueden, por lo tanto, limitar el crecimiento heterogéneo dentro de un grupo de peces y por lo tanto la necesidad de una clasificación frecuente (Ashley, 2007).

2.4.4. Transporte

El transporte implica la captura, carga, transporte, descarga y almacenamiento, por el cual se producen grandes respuestas de estrés que pueden afectar los peces durante un período prolongado de tiempo para su recuperación (Iversen *et al.*, 1998).

2.4.5. Aclimatación

La aclimatación cuidadosa a las condiciones químicas del agua y niveles de luz, son de gran importancia para el bienestar. Los procedimientos, el manejo y las habilidades de manejo efectivo son de gran importancia durante el transporte, el conocimiento de los signos de estrés y un trabajo cuidadoso son condiciones vitales para el bienestar de los peces (Mork y Gulbrandsen, 1994).

2.4.6. Retiro de alimentos

Los peces deben ser privados de alimentos antes de que se lleven a cabo ciertos procedimientos de manejo y esto ayudara a reducir el estrés fisiológico durante el procedimiento que se vaya a realizar. La inanición temporal antes de cualquier tratamiento sirve para evacuar el intestino del pez y reducir el metabolismo, la demanda de oxígeno y la producción de desechos (Gines *et al.*, 2002).

2.4.7. Reducción de los niveles de agua

La eliminación del agua provoca inmediatamente una emergencia fisiológica máxima de respuesta y sólo debe llevarse a cabo cuando sea absolutamente necesario. Por ejemplo, el contacto con el aire fuera del agua incrementa los niveles de cortisol en el plasma (Arends *et al.*, 1999). Se debe tener mucho cuidado en todas las etapas para evitar abrasión y eliminación de escamas y la capa mucosa protectora del pez, que sirve como barrera física y química para infección además es importante en la osmorregulación y la locomoción. Para este proceso se debe involucrar el uso de manos mojadas y redes apropiadas para la especie, manteniendo húmedos a los peces durante el manejo (Conte, 2004).

2.4.8. Densidad de población

La densidad de población es un factor fundamental que afecta el bienestar de los peces en la producción acuícola, principalmente donde las altas densidades en ambientes confinados tienen como objetivo una alta productividad. Aunque rara vez se define, la densidad de población es el término que normalmente se usa para referirse al peso de los peces por unidad de volumen. La densidad de población aumentará a medida que crezcan los peces. La capacidad de carga se refiere al número máximo de peces que en un entorno de cría se puede introducir, esta capacidad puede variar en función del suministro de oxígeno y la eliminación de desechos metabólicos y estará determinada, entre otras cosas, por la tasa de consumo de oxígeno de los peces y su respuesta a los productos de desecho metabólicos como el CO₂ y el amoníaco (Ellis, 2001).

2.4.9. Parámetros de calidad del agua

La tilapia del Nilo (*O. niloticus*) es una especie capaz de tolerar una amplia variedad de condiciones ambientales, crecimiento rápido, estrategias reproductivas eficientes y la capacidad de alimentarse en varios niveles tróficos (Peterson, 2005).

Cuando los peces están en un entorno natural tienen la posibilidad de moverse a lugares donde las condiciones del agua sean las más adecuadas. Esto no sucede en las instalaciones de crianza artificial, por lo que es esencial mantener los parámetros fisicoquímicos del agua dentro de los niveles aceptables para el bienestar animal de los peces (Reinhardt, 2004; Toni *et al.*, 2019).

2.4.10. Temperatura

La temperatura óptima para el crecimiento de la mayoría de las especies de tilapia está entre 25 y 28 grados Celsius (°C). No crecen bien a temperaturas inferiores a 16 °C; cuando la temperatura del agua desciende a unos 13 °C, entran en estados de latencia inducidos por el estrés. La muerte se produce entre 10 y 12 °C. Secuencias similares de eventos ocurren a temperaturas más altas (Pandit *et al.*, 2010).

De la Cruz, (2020) informó que cuando la temperatura ambiente aumenta, provoca cambios en los parámetros fisiológicos de la tilapia del Nilo, como la puntuación del color corporal y la tasa de ventilación. Además, cuando se exponen a una temperatura ambiental agudamente alta, la frecuencia cardíaca aumenta (Jinagool *et al.*, 2024).

Los cambios en la temperatura del agua pueden afectar negativamente el rendimiento del crecimiento de los peces, el comportamiento y las habilidades reproductivas y las respuestas inmunitarias (Velmurugan *et al.*, 2019).

2.4.11. Formas nitrogenadas

El amoníaco provoca una disminución en la ingesta en concentraciones de 0.08 mg/L, y la exposición continua a 0.2 mg/L de amoníaco es dañina para los peces (Amal y Zamri-saad, 2011).

El nitrato (NO_3^-) es relativamente no tóxico para la tilapia, pero la exposición prolongada reduce la respuesta inmunológica y conduce a la muerte de los peces (Aplomar, 2000). Por el contrario, el nitrito (NO_2^-) es altamente tóxico para la tilapia ya que este interrumpe la función fisiológica reduciendo la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno, lo que provoca un retraso en el crecimiento

2.4.12. Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto es el factor del agua más importante debido a su correlación con parámetros directos de crecimiento de los peces (Roy *et al.*, 2022). Estudios relevantes han demostrado que la concentración de oxígeno disuelto debe mantenerse en un rango de 5 mg/L; de no ser así, cuando la concentración es inferior a 3 mg/L, los peces comienzan a mostrar estrés y su crecimiento será más lento. Además, esto puede ocasionar muerte a los peces, por lo cual el suministro continuo de oxígeno es fundamental para mantener la calidad del agua y mantener los peces con vida, asegurando que tengan un crecimiento adecuado (Yu *et al.*, 2024).

Los valores medios del contenido de oxígeno disuelto (OD) en muestras de agua examinadas del río Nilo fueron de 6.62 ± 0.13 mg/L, los valores recomendados de oxígeno disuelto son de (>5 mg/L) para el crecimiento de la tilapia (El-Sayed, 2006).

2.4.13. Sólidos totales

La materia particulada presente en el agua, tanto disuelta como suspendida en la producción acuícola forma los principales sedimentos que afectan la calidad del agua y, la salud de los peces cultivados, los sólidos presentes en los tanques son de origen orgánico, compuestos de heces y alimento no ingerido (Oca y Masaló, 2007).

2.5. Factores estresantes

2.5.1. Cautiverio

Los animales cautivos suelen carecer de control sobre su entorno, durante el enfrentamiento a una situación desafiante resulta en trastornos de comportamiento como estrés crónico, estereotipias, degradación de funciones cerebrales, aumento en la agresividad, afectación en la tasa de crecimiento y la respuesta inmunitaria; en estanques completamente vacíos los peces no pueden escapar de las amenazas, en hábitad naturales pueden esconderse o huir durante un evento impredecible, esto les permite afrontar con mayor facilidad los eventos de estrés (Colson *et al.*, 2019).

