



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
CAMPUS LOMA BONITA

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO
PECUARIO
CAMPUS LOMA BONITA

**EFFECTO DE LAS DIETAS FORMULADAS CON HARINA
DE CHAPULÍN (*Sphenarium purpurascens*) Y
CUCARACHA (*Nauphoeta cinerea*) SOBRE EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LA MOJARRA NEGRA
(*Vieja fenestrata*)**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Producción y Procesamiento Pecuario

PRESENTA:

BERENICE CHAREO BENÍTEZ

DIRECTOR

DR. JOSÉ MANUEL JUÁREZ BARRIENTOS

CODIRECTOR

DR. EMYR SAÚL PEÑA MARÍN

LOMA BONITA, OAXACA, 2024



Universidad del Papaloapan

FECHA:	23 de Octubre de 2024
AREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NUMERO:	UNPA/VAC/342/2024
ASUNTO:	Autorización de Impresión de Tesis.

C. BERENICE CHAREO BENÍTEZ
P R E S E N T E:

Con base en el artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“EFECTO DE LAS DIETAS FORMULADAS CON HARINA DE CHAPULÍN (*Sphenarium purpurascens* Ch.) Y CUCARACHA (*Nauphoeta cinerea*) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LA MOJARRA NEGRA (*Vieja fenestrata*)”**, así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. José Manuel Juárez Barrientos.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú


M.C HÉCTOR LOPEZ ARJONA
Vice-rector Académico.



C.c.p. Dr. José Manuel Juárez Barrientos.- Director de tesis.
C.c.p. Dr. José Abad Zavalta.- Jefe de División de Estudios de Posgrado
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández.- Coordinador de la Maestría en
Producción y Procesamiento Pecuario
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Archivo.

OAXACA



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP/2024/521
ASUNTO	Jurado para examen de grado

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 11 de octubre de 2024

C. BERENICE CHAREO BENÍTEZ
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

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

Profesor Investigador	Jurado de Examen
Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez	Presidente
Dr. Marco Antonio Anzueto Sánchez	Secretario
Dr. José Manuel Juárez Barrientos	Vocal
Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez	Primer Suplente
Dr. Emyr Saul Peña Marin	Segundo Suplente

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente

terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama:chi i:ju

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



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



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

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme a lo largo de este camino y permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, Ofelia Benítez Conde y Daniel Nape Xolo, por el apoyo que me brindaron y aún más, por su amor incondicional. A mis hermanas y hermano, los amo con todo mi corazón.

A Miqueas Chareo Zetina por todo el apoyo que me brindó.

Agradezco sinceramente a Luis Felipe, quien ha sido un amigo incondicional a lo largo de este recorrido, brindándome apoyo, consejos y ánimo, y nunca dejándome sola. Mi más profundo agradecimiento, Luis Felipe.

A mi director de tesis, el Dr. José Manuel Juárez Barrientos, le expreso mi gratitud por compartir su vasto conocimiento, por enseñarme a ser una estudiante responsable, puntual y paciente, así como por ayudarme a gestionar mis emociones de manera más efectiva. Aprecio su asesoría y orientación constante durante la realización de este trabajo. Gracias por sus consejos como profesor, director y amigo.

A mi "papá académico", el Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez, por sus valiosos consejos, palabras de apoyo y aliento, así como por brindarme todo lo necesario para mi desarrollo académico.

Al Dr. Emyr Saúl Peña Marín por su valiosa contribución como codirector, revisor y consejero. Aprecio su hospitalidad al recibirme en el Instituto de Investigaciones Oceanográficas (IIO) y por brindarme la oportunidad de colaborar con él y su destacado equipo en el Laboratorio de Nutrición y Fisiología.

Agradezco a mis amigos por acompañarme en esta aventura. En particular, agradezco a Guillermo por su paciencia y cariño desde el primer día. A Julio, Javier y Rafael, les agradezco por incluirme en el grupo. Finalmente, mi gratitud a Heriberto y Arturo por su lealtad y apoyo continuo a lo largo del tiempo.