2.6. El uso de estructuras como alternativa de bienestar animal

El enriquecimiento físico compuesto por estructuras como piedras, plantas y objetos artificiales, son factores importantes en el entorno natural para la crianza de los peces; este enriquecimiento se basa en la naturaleza para considerar el bienestar animal lo que ayuda a los peces a vivir en un ambiente cercano al hábitad natural de la especie, ayudando a promover un comportamiento natural, gozando así de bienestar animal (Martins *et al.*, 2012). Las tuberías se utilizan para brindar refugio proporcionando escondite y disminuyendo la agresión en los peces, las piedras son un complejo al entorno promoviendo la flexibilidad conductual y mejora la adaptación a situaciones estresante (Salvanes *et al.*, 2013).

La estrategia de enriquecimiento ambiental usada en los sistemas de crianza de peces debe ser extraíbles y fáciles de limpiar o reemplazar, sin deterioro de las rutinas de cultivo y sin impactos al medio ambiente (Arechavala-Lopez *et al.*, 2022).

El enriquecimiento ambiental brinda complejidad física al entorno de cría siendo una herramienta altamente recomendada para mejorar el bienestar de los peces criados en cautiverio, este tipo de complejidad permite a los animales a experimentar nuevas situaciones y los acerca a comportamientos típicos de su especie en sistemas naturales. Näslund y Johnsson, (2016), han demostrado que el enriquecimiento ambiental influye en muchos aspectos biológicos y de comportamiento de los peces y un ejemplo es que los hábitad estructuralmente complejos ofrecen refugios, evitan lesiones y disminuyen la susceptibilidad a las enfermedades, aumentan la capacidad cognitiva y el comportamiento exploratorio, además, aumentan el apetito y la tasa de crecimiento o condición física, y en las primeras etapas de vida pueden aumentar la supervivencia y disminuir la tasa de deformidad.

Sin embargo, los efectos observados del enriquecimiento no siempre serán positivos, y se deben considerar diferentes aspectos cuando se utiliza el enriquecimiento ambiental, como el tipo, la extensión y el momento de aplicación del enriquecimiento, las especies y la etapa de desarrollo (Näslund y Johnsson, 2016). Además, la introducción de enriquecimiento físico también puede ser un desafío al afectar otros aspectos como la acumulación de desechos, los procedimientos de limpieza rutinarios, la circulación del agua o incluso la introducción de contaminantes potenciales que podrían filtrarse de los materiales utilizados. En este sentido, es necesario realizar más investigaciones para aprovechar al máximo el uso potencial del enriquecimiento para promover el bienestar de los peces criados en cautiverio (Arechavala-Lopez *et al.*, 2022).

La búsqueda de refugio es una conducta muy extendida entre los animales para reducir la exposición a las condiciones ambientales no deseadas o para esconderse cuando se sienten amenazados; se ha demostrado que diferentes especies de peces, incluidos los salmónidos, desarrollan un claro comportamiento de búsqueda

de refugio cuando hay refugios disponibles, la mayoría de las estructuras que se utilizan como enriquecimiento físico pueden ofrecer refugio hasta cierto punto, pero muy a menudo, el enriquecimiento está diseñado deliberadamente para proporcionar refugios a los peces. Estudios en salmónidos, han demostrado efectos positivos de la disponibilidad de refugios en la fisiología de los peces (Naslund y Johnsson, 2016).

Arechavala-Lopez *et al.* (2019), señalaron que un escaso número de estructuras de enriquecimiento puede aumentar la territorialidad y, en consecuencia, interacciones agresivas.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto del fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental en variables productivas y de bienestar animal en tilapia del Nilo.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto del fenotipo de personalidad en variables productivas y de bienestar animal.
- Analizar las implicaciones del enriquecimiento ambiental en variables productivas y de bienestar animal.
- Evaluar el efecto de la interacción entre fenotipo de personalidad y enriquecimiento ambiental en variables productivas y de bienestar animal.

Hipótesis

Ho: El fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental no tienen un efecto en el desempeño productivo y bienestar animal de tilapia del Nilo.

Ha: El fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental tienen un efecto en el desempeño productivo y bienestar animal de tilapia del Nilo.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Área geográfica

El estudio se llevó a cabo en la provincia de Chiriquí, distrito de David, corregimiento de Chiriquí, en el Centro de Enseñanza e Investigación de Chiriquí (CEIACHI) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, con una altitud aproximada de 10 m s. n. m. en las coordenadas N 8°23'20", W 82°19'49" (figura 1).



Figura 1. Centro de Enseñanza e Investigación de Chiriquí (CEIACHI). Fuente: Google Earth, 2024.

4.2. Población

Se utilizaron 500 alevines de tilapia *O. niloticus*, para el proyecto investigativo, adquiridos en la estación Ricardo A. Ríos de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) ubicada en el distrito de Gualaca, provincia de Chiriquí.

4.3. Periodo de aclimatación

Los alevines fueron alojados en un tanque circular de 0.5 m³ (1.43 m x 1.0 m x 0.55 m, largo x ancho x altura). Equipada con un sistema auxiliar de oxigenación (*Vivosun Oxygen Pump*®). Se trataron con sal cruda, durante tres días, con el fin de controlar y evitar infecciones por ataques de *Saprolegnia* sp., recibieron una alimentación del 15% de su biomasa, con un concentrado de 45% de proteína (Tilapia 45% BioMar®). La ración se suministró dos veces al día (de 7:00 a. m. - 1:00 p. m.). Diariamente se evaluó el oxígeno disuelto con un medidor (Milwaukee Dissolved

Oxygen Portable Meters®) y parámetros fisicoquímicos del agua como temperatura, sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica, amoníaco, nitrito, nitrato y fosfato, con un equipo (Health Metrics®). Este periodo tuvo una duración de 21 días.

4.4. Periodo experimental

Este estudio comprendió un periodo experimental de 120 días. Las condiciones de alojamiento fueron similares a las descritas para el periodo de aclimatación. El monitoreo de las variables fisicoquímicas del agua se realizó de manera similar a las descritas anteriormente. La alimentación se ajustó de acuerdo con el peso siguiendo las recomendaciones descritas para esta especie.

4.5. Selección de los fenotipos de comportamiento

Los alevines de tilapia fueron sometidos a una selección mediante la prueba de comportamiento de restricción (Castanheira *et al.*, 2013), que consistió en alojar cada pez individualmente en una malla fuera del agua por un minuto, registrando el número de intentos de escape. Para la selección de los fenotipos de comportamiento se utilizó una distribución en gráfica de cuartiles, seleccionando como reactivos aquellos individuos con intentos de escape inferiores al primer cuartil y proactivos aquellos individuos con intentos de escape superiores al tercer cuartil.

4.6. Sistemas de alojamiento

4.6.1. Sistema con enriquecimiento ambiental

El sistema con enriquecimiento ambiental consistió en un tanque de 500 L, equipado con un sistema auxiliar de oxigenación, adicionalmente contaba con estructuras de enriquecimiento y refugio (Batzina *et al.*, 2014), como rocas de río, tubos de PVC con perforaciones en los extremos, alojados en el fondo del tanque.

4.6.2. Sistema sin enriquecimiento ambiental

El sistema sin enriquecimiento ambiental consistió en un tanque similar al del sistema con enriquecimiento solo equipado con un sistema auxiliar de oxigenación.

4.7. Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos:

- Proactivo con enriquecimiento ambiental (PCE).

- Proactivo sin enriquecimiento ambiental (PSE).
- Reactivo con enriquecimiento ambiental (RCE).
- Reactivo sin enriquecimiento ambiental (RSE).

Los animales experimentales con un peso inicial de 18.34 ± 2.58 gramos y una longitud total de 10.20 ± 0.58 centímetros se distribuyeron por triplicado en seis tanques. Tres tanques estaban equipados con un sistema de enriquecimiento y tres con un sistema sin enriquecimiento. En cada tanque se colocaron 20 individuos, 10 reactivos y 10 proactivos.

Se empleó un modelo factorial dentro de un diseño completamente al azar. El modelo se detalla a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A_i * B_j)_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variables de respuesta.

μ = Es la media general.

A_i = Fenotipo de personalidad (proactivo, reactivo).

B_j = Sistema de alojamiento (con enriquecimiento ambiental, sin enriquecimiento ambiental).

$(A_i * B_j)_k$ = Interacción del fenotipo de personalidad y enriquecimiento ambiental.

E_{ijk} = Es el residuo o error observado.

4.8. Variables evaluadas

4.8.1. Comportamiento

4.8.1.1. Prueba de actividad

El aparato de prueba consistió en un tanque de vidrio (Glass Aquarium®), (51 cm, 26 cm, y 31 cm, largo x ancho x alto), con una capacidad de 41 litros de agua. El tanque fue cubierto con pintura azul en cada lado para reducir el estrés de los individuos. El fondo del tanque fue dividido en cuatro zonas de 25.5 cm de largo y

13 centímetros de ancho. La variable que se evaluó fue el número de transiciones, que se determinó como el número de veces que el animal entró en cada una de las zonas. Se considera que el animal entró a una nueva zona cuando la región cefálica sobrepasa la línea que divide cada una de estas, adaptando la metodología descrita por Millot *et al.* (2009). Las mediciones se realizaron desde la parte superior del tanque con un sistema de video (SONY®), y tuvo una duración de cinco minutos. Las evaluaciones se realizaron de forma individual y aleatoria utilizando un 60% del volumen total del tanque de prueba y cambiando la totalidad del agua entre individuos.

4.9. Variables de estrés

4.9.1. Tasa ventilatoria

Se evaluó la tasa ventilatoria (TR), en movimientos operculares por minuto (bpm - “beats per minute” por sus siglas en inglés) contando el tiempo necesario para 20 movimientos operculares o bucales durante cinco minutos, de acuerdo con la metodología propuesta por Calderer, (2001) y Silva *et al.* (2010).

4.9.2. Concentración de glucosa en sangre

Para la evaluación de la glucosa en sangre se utilizó un equipo medidor de glucosa (Easy Touch® GCHb). La curva de calibración fue lineal en el rango de 10 a 180 mg/dL de glucosa utilizando la misma especie. Las muestras se colectaron insertando una aguja calibre 25G x 32 mm con jeringa de un mililitro en la vena caudal del pez extrayendo aproximadamente 0.25 mililitro.

4.10. Variables zootécnicas

4.10.1. Peso final

Se evaluó el peso final de los peces en gramos con una balanza eléctrica (OHAUS®) con capacidad de 1.5 kg con aproximación de 0.01 g.

4.10.2. Longitud total final

Se evaluó la longitud total final en centímetros, medido desde el extremo anterior de la mandíbula hasta el extremo distal del radio más largo de la aleta caudal, empleando un ictiómetro (PENTAIR®) de 23 cm, de acuerdo con el criterio de Laevastu, (2011).

4.11. Análisis Estadístico

Los datos fueron tabulados en una hoja de cálculo (Microsoft 365®). Para el análisis se utilizaron los software R (R versión 4.2.2, 2022-10-31, RStudio, Inc.) y Statistica V12.5 (StatSoft, Inc®). Las figuras se realizaron con el programa Prisma (GraphPad®). Las variables de respuesta fueron examinadas para normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas por la prueba de Levene. El número de transiciones y frecuencia ventilatoria fueron evaluados con modelos lineales generalizados ajustados por la distribución de Poisson, aquellas que mostraron diferencias fueron corregidas con la función glht (multcomp R). Peso final fue evaluado con la prueba de Mann-Whitney para diferencias entre sistemas y fenotipos de personalidad animal, su interacción fue evaluada con la prueba de Kruskal-Wallis. Longitud total final fue evaluada con ANOVA de una vía. Glucosa en sangre fue evaluada mediante un análisis de varianza factorial (ANOVA Factorial), las diferencias corregidas con la prueba de Bonferroni. Se utilizó un alfa de 0.05.

V. RESULTADOS

5.1. Indicadores de comportamiento

5.1.1. Transiciones

En la tabla 1 se puede observar que el fenotipo reactivo mostró diferencia significativa en el número de transiciones ($p < 0.05$). No se observaron diferencias significativas entre los sistemas ($p > 0.05$), ni en la interacción fenotipo de personalidad sistema ($p > 0.05$).

Tabla 1. Número de transiciones ajustada por la distribución de Poisson de los fenotipos de personalidad, sistemas y su interacción.

EFFECTOS FIJOS		ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA
	Intercepto	3.34	0.06	53.40	<0.001	***
SISTEMA	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
	SE	-0.001	0.08	-0.22	0.82	
Personalidad	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
	R	0.27	0.08	3.28	<0.001	***
Sistema Personalidad	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
	SER	-0.18	0.12	-1.50	0.13	

*** $p < 0.001$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

5.2. variables de estrés

5.2.1. Tasa ventilatoria después del estrés

En la tabla 2 se puede observar que existe diferencia significativa entre los sistemas en la tasa ventilatoria en el primer minuto ($p < 0.05$), al igual que en los fenotipos de personalidad ($p < 0.05$). Mientras que en la interacción sistemas fenotipo de personalidad no existe diferencia significativa ($p > 0.05$).

Tabla 2. Tasa ventilatoria en el primer minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipos de personalidad y su interacción.

EFFECTOS FIJOS	ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA	
	Intercepto	4.73	0.03	151.19	<0.001	***
	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
SISTEMA	SE	-0.11	0.04	-2.53	0.01	*
	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
Personalidad	R	0.11	0.04	2.66	0.007	**
	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
Sistema Personalidad	SER	0.04	0.06	0.78	0.43	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

La tabla 3 muestra que no existe diferencia significativa entre los sistemas en la tasa ventilatoria en el segundo minuto ($p>0.05$). Mientras que en el fenotipo de personalidad reactivo mostró mayores valores que el fenotipo proactivo ($p<0.05$), la interacción sistemas fenotipo personalidad no mostró diferencia significativa ($p>0.05$).

Tabla 3. Tasa ventilatoria en el segundo minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.

EFFECTOS FIJOS		ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA
	Intercepto	4.65	0.03	143.12	<0.001	***
	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
SISTEMA	SE	0.04	0.04	1.08	0.27	
	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
Personalidad	R	0.09	0.04	2.03	0.04	*
	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
Sistema Personalidad	SER	-0.06	0.06	-1.07	0.28	

* $p<0.05$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

La tabla 4 indica que no existe diferencia significativa entre los sistemas en la tasa ventilatoria en el tercer minuto ($p>0.05$). Mientras que en el fenotipo de personalidad mostró diferencia significativa ($p<0.05$), la interacción sistemas fenotipo personalidad no mostró diferencia significativa ($p>0.05$).

Tabla 4. Tasa ventilatoria en el tercer minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.