DEDICATORIA

A Ofelia Benítez Conde, la mujer más fuerte que he conocido y a Titi, Selim Leyla y Sebastián, quienes me han dado todo su amor sincero en forma de ronroneo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Panorama actual de la acuicultura	3
2.1.1. Panorama Mundial	3
2.1.2. Panorama Nacional	3
2.1.3. Panorama Estatal	3
2.2. Especies de importancia acuícola en México	4
2.2.1. Especies de importancia comercial en el trópico	5
2.2.1.1. Especies exóticas	5
2.2.1.2. Especies nativas	6
2.2.1.3. Mojarra negra (<i>Vieja fenestrata</i>)	8
2.3. Parámetros productivos	8
2.4. Mejoramiento genético en acuicultura	10
2.5. Sanidad en acuicultura	10
2.6. Nutrición en acuicultura	11
2.6.1. Alimentación	11
2.6.1.1. Alimento vivo	11
2.6.1.2. Alimento inerte	13
2.6.1.3. Requerimientos nutricionales	13
2.6.2. Fuentes convencionales de alimentación	17
2.6.2.1. Harina de pescado	18
2.6.3. Fuentes alternativas de alimentación	18
2.6.3.1. Fuentes de origen vegetal	19
2.6.3.2. Fuentes de origen animal	20
2.6.4. Fuentes no convencionales	21
2.6.4.1. Características de los insectos y su importancia	22

2.6.4.2.	Harina de insectos	22
3.	ANTECEDENTES	24
4.	HIPÓTESIS	26
5.	OBJETIVOS	27
5.1.	Objetivo general	27
5.2.	Objetivos específicos	27
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	28
6.1.	Ubicación del experimento	28
6.2.	Materias primas	28
6.3.	Obtención de las harinas	28
6.4.	Caracterización de las harinas	28
6.4.1.	Análisis químico proximal.	28
6.4.1.1.	Determinación de humedad.	29
6.4.1.2.	Determinación de cenizas.	29
6.4.1.3.	Determinación de lípidos.	29
6.4.1.4.	Determinación de proteínas.	30
6.4.2.	Determinación de perfil de ácidos grasos.	31
6.5.	Diseño y obtención de dietas experimentales	32
6.6.	Caracterización de las dietas experimentales	32
6.6.1.	Análisis químico proximal.	32
6.6.1.1.	Determinación de humedad.	33
6.6.1.2.	Determinación de cenizas.	33
6.6.1.3.	Determinación de lípidos.	34
6.6.1.4.	Determinación de proteínas.	35
6.6.2.	Determinación de perfil de ácidos grasos.	36
6.7.	Evaluación de dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>).	36
6.7.1.	Peces.	36
6.7.2.	Diseño experimental.	36
6.7.3.	Alimentación y evaluación de crecimiento.	37
6.7.4.	Supervivencia.	38
6.7.5.	Análisis estadístico.	38
7.	RESULTADOS	39
7.1.	Caracterización de las harinas	39
7.1.1.	Análisis químico proximal	39

7.1.2.	Determinación del Perfil de ácidos grasos	39
7.2.	Caracterización de las dietas experimentales	42
7.2.1.	Análisis Químico Proximal.	42
7.2.2.	Determinación del Perfil de ácidos grasos	42
7.3.	Evaluación de las dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>)	47
8.	DISCUSIÓN	49
8.1.	Caracterización de las harinas	49
8.1.1.	Análisis químico proximal y perfil de ácidos grasos	49
8.2.	Caracterización de las dietas experimentales	55
8.2.1.	Análisis Químico Proximal y perfil de ácidos grasos	55
8.3.	Evaluación de las dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>)	60
9.	CONCLUSIÓN	69
10.	LITERATURA CITADA	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de las dietas experimentales (g/Kg) con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (<i>S. purpurascens</i>) y cucaracha (<i>N. cinerea</i>) para la alimentación de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>).....	33
Tabla 2. Composición química proximal de insumos utilizados en formulación de dietas experimentales con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (<i>S. purpurascens</i>) y cucaracha (<i>N. cinerea</i>) para la alimentación de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>).	40
Tabla 3. Perfil de ácidos grasos (%) (media \pm Desv. Std.) de harinas utilizadas para dietas experimentales.	41
Tabla 4. Composición química proximal (media \pm Desv. Std.) de dietas experimentales utilizadas para la alimentación de la mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>).	42
Tabla 5. Porcentaje de ácidos grasos totales (media \pm Desv. Std.) de dietas experimentales con inclusión de harina de insecto para juveniles de <i>V. fenestrata</i> . Ácido linoleico (18:2n-6), ácido α -linolénico (18:3n-3), ácido araquidónico, ARA (20:4n-6), ácido eicosapentaenoico, EPA (20:5n-3), y ácido docosahexaenoico, DHA (22:6n-3).	44
Tabla 6. Crecimiento e índices productivos de juveniles de mojarra negra (<i>V. fenestrata</i>) alimentados durante 30 días con dietas experimentales con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (<i>S. purpurascens</i>) y cucaracha (<i>N. cinerea</i>). Promedio \pm Desv. Std.	48

RESUMEN

Las dietas acuícolas contienen hasta un 53% de proteína derivada de harina de pescado, por lo que su uso genera una gran dependencia de la pesca, además de que es un recurso muy demandado por diversas industrias agropecuarias, lo que la convierte en un insumo costoso y cada vez más escaso. El chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens* Ch) y la cucaracha común (*Nauphoeta cinerea*) representan una fuente natural y renovable de nutrientes, principalmente proteínas para la producción de alimentos con una elevada calidad nutricional, además de presentar un bajo requerimiento de espacio, agua y una alimentación de bajo costo para su cultivo. El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis químico proximal de las harinas de insectos, con el fin de formular seis dietas experimentales a partir de una mezcla (50:50) de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*), sustituyendo la harina de pescado en niveles de proteína del 0, 5, 10, 25, 50 y 100% (D0, D10, D25, D50 y D100). Se evaluaron la composición química proximal y el perfil de ácidos grasos de las materias primas y las dietas formuladas. Además, se registraron el peso inicial, el peso final y la longitud total de los juveniles de mojarra negra (*Vieja fenestrata*) para estimar la biomasa ganada, la tasa específica de crecimiento, la ganancia en peso porcentual, la tasa de conversión alimenticia y la supervivencia final. Los resultados del análisis químico proximal de las harinas revelaron porcentajes más altos de proteína en la harina de pescado, mientras que el perfil de ácidos grasos mostró una mayor proporción de PUFA en la harina de chapulín. Sin embargo, se registró la ausencia de LC-PUFA (ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga) que incluyen al DHA, EPA y ARA en ambas harinas de insectos. Las dietas experimentales mostraron un porcentaje del 42 % de proteína y un 8 % de lípidos. El perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales registró una tendencia al incremento de los porcentajes de MUFA y PUFA conforme aumento el nivel de sustitución, registrando el valor más alto en la D50, seguida por la D25. Sin embargo, se observó un efecto contrario en la proporción de DHA presente en las dietas. En cuanto a los parámetros de crecimiento no se observaron diferencias significativas en el peso final entre la D0 y la D50, mientras que la longitud total presentó los valores más altos en la D0. La

biomasa ganada, tasa de crecimiento específica, ganancia de peso porcentual y tasa de eficiencia proteica registraron los valores significativamente más altos en la D0 y la D50, así como los valores más bajos para la tasa de conversión alimenticia. En lo que respecta al porcentaje de supervivencia, no se registraron diferencias significativas entre las dietas experimentales. Los resultados obtenidos en este estudio indican que se puede sustituir hasta un 50 % la harina de pescado por una mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) sin afectar los índices de crecimiento, así como el porcentaje de supervivencia, sin embargo, la sustitución total de harina de pescado por la mezcla de insectos, muestra un efecto negativo en crecimiento, posiblemente asociado a la deficiencia de ácidos grasos altamente polinsaturados como ARA, EPA y DHA, así como la alta cantidad de quitina indigestible para *V. fenestrata*.

Palabras clave: Mojarra negra, chapulín de la milpa, cucaracha común, proteína, análisis químico, ácidos grasos, crecimiento.