EFFECTOS FIJOS		ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA
	Intercepto	4.59	0.03	137.23	<0.001	***
SISTEMA	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
	SE	-0.001	0.04	-0.02	0.97	
	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
Personalidad	R	0.10	0.04	2.28	0.02	**
	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
Sistema Personalidad	SER	-0.02	0.06	-0.41	0.67	

** $p<0.01$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

En la tabla 5 se puede observar que no existe diferencia significativa entre los sistemas en la tasa ventilatoria en el cuarto minuto ($p>0.05$). Mientras que en el fenotipo de personalidad reactivo mostro valores superiores al proactivo ($p<0.05$), la interacción sistemas fenotipo personalidad no mostró diferencia significativa ($p>0.05$).

Tabla 5. Tasa ventilatoria en el cuarto minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipos de personalidad y su interacción.

EFFECTOS FIJOS		ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA
	Intercepto	4.60	0.03	137.85	<0.001	***
	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
SISTEMA	SE	0.03	0.04	0.80	0.42	
	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
Personalidad	R	0.09	0.04	2.12	0.03	*
	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
Sistema Personalidad	SER	-0.10	0.06	-1.56	0.11	

* $p<0.05$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

La tabla 6 se observa que no existe diferencia significativa entre los sistemas, fenotipo de personalidad y en la interacción sistema fenotipo de personalidad en el quinto minuto ($p > 0.05$).

Tabla 6. Tasa ventilatoria en el quinto minuto ajustada por la distribución de Poisson de los sistemas, fenotipo de personalidad y su interacción.

EFFECTOS FIJOS		ESTIMADOR	ERROR ESTÁNDAR	Z- VALOR	P- VALOR	SIGNIFICANCIA
	Intercepto	4.58	0.03	135.99	<0.001	***
SISTEMA	CE	Ref	Ref	Ref	Ref	
	SE	0.04	0.04	1.03	0.29	
	P	Ref	Ref	Ref	Ref	
Personalidad	R	0.08	0.04	1.86	0.06	
	CEP	Ref	Ref	Ref	Ref	
Sistema Personalidad	SER	-0.04	0.06	-0.72	0.47	

^{ns} $p > 0.05$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; CEP: con enriquecimiento proactivo; SER: sin enriquecimiento reactivo.

5.2.2. Concentración de glucosa en sangre

ANOVA revela que existe diferencias significativas entre los sistemas ($F_{(1,72)}=11.95$; $p<0.001$, Figura 2a), fenotipo de personalidad ($F_{(1,72)}=23.36$; $p<0.001$, Figura 2b) y condición ($F_{(1,72)}=70.99$; $p<0.001$, Figura 2c).

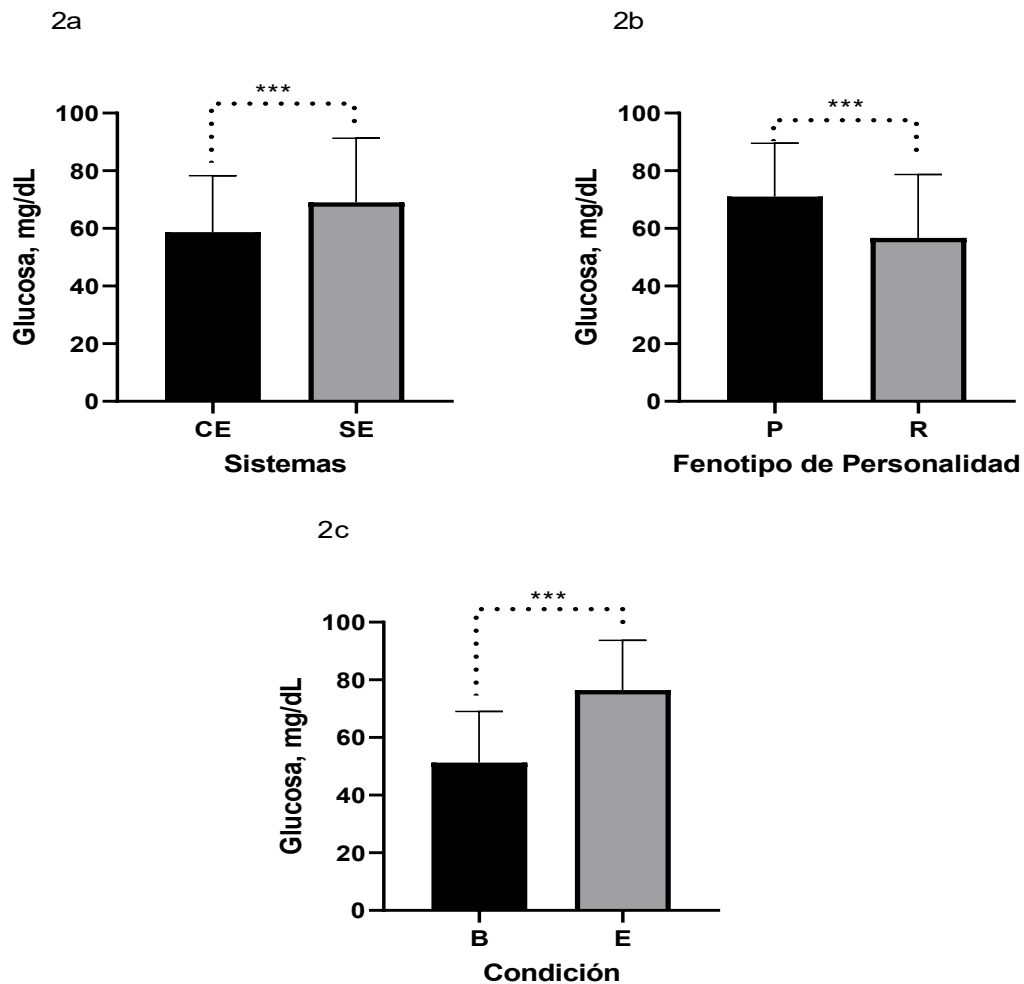


Figura 2. Media \pm desviación estándar de las concentraciones de glucosa en sangre entre sistemas (a), fenotipos de personalidad (b), y condición fisiológica (c). *** $p<0.001$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo; B: basal; E: estresado.

La interacción sistema condición ($F_{(1,72)}=6.94$; $p<0.01$) y fenotipo de personalidad condición ($F_{(1,72)}=14.51$; $p<0.001$), mostraron diferencias significativas. No se observaron diferencias significativas en las interacciones sistema, fenotipo de personalidad y sistema, fenotipo de personalidad, condición ($p>0.05$).

La figura 3 muestra que los niveles de glucosa en sangre en los peces proactivos a nivel basal son superiores a los peces reactivos ($p < 0.05$). Cuando fueron sometidos a estrés no se observan diferencias entre proactivos y reactivos ($p > 0.05$). Ambos fenotipos de comportamiento incrementan sus niveles de glucosa en sangre cuando son sometidos a estrés si se comparan a sus niveles basales ($p < 0.05$).