ABSTRACT

Aquaculture diets contain up to 53% protein derived from fishmeal, which creates a significant dependence on fishing, turning it into a resource highly demanded by various agricultural industries, which result in a costly and increasingly scarce input. The milpa grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) and the common cockroach (*Nauphoeta cinerea*) represent a natural and renewable source of nutrients, primarily protein, for producing food with high nutritional quality, while requiring low space, water, and low-cost feed for cultivation. The objective of this study was to conduct a proximate chemical analysis of insect meals in order to formulate six experimental diets based on a 50:50 mixture of grasshopper (*S. purpurascens*) and cockroach (*N. cinerea*) meal, substituting fishmeal at protein levels of 0, 5, 10, 25, 50, and 100% (D0, D10, D25, D50, and D100). The proximate chemical composition and fatty acid profile of the raw materials and formulated diets were evaluated. Additionally, the initial weight, final weight, and total length of blackstripe cichlid juveniles (*Vieja fenestrata*) were recorded to estimate gained biomass, specific growth rate, percentage weight gain, feed conversion ratio, protein efficiency ratio and final survival rate. The results of the proximate chemical analysis of the meals revealed higher protein percentages in fishmeal, while the fatty acid profile showed a greater proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) in grasshopper meal. However, both insect meals were found to lack long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFAs), including DHA, EPA, and ARA. The experimental diets contained 42% protein and 8% lipids. The fatty acid profile of the experimental diets exhibited a trend towards increased percentages of monounsaturated fatty acids (MUFAs) and PUFAs as the substitution level increased, with the highest value observed in D50, followed by D25. However, an opposite effect was noted in the proportion of DHA present in the diets. Regarding growth parameters, no significant differences were observed in final weight between D0 and D50, while total length was highest in D0. Gained Biomass, specific growth rate, percentage weight gain, and protein efficiency ratio recorded significantly higher values in D0 and D50, while the feed conversion ratio was the lowest. Concerning final survival percentage, no significant differences were observed among experimental diets. The results of this study indicate that up

to 50 % of fish meal can be replaced by a mixture of grasshopper (*S. purpurascens*) and cockroach (*N. cinerea*) meal without affecting growth indices or final survival percentage. However, total substitution of fishmeal with insect mixture shows a negative effect on growth, possibly associated with the deficiency of highly polyunsaturated fatty acids such as ARA, EPA, and DHA, as well as the high amount of indigestible chitin for *V. fenestrata*.

Keywords: Blackstripe cichlid, grasshopper, common cockroach, substitution, chemical analysis, fatty acids, growth.

1. INTRODUCCIÓN

En la acuicultura, uno de los factores que más influye en el rendimiento de los peces bajo cultivo es la alimentación, por lo tanto, las dietas formuladas son esenciales para que los peces cultivados logren un crecimiento, salud y reproducción óptimos. Las dietas formuladas comercialmente para peces contienen entre 32 y 45 % de proteína (Miles y Chapman, 2006) que proviene principalmente de la harina de pescado (Mendoza *et al.*, 1998; Tacon *et al.*, 2006; Bimbo, 2012; Boyd y McNevin, 2015; Hua *et al.*, 2019), considerada una materia prima que contiene un perfil de aminoácidos y ácidos grasos esenciales óptimo, por lo cual pocos ingredientes pueden igualar su importancia nutricional para la acuicultura (Hasan, 2001; Turchini *et al.*, 2019). Sin embargo, esta harina presenta desventajas debido a que los peces que se usan para producirla proceden de pesquerías, lo que genera una alta dependencia de la acuicultura hacia la pesca (Naylor *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2020), y por ende la competencia que se genera por el mismo insumo debido a la demanda elevada de dicha harina por otras actividades pecuarias, donde la harina de pescado es la base en dietas para aves, cerdos y rumiantes, provoca una competencia resulta en un incremento de precios en todo el mundo (Boyd, 2015).

Debido a lo anterior, se han desarrollado estudios para encontrar alternativas para el desarrollo de harinas con alto contenido nutricional (proteínas de alto valor biológico y ácidos grasos), destacando el uso de recursos de origen vegetal, desechos de origen animal y actualmente insectos como es el caso del chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens* Ch) y es considerado una plaga que afecta diversos cultivos agrícolas e incluso plantas silvestres en el estado de Oaxaca. El chapulín es un insecto sin alas, que completa una generación por año. El desarrollo de este insecto hemimetábolo consta de una etapa como huevo, cinco etapas como ninfa y una etapa final de adulto (Cerritos *et al.*, 2014). Otro insecto relevante es la cucaracha langosta, cucaracha gris o cucaracha común (*Nauphoeta cinerea*) que es vista como una plaga doméstica que tiene una elevada eficiencia para reproducirse y se alimentan prácticamente de cualquier material.