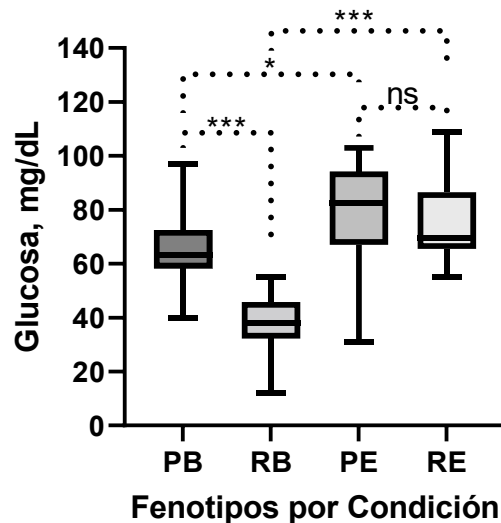


Figura 3. Mediana, máximos y mínimos de las concentraciones de glucosa en sangre de los fenotipos de personalidad por condición fisiológica. $^{ns}p > 0.05$; $^*p < 0.05$; $^{***}p < 0.001$; PB: proactivo basal; RB: reactivo basal; PE: proactivo estresado; RE: reactivo estresado.

5.2.3. Peso final

La prueba de Mann-Whitney indica que no existe diferencias significativas, en el peso final entre los sistemas ($U=132.00$; $p=0.35$), fenotipos de personalidad ($U=135.00$; $p=0.40$). La prueba de Kruskal-Wallis indica que no existen diferencias significativas entre la interacción sistema fenotipo de personalidad ($K-W=1.77$; $p=0.62$).

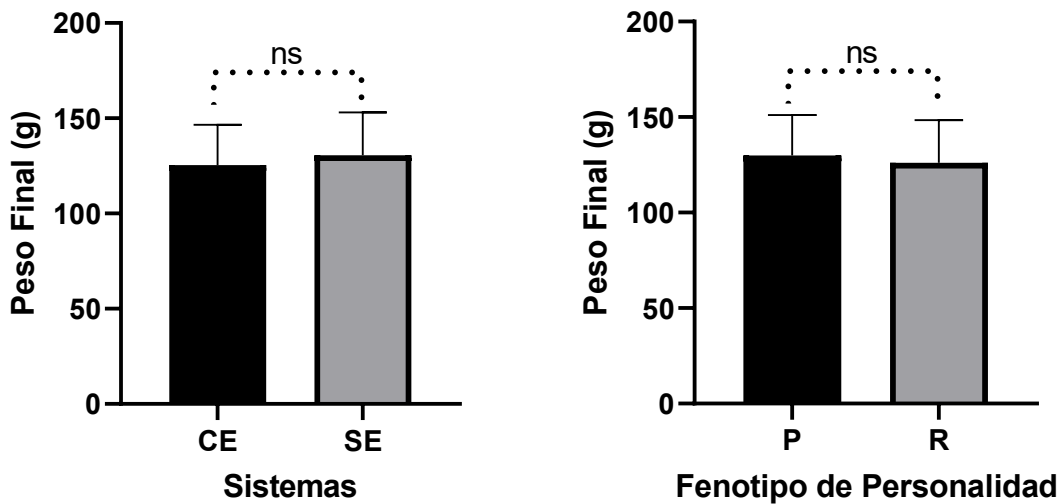


Figura 4. Media \pm desviación estándar del peso final. $^{ns}p>0.05$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo.

5.2.4. Longitud total final

ANOVA revela que no existe diferencias significativas en la longitud total final entre los sistemas ($F_{(1,32)}=2.46$; $p=0.12$), fenotipos de personalidad ($F_{(1,32)}=1.20$; $p=0.27$), y la interacción sistema fenotipo personalidad no mostraron diferencias significativas ($F_{(1,32)}=0.09$; $p=0.75$).

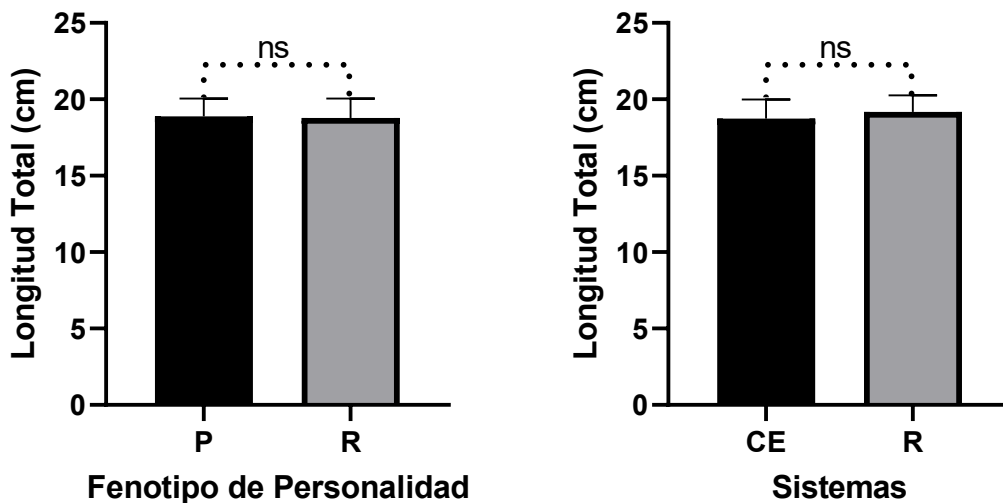


Figura 5. Media \pm desviación estándar de la longitud total final. $^{ns}p>0.05$; CE: con enriquecimiento; SE: sin enriquecimiento; P: proactivo; R: reactivo.

VI. DISCUSIÓN

Los peces mostraron diferencias significativas en el número de transiciones al evaluar entre fenotipos de personalidad, los peces reactivos tuvieron más transiciones durante esta prueba, este resultado es contradictorio, ya que la literatura nos indica que el fenotipo reactivo tiene baja frecuencia exploratoria y menos capacidad de reconocimiento de un área en comparación con los proactivos (Höglund *et al.*, 2008; Laursen *et al.*, 2011). Una posible explicación puede estar relacionada con un comportamiento estereotipado como consecuencia del nuevo entorno ya que mostraron valores elevados de tasa ventilatoria y este incremento en esta variable es utilizada como una respuesta de estrés (Barreto y Volpato, 2011), como consecuencia de una mayor reactividad simpática (Verbbek *et al.*, 2008).

Los peces reactivos se caracterizaron por un incremento significativo en sus tasas ventilatorias durante los primeros cuatro minutos después de una situación estresante, lo que sugiere una mayor sensibilidad y una respuesta más intensa ante estímulos estresantes o situaciones de peligro. Esta reactividad se relaciona directamente con su personalidad, ya que estos individuos tienden a mostrar comportamientos tímidos e inmóviles frente a desafíos, adoptando roles socialmente subordinados (Koolhaas *et al.*, 1999). De acuerdo con Øverli *et al.* (2007) y Castanheira *et al.* (2017), los peces reactivos muestran características fisiológicas y neuroendocrinas, como mayor actividad del eje Hipotalámico-Pituitaria-Interrenal (HPI), medido por los niveles de cortisol; mayor reactividad simpática y menor reactividad parasimpática medida por la velocidad de movimientos de las cubiertas branquiales. En consonancia con estos hallazgos, Barreto y Volpato, (2004) reportaron un aumento en la tasa ventilatoria de la tilapia del Nilo en respuesta al confinamiento y a condiciones estresantes.