Por lo tanto, la factibilidad del uso de los insectos mencionados (*S. purpurascens* y *N. cinerea*) se basa en que representan una fuente natural y renovable de nutrientes, principalmente proteínas para la producción de alimentos con una elevada calidad nutricional ya que los insectos tienen un perfil de aminoácidos comparable con la harina de pescado, además, presenta un bajo requerimiento de espacio y agua y una alimentación de bajo costo (Carvajal-Soriano, 2022). Debido a lo anterior, es de gran importancia el estudio de alternativas para el desarrollo de harinas con alto contenido proteico, destacando el uso del chapulín (*S. purpurascens*) y la cucaracha (*N. cinerea*) para establecer su potencial como sustituto parcial o completo de la harina de pescado en las dietas acuícolas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Panorama actual de la acuicultura

Actualmente, la acuicultura contribuye con un 49 % de la producción total de organismos acuáticos, esto con un valor aproximado de 88 millones de toneladas, estimadas en un valor de primera venta de 265,000 millones de USD (FAO, 2022).

2.1.1. Panorama Mundial

La producción acuícola mundial de especies animales creció un 2.7 % en 2020 en comparación con 2019, el ritmo más bajo de crecimiento anual en más de 40 años. Sin embargo, el incremento neto de 2.3 millones de toneladas en el mismo período fue comparable al de algunos años del pasado decenio. El cultivo de peces de aleta se mantuvo estable con fluctuaciones mínimas, alrededor del 66 %, y representó el mayor porcentaje de la acuicultura mundial en decenios. En 2020 los peces de aleta cultivados alcanzaron los 57.5 millones de toneladas (146,100 millones de USD), que incluían 49.1 millones de toneladas (109, 800 millones de USD) procedentes de la acuicultura continental y 8.3 millones de toneladas (36, 200 millones de USD) del cultivo marino y la acuicultura costera (FAO, 2022).

2.1.2. Panorama Nacional

Por otra parte, el valor de la producción acuícola nacional en el año 2021 fue de 19,333,000 pesos con un volumen de 289,362 toneladas, donde las especies de mayor producción fueron: camarón con 214,546 toneladas con un valor de 15,330,018 pesos, la mojarra con 96,977 toneladas alcanzó un valor de 2,588,106 pesos y el ostión con 15,602 toneladas obtuvo un valor de 141,809 pesos. La producción nacional generada por las pesquerías derivadas de la acuicultura presentó en el 2021 un volumen de 346, 419 toneladas (peso vivo) con un valor de 19,333,000 pesos (CONAPESCA, 2020).

2.1.3. Panorama Estatal

El estado de Oaxaca se ubica en el lugar número 15 en producción a nivel nacional. El valor de la producción acuícola en el estado de Oaxaca para el año 2021 fue de

24,848 pesos con un volumen de 490 toneladas en peso vivo, donde las especies de mayor producción fueron: mojarra con 389 toneladas con un valor de 15,091 miles de pesos, la trucha con 60 toneladas alcanzó un valor de 5,607 miles de pesos y el camarón con 42 toneladas obtuvo un valor de 4,151 miles de pesos (CONAPESCA, 2020).

2.2. Especies de importancia acuícola en México

El potencial de la acuicultura en México es progresivo, ya que existen las condiciones necesarias tanto para generar empleos como para explotar comercialmente las diferentes especies de cultivo en un contexto de creciente demanda prevista para las siguientes décadas. Algunas de las clases cultivadas en nuestro país son: peces, cultivo que se concentra generalmente en estados del centro del país; crustáceos, se practica principalmente en los litorales del noroeste de la república; y moluscos, se desarrolla fundamentalmente en las costas de Baja California (SIAP, 2017).