Es importante señalar que, si bien la tasa ventilatoria resultó ser un indicador eficaz de la respuesta al estrés entre fenotipos de personalidad animal en esta especie, la magnitud de la respuesta fue menor entre sistemas. En línea con estos resultados investigaciones, como la de Barreto *et al.* (2011), han demostrado que la

complejidad ambiental tiende a disminuir la agresión en varias especies de peces. Sin embargo, este efecto no siempre es consistente en la tilapia (*Oreochromis niloticus*). La efectividad del enriquecimiento ambiental para reducir la agresión en esta especie puede depender significativamente del número de estructuras utilizadas y de la superficie que estas cubren. Este factor cobra especial relevancia en especies territoriales, donde la disponibilidad de espacio y refugio influye directamente en la interacción social

Los peces proactivos mostraron mayores niveles de glucosa que los peces reactivos a nivel basal, esta diferencia puede estar relacionada con mayores niveles de glicemia, producto de una mayor eficiencia alimenticia (Van de Nieuwegiessen *et al.*, 2008). Cuando se someten a estrés no se observaron diferencias entre proactivos y reactivos, sin embargo, los peces proactivos incrementaron su concentración de glucosa en 14 mg/dL mientras que el incremento en los reactivos fue de 36 mg/dL. Este mayor incremento en la respuesta de los peces reactivos puede estar asociado a una alta reactividad del sistema HPI cuando el animal se enfrenta a una situación estresante (Trenzado *et al.*, 2003).

Los peces en el sistema con enriquecimiento ambiental mostraron niveles menores de glucosa, mientras que, en ambientes carentes de enriquecimiento ambiental, los peces tienden a manifestar comportamientos estereotipados, mostrando constantes intentos de fuga e intranquilidad. Sin embargo, estudios como el de Zhang *et al.*, (2021), han demostrado que el enriquecimiento del hábitat reduce significativamente estos fenotipos de comportamiento negativos. En un entorno enriquecido, los peces exhiben una mayor diversidad de actividades, incluyendo la búsqueda de alimento, la exploración y el descanso, además de mostrar un patrón de distribución más homogéneo. Estos hallazgos subrayan la importancia del enriquecimiento ambiental para promover el bienestar y el comportamiento natural en peces en cautiverio. Ayudando a que los peces tengan menos gastos energéticos durante situaciones estresantes y mejora la productividad del sistema obteniendo mayores índices productivos.

En este estudio no se observaron diferencias significativas en la variable de peso y longitud total entre los sistemas, los fenotipos de personalidad ni entre la interacción de los sistemas fenotipos de personalidad, esto indica que los peces ganaron peso de una manera igualitaria, expresando que el tipo de enriquecimiento no hizo diferencia en estas variables. Una posible explicación puede estar relacionada a que los peces mantenían pesos similares al inicio del ensayo como destacaron Omasaki *et al.* (2017), que la uniformidad en la tilapia del Nilo mediante selección trae beneficios económicos al piscicultor, generando menos estrés debido a la menor necesidad de clasificación por tamaño reduciendo así la competencia entre los peces. Otra posible explicación puede ser la uniformidad en la longitud total al inicio del experimento como lo indica Pottinger, (2000), que los peces con varianza baja tienen mayor capacidad de adaptarse y hacer frente a las perturbaciones manteniendo su rendimiento; esto podría identificar animales con menor sensibilidad a factores estresantes, dando como resultado una mayor producción y un mejor bienestar. Por otro lado, Martínez *et al.* (2023), reportaron que diferencias en variables fisiológicas como los niveles de glucosa sanguínea no genera diferencias en variables zootécnicas. Otra posible explicación puede estar relacionada a las condiciones de control del ensayo en donde los animales recibían pocas perturbaciones ambientales que involucraran la necesidad de utilización de refugios.

VII. CONCLUSIONES

- El fenotipo de personalidad reactivo mostró mayor número de transiciones que el fenotipo proactivo y valores menores de concentración de glucosa en sangre a nivel basal. Sin embargo, los peces reactivos mostraron mayor tasa ventilatoria durante los primeros cuatro minutos después de una situación estresante. Ambos fenotipos mostraron valores similares de desempeño zootécnico.
- Los peces en el sistema con enriquecimiento ambiental mostraron menor concentración de glucosa en sangre. Las variables de comportamiento y desempeño zootécnico fueron similares en ambos sistemas.
- La interacción entre el fenotipo de personalidad y el enriquecimiento ambiental demostró tener un impacto significativo en las variables de bienestar animal, variando según las condiciones fisiológicas evaluadas. Los peces en sistema con enriquecimiento mostraron niveles menores de glucosa.

VIII. RECOMENDACIONES

Se sugiere considerar la clasificación temprana de los peces según su fenotipo de personalidad, ya que esta información podría ser utilizada para mejorar estrategias de manejo, reducir el estrés y optimizar el bienestar en sistemas de cultivo.

Implementar la evaluación del ciclo completo de ceba de la tilapia del Nilo, para lograr determinar el impacto de las variables de interés zootécnico evaluadas durante el proyecto de investigación.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Amal, M.N.A., Zamri-saad. (2011). Estreptococosis en tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 34, 195-206.
- ✓ Aplomar, J.A. (2000). Enfermedad infecciosa de la tilapia. B.A. Costa-Pierce, J.E. Rakocy (Eds.), *Tilapia Aquaculture in the Americas*, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. 1, 212-228.
- ✓ Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M.J., Maia, C.M., Saraiva, J.L. (2022). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
- ✓ Arechavala-Lopez, P., Diaz-Gil, C., Saraiva, J.L., Moranta, D., Castanheira, M.F., Nuñez-Velázquez, S., Ledesma-Corvi, S., Mora-Ruiz, M.R., Grau, A. (2019). Effects of structural environmental enrichment on welfare of juvenile seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Reports*, 15, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100224>
- ✓ Arends, R.J., Mancera, J.M., Munoz, J.L., Bonga, S.E.W., Flik, G. (1999). La respuesta al estrés de la dorada (*Sparus aurata* L.) a la exposición al aire y al confinamiento. *J. Endocrinol.* 163, 149-157.
- ✓ Ashley, P.J. (2007). Bienestar de los peces: problemas actuales en la acuicultura. *Aplicación Animación Comportamiento ciencia*. 104, 199-235.
- ✓ Barreto, R.E., Carvalho, G.G.A., Volpato, G.L. (2011). The aggressive behavior of Nile Tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology*, 114(1), 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2010.09.001>
- ✓ Barreto, R.E., Volpato, G.L. (2004). Caution for using ventilatory frequency as an indicator of stress in fish. *Behav. Process.* 66, 43-51.
- ✓ Barton, B.A., Bollig, H., Hauskins, B.L., Jansen, C.R. (2000). Los esturiones pálidos juveniles (*Scaphirhynchus albus*) y los esturiones híbridos pálido x nariz de pala (*Salbus platyrhynchus*) exhiben bajas respuestas fisiológicas al manejo agudo y al confinamiento severo. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 126, 125-134.

- ✓ Barton, B.A., Haukenes, A.H., Parsons, B.G., Reed, J.R. (2003). Respuestas de estrés de cortisol y cloruro en plasma en leucomas juveniles durante los procedimientos de captura, transporte y almacenamiento. *N. Am. J. Aquaculture*, 65, 210-219.
- ✓ Batzina, A., Drossos, I.P., Giannoudaki, K., y Karakatsouli, N. (2014). Effects of size variability on individual growth and feeding behavior of European seabass. *Applied Animal Behaviour Science*, 225, 104963. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104963>
- ✓ Boerrigter, J.G.J., y Verberk, W.C.E.P. (2020). Changes in heat stress tolerance in a freshwater amphipod following starvation: The role of oxygen availability, metabolic rate, heat shock proteins and energy reserves. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 245, 110697. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110697>
- ✓ Braithwaite, V.A., Salvanes, A.G. (2005). Variabilidad ambiental en el El entorno de cría temprana genera bacalao de comportamiento flexible: Implicaciones para la rehabilitación de poblaciones silvestres. *Actas de la Royal Society Serie B: Ciencias biológicas* 272, 1107-1113.
- ✓ Brannas, E., Jonsson, S., Lundqvist, H. (2003). Influencia de la abundancia de alimentos en la estrategia de comportamiento individual y el crecimiento. tasa en juveniles de trucha marrón (*Salmo trutta*). *Can. J. Zool.* 81, 684–691.
- ✓ Calderer, A. (2001). Influencia de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de la Dorada (*Sparus aurata* L.) (Tesis doctoral) Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- ✓ Castanheira, M.F., Conceição, L.E.C., Millot, S., Rey, S., Bégout, M., Damsgård, B., Kristiansen, T., Höglund, E., Øverli, Ø., Martins, C.I.M. (2017). Coping styles in farmed fish: consequences for aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 23-41. <https://doi.org/10.1111/raq.12100>
- ✓ Castanheira, M.F., Herrera, M., Costas, B., Conceicao, L.E. y Martins, C. (2013). Linking cortisol responsiveness and aggressive behaviour in gilthead seabream *Sparus aurata*: indication of divergent coping style. *Applied Animal Behaviour Science*. 143: 75-81 p.

- ✓ Colson, V., Mure, A., Valotaire, C., Le Calvez, J.M., Goardon, L., Labbé, L., Leguen, I., Prunet, P. (2019). A novel emotional and cognitive approach to welfare phenotyping in rainbow trout exposed to poor water quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 210, 103–112.
- ✓ Conte, FS. (2004). El estrés y el bienestar de los peces de cultivo. *Aplicación, Animación, Comportamiento, ciencia*, 6, 205-223.
- ✓ De la Cruz, MB. (2020). Oscurecimiento corporal como indicador de estrés térmico en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) *Revista Internacional de Tecnología Agrícola*.
- ✓ Ellis, T. (2001). ¿Qué es la densidad de población? *Noticias de truchas, CEFAS* 32, 35 – 37.
- ✓ El-Sayed, A.F.M. (2006). *Cultura de tilapia*. CABI Publishing, Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias, Universidad de Alejandría, Egipto.
- ✓ [FAO], Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- ✓ Fox, C., Merali, Z., y Harrison, C. (2006). Therapeutic and protective effect of environmental enrichment against psychogenic and neurogenic stress. *Behavioural Brain Research*, 175(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2006.08.016>.
- ✓ Galhardo, L., Oliveira, RF. (2009). Estrés psicológico y bienestar en los peces. *Revista Anual de Ciencias Biológicas*. 1-20.
- ✓ Gines, R., Palicio, M., Zamorano, M.J., Arguello, A., Lopez, J.L., Afonso, J.M. (2002). La inanición antes del sacrificio como herramienta para mantener los atributos de frescura en la dorada (*Sparus aurata*). *Acuicultura*. En t. 10, 379-389.
- ✓ Grimsrud, K.M., Nielsen, H.M., Navrud, S., y Olesen, I. (2013). Households' willingness-to-pay for improved fish welfare in breeding programs for farmed Atlantic salmon. *Aquaculture*, 372–375, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.009>

- ✓ Höglund, E., Gjøen, H.M., Pottinger, T.G., Øverli, Ø. (2008). Parental stress-coping styles affect the behaviour of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* at early developmental stages. *Journal of Fish Biology* 73: 1764-1769.
- ✓ Huntingford, F.A., Kadri, S., Saraiva, J.L. (2006). Welfare of cage-cultured fish under climate change. Book 462-498.
- ✓ Huntingford, F., Kadri, S., Jobling, M. (2012). Introduction: Aquaculture and behavior. *Aquaculture* 269, 290-298.
- ✓ Iversen, M., Finstad, B., Nilssen, K.J., (1998). Recuperación del estrés de carga y transporte en salmón del Atlántico (*Salmo salar* L.) smolts. *Acuicultura* 168, 387–394.
- ✓ Iwama, G.K. (2007). El bienestar de los peces. *Enfermedades del agua TIC organismos*. 75, 155-158.
- ✓ Jinagool, P., Wipassa, V., Chaiyasing, R., Chukanhom, K., Aengwanich, W. (2024). Effect of increasing ambient temperature on physiological changes, oxidative stress, nitric oxide, total antioxidant power, and mitochondrial activity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn). *Aquaculture*, 589, 741017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741017>
- ✓ Khanjani, M.H., Sharifinia, M., Hajirezaee, S. (2022). Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. *Aquaculture*, 552, 738021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738021>
- ✓ Kleiber, A., Stomp, M., Rouby, M., Ferreira, V.H.B., Bégout, M.L., Benhaïm, D., Labbé, L., Tocqueville, A., Levadoux, M., Calandreau, L., Guesdon, V., Colson, V. (2023). Cognitive enrichment to increase fish welfare in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 575, 739654. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739654>.
- ✓ Koolhaas, J., Korte, S., De Boer, S., Van Der Vegt, B., Van Reenen, G., Hopster, H., De Jong, I., Ruis, M., Blokhuis, H. (1999). Coping styles in animals: current status in behaviour and stress- physiology. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 23: 925-935.
- ✓ Laursen, D.C., Olsén, H.L., Ruiz-Gomez, MdL., Winberg, S., Höglund, E. (2011). Behavioural responses to hypoxia provide a non-invasive method for

distinguishing between stress coping styles in fish. *Applied Animal Behaviour Science* 132: 211-216.

- ✓ Malavasi, S., Georgalas, V., Torricelli, P. (2009). Behavioural indicators of "wildness" as useful tools for restocking: the European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juvenile as study model. *Aquaculture research progress*, 1-5.
- ✓ Martínez-Pita, I., Šegvić-Bubić, T., Manchado, M., Arechavala-Lopez, P., Calado, R., Marchio, E., Gentry, R., Tlustý, M.F., Rhyne, A., Moreno, P., Béjar, J., Alonso, M.C., García-Rosado, E., y Jiménez-Prada, P. (2023). Aquaculture and conservation. In *Coastal Habitat Conservation* (pp. 111–146). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85613-3.00003-7>
- ✓ Martins, C.I.M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J.C., Carter, T., Planellas, S.R., Kristiansen, T. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 17–41.
- ✓ Mellen, J., Sevenich MacPhee, M. (2001). Fisiología de enriquecimiento ambiental: pasado, presente y futuro. *Biología del zoológico* 20, 211-226.
- ✓ Mellor, D. (2016). Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the "Five Freedoms" towards "A Life Worth Living." *Animals*, 6(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ani6030021>.
- ✓ Miller, D.H., Clark, B.W., y Nacci, D.E. (2020). A multidimensional density dependent matrix population model for assessing risk of stressors to fish populations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 110786. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110786>
- ✓ Millot, S., Bégout, M.L., y Chatain, B. (2009). Exploration behaviour and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *Applied Animal Behaviour Science*, 119(1–2), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.03.009>.
- ✓ Mork, O.I., Gulbrandsen, J. (1994). Actividad vertical de 4 especies de salmónidos en respuesta a cambios entre la oscuridad y 2 intensidades de luz. *Acuicultura*. 127, 317-328.