De acuerdo con la Carta Nacional Acuícola (DOF, 2021) todas las especies acuícolas de importancia comercial en México incluyendo peces, crustáceos y moluscos se presentan a continuación:

Abulón rojo (*Haliotis rufescens*), atún aleta azul (*Thunnus orientalis*), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), mejillón mediterráneo (*Mytilus galloprovincialis*), carpa común (*Cyprinus carpio*), ostión japonés (*Crassostrea gigas*), tilapia herbívora (*Tilapia rendalli*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), tilapia Stirling (*Oreochromis niloticus* Var. Stirling), tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* Var. Rocky Mountain), tilapia azul (*Oreochromis aureus*), tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), tilapia mojarra (*Oreochromis urolepis*), y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Dentro del país, a producción acuícola en México se lleva a cabo en 23 de los 32 estados, siendo los principales productores: Morelos, Nayarit, Jalisco, Veracruz y Yucatán; donde Morelos se erige como el más importante al producir alrededor de 30 millones de peces anualmente repartidos en 62 especies diferentes de los cuales el 70% de la producción total es destinada a la exportación. (SADER,

2022). Los Estados con mayores cifras de cosecha preliminares del 2023, fueron Sinaloa (más de 97 mil toneladas), Sonora (más de 85 mil), Chiapas (más de 11 mil), Baja California (más de 9 mil), Nayarit (más de 8 mil), Colima (más de 6 mil), Baja California Sur (más de 4 mil 800 toneladas), Tabasco (más de 4 mil), Veracruz (más de mil 900), Jalisco (más de mil 800), Yucatán (más de mil 200 toneladas), Michoacán (más de mil 100), Tamaulipas (más de 700), Campeche (más de 500 toneladas). (CONAPESCA, 2023).

2.2.1. Especies de importancia comercial en el trópico

La práctica de la acuicultura en México se realiza comúnmente con algunas especies dulceacuícolas, las cuales son introducidas en la región para su producción, con tecnología desarrollada en otros países. México se destaca por el desarrollo de cultivos de especies exóticas más que de especies nativas (FAO, 2011), de las cuales la mayoría son de tipo dulceacuícola. La Carta Nacional Acuícola (DOF, 2013) estableció que, de 34 especies registradas de peces de agua dulce, 28 son especies introducidas y seis de ellas son nativas.

2.2.1.1. Especies exóticas

Dentro de las especies introducidas de mayor importancia acuícola y comercial en México, destacan el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), nativo de los Estados Unidos de América, Canadá y noroeste de México, el nivel de dominio de biotecnología para el desarrollo del cultivo es completo, de tal manera que se cultiva en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas.

La carpa común (*Cyprinus carpio*) proveniente de Asia, en México es cultivada en los estados de Aguascalientes, Chiapas, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas, en cuanto al nivel de dominio de biotecnología para su cultivo es completa.

En cuanto al género *Oreochromis* destacan la tilapia herbívora (*Tilapia rendalli*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), tilapia Stirling (*Oreochromis niloticus* Var. Stirling), tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* Var. Rocky Mountain), tilapia azul (*Oreochromis aureus*), tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), y tilapia mojarra (*Oreochromis urolepis*) las cuales son nativas de África e introducidas en México, sin embargo, a diferencia de las especies anteriores, esta presenta limitantes en cuanto a la biotecnología para el abastecimiento de reproductores con calidad genética y sanitaria. A pesar de esta limitante, la tilapia es una de las especies más producidas de tal manera que es cultivada en los estados de Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Ciudad de México, Coahuila, Colima, Estado de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas

Otra especie de importancia es la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), proveniente de la Costa Este del Océano Pacífico en Alaska, esta especie al igual que la tilapia presenta limitantes en cuanto a la biotecnología para el abastecimiento de reproductores para mejoramiento genético y biotecnología aplicada para la producción de huevo todo el año, a pesar de esto, es una especie de gran importancia en México y es producida en los estados de Baja California, Chihuahua, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz (DOF, 2021).