- ✓ Näslund, J., Johnsson, J.I. (2016). Comportamiento dependiente del estado y estrategias conductuales en alevines de trucha marrón (*Salmo trutta* L). *Ecología del comportamiento y sociobiología*, 70, 2111-2125.
- ✓ Näslund, J., Johnsson, J.I. (2014). Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries*, 17(1), 1–30. <https://doi.org/10.1111/faf.12088>.
- ✓ Oca, J., Masaló, I. (2007). Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural Engineering*, 36(1), 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.06.001>
- ✓ Olesen, I., Alfnes, F., Røra, M.B., y Kolstad, K. (2010). Eliciting consumers' willingness to pay for organic and welfare-labelled salmon in a non-hypothetical choice experiment. *Livestock Science*, 127(2–3), 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.001>
- ✓ Olsson, A.S., Dahlborn, K. (2002). Mejora de las condiciones de alojamiento para ratones de laboratorio: una revisión del "enriquecimiento ambiental". *Animales de laboratorio* 36, 243-270.
- ✓ Omasaki, S.K., Janssen, K., Besson, M., Komen H. (2017). Economic values of growth rate, feed intake, feed conversion ratio, mortality and uniformity for Nile tilapia. *Aquaculture*, 481, 124-132.
- ✓ Øverli, Ø., Sørensen, C., Pulman, K.G.T., Pottinger, T.G., Korzan, W., Summers, C.H., Nilsson, G.E. (2007). Evolutionary background for stress-coping styles: Relationships between physiological, behavioral, and cognitive traits in non-mammalian vertebrates. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 31(3), 396–412. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.10.006>
- ✓ Pandit, N., Nakamura, M. (2010). Efecto de las altas temperaturas en la supervivencia, el crecimiento y la alimentación tasa de conversión de la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*. *Nuestro Nat.* 8, 219-224.
- ✓ Peterson, K.J. (2005). Interacción macro evolutiva entre larvas planctónicas y bentónicas. *Depredadores Geología*. 33, 929-932.

- ✓ Pottinger, P.G. (2000). Genetic selection to reduce stress in animals. Moberg, G.P., Mench J.A. (Eds.), *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*, Wallingford, UK, CABI Pub.
- ✓ Pounder, K. C., Mitchell, J. L., Thomson, J. S., Pottinger, T. G., Buckley, J., y Sneddon, L. U. (2016). Does environmental enrichment promote recovery from stress in rainbow trout? *Applied Animal Behaviour Science*, 176, 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.01.009>
- ✓ Reimert, I., Webb, L.E., Van Marwijk, M.A., Bolhuis, J.E. (2023). Review: Towards an integrated concept of animal welfare. *Animal*, 100838.
- ✓ Reinhardt, V. (2004). Variables comunes relacionadas con la cría en estudios biomédicos investigación con animales. *Animales de laboratorio* 38, 213-235.
- ✓ Roy, S.M., Machavaram, R., Moulick, S., y Mukherjee, C.K. (2022). Economic feasibility study of aerators in aquaculture using life cycle costing (LCC) approach. *Journal of Environmental Management*, 302, 114037. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114037>
- ✓ Ruane, N.M., Komen, H. (2003). Medición de cortisol en el agua como indicador del estrés causado por el aumento de la densidad de carga en la carpa común (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 218, 685-693.
- ✓ Salvanes, A.G.V., Moberg, O., Ebbesson, L.O.E., Nilsen, T.O., Jensen, K.H., Braithwaite, V.A. (2013). Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1767), 20131331.
- ✓ Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., y Col. (2012). Salud de los peces de piscifactoría: su relación con el bienestar de los peces y su utilidad como indicador de bienestar. *Fisiología y bioquímica de peces*. 38, 85-105.
- ✓ Silva, M.A., Alvarenga, É.R., Alves, G.F.O., Manduca, L.G., Turra, E.M., Brito, T.S., Sales, S.C.M., Silva Júnior, A.F., Borges, W.J.M., Teixeira, E.A. (2018). Niveles de proteína bruta en dietas para dos etapas de crecimiento de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un sistema biofloc. *Aquac. Res.* 1-11.
- ✓ Silva, P., Martins, C., Engrola, S., Marino, G., Overli, O., y Conceicao. (2010). Individual differences in cortisol levels and behaviour of Senegalese sole

- (*Solea senegalensis*) juveniles: evidence for coping styles. *Applied Animal Behaviour Science*. 124: 75-81.
- ✓ Simpson, J., y Kelly, J. P. (2011). The impact of environmental enrichment in laboratory rats—Behavioural and neurochemical aspects. *Behavioural Brain Research*, 222(1), 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.04.002>
 - ✓ Toni, M., Manciocco, A., Angiulli, E., Alleva, E., Cioni, C., Malavasi, S. (2019). Review: Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives. *Animal*, 13(1), 161–170.
 - ✓ Toni, M., Angiulli, E., Malavasi, S., Alleva, E., Cioni, C. (2017). Variation in environmental parameters in research and aquaculture: effects on behaviour, physiology and cell biology of teleost fish. *Journal of Aquaculture y Marine Biology* 5, 0-137.
 - ✓ Trenzado, C.E., Carrick, T.R., Pottinger, T.G. (2003). Divergence of endocrine and metabolic responses to stress in two rainbow trout lines selected for differing cortisol responsiveness to stress. *General and Comparative Endocrinology* 133: 332-340.
 - ✓ Van de Nieuwegiessen, P.G., Boerlage, A.S., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W. (2008). Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Applied Animal Behaviour Science* 113: 270-275.
 - ✓ Velmurugan, B.K., Chan, C.R. Weng, C.F. (2019). Respuestas inmunitarias innatas de la tilapia (*Oreochromis mossambicus*) exposición al estrés por frío agudo. *J. Cell. Fisiología*. 234: 16125-16135.
 - ✓ Verbeek, P., Iwamoto, T., Murakami, N. (2008). *Variable stress-responsiveness in wild type and domesticated fighting fish*. *Physiology y Behavior* 93: 83-88.
 - ✓ Williams, T.D., Readman, G.D., Owewn, F.S. (2009). Science Direct. Cuestiones claves relacionadas con el enriquecimiento ambiental de las especies de peces en laboratorio. *Lab. Anim.*, 43, 107-120.
 - ✓ Yu, G., Zhang, S., Chen, X., Li, D., Li, W., y Wang, Y. (2024). Numerical investigations on dissolved oxygen field performance of octagonal culture

tank based on computational fluid dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108737. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108737>

- ✓ Young, R.J. (2003). *Environmental Enrichment for Captive Animals* Blackwell. Science Ltd, Oxford.
- ✓ Zhang, Z., Fu, Y., Zhang, Z., Zhang, X., Chen, S. (2021). A Comparative Study on Two Territorial Fishes: The Influence of Physical Enrichment on Aggressive Behavior. *Animals*, 11(7), 1868.