2.2.1.2. Especies nativas

En México, el desarrollo de la acuicultura se ha apoyado en métodos y técnicas de cultivo que fueron diseñadas para especies exóticas; estas condiciones favorecieron la introducción de varias especies como: la carpa, la tilapia, el bagre y la trucha (Rojas y Mendoza, 2000), sin embargo, en los últimos años, varios grupos de investigación han reforzado los estudios encaminados al cultivo de peces nativos (Flores-Nava y Brown, 2010) debido a que estas especies presentan una amplia aceptación en el mercado, en el aspecto de investigación científica y tecnológica se

han estudiado por diversas razones como, su elevada capacidad reproductiva, su alta tolerancia ante cambios ambientales, sus tasas elevadas de crecimiento e incluso una alta proporción de carne para su consumo (Martínez-Palacios y Ross, 1994).

En este sentido alguna de las especies nativas de importancia comercial son la tenguayaca (*Petenia splendida*) que es un pez dulceacuícola que pertenece a uno de los géneros autóctonos de cíclidos más importante de México, se distribuye desde el sureste de México (Tabasco, Chiapas, Campeche y Quintana Roo) hasta Centroamérica, teniendo una gran aceptación en el mercado regional (Reséndez y Salvadores, 1983).

Por otra parte, está la castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), su distribución abarca desde el sureste de México, en la porción media del estado de Veracruz, norte de Oaxaca, Tabasco, Campeche, Yucatán, ríos de Quintana Roo, hasta Centro América en Belice, Guatemala, Honduras y Nicaragua (Martínez-Palacios, 1987).

El pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) originario del sureste de México (Dávila-Camacho, 2019), es un pez que habita en ríos y lagunas del estado de Tabasco, alcanza un tamaño máximo de dos metros; ha sufrido de la pesca comercial y deportiva debido a su excelente carne y tamaño. Su carne es apreciada y consumida en el estado, donde el comercio de alimentos para el turismo tiene una demanda permanente (Zacarías, 2003).

El pescado blanco (*Chirostoma estor estor*) es el pescado blanco endémico del lago de Pátzcuaro, Michoacán, *C. promelas* del lago de Chapala, Jalisco y *C. humboldtianum* de Xochimilco (DOF, 2012). El pescado blanco es la especie localmente más popular por sus características de sabor y talla, lo que ha propiciado una gran demanda poniéndolo en peligro. Dada la gran demanda y potencial comercial de este recurso, los pescadores capturan peces de todas las tallas y en todos los estadios del ciclo biológico (Carta Nacional Pesquera, 2002). Por lo anterior, se ha desarrollado acuicultura experimental y piloto, donde se ha logrado la reproducción y producción de larvas y alevines (Rojas-Carrillo 2013).

Por otra parte, el género *Vieja* está compuesto por cíclidos que se encuentran en las vertientes del Atlántico-Golfo de México y el Pacífico de América del Norte desde el sursureste de México hasta Panamá en Centroamérica (Kullander, 2003). Dentro de este género se encuentran la *Vieja bifasciata*, *Vieja sysnpila* y *Vieja fenestrata*.

2.2.1.3. Mojarra negra (*Vieja fenestrata*)

El morro colorado o mojarra negra (*V. fenestrata*) es un pez perteneciente a la familia Cichlidae. Habita entre los estados de Oaxaca y Veracruz en ecosistemas acuáticos como arroyos, ríos, lagunas, lagos, estuarios salobres, incluso agua marina, agua clara a teñida con taninos o lodosa; corriente nula, lenta a moderada, ocasionalmente veloz; múltiples sustratos como lodo, arena, pizarra, roca, algas, hojarasca, troncos, roca madre; sin vegetación o rala, de algas, raíces de árboles y en profundidades de hasta 1.5 metros (Fishbase, 2019).

En el sureste del país, particularmente en la región del Papaloapan, el morro colorado (*V. fenestrata*) es un pez nativo muy apreciado culturalmente por su sabor y su atractivo estético debido a su color llamativo, tamaño y textura. Por lo anterior, esta especie representa una oportunidad de diversificación para el interés acuícola local, ya que las especies nativas han sido poco exploradas desde una perspectiva de producción. Su valor para el comercio local se debe a su presencia en la región, su relativa abundancia y aprovechamiento como recurso pesquero (Gaspar-Dillanés & Hernández-Montaña, 2013).

2.3. Parámetros productivos

Con el rápido crecimiento de la población y el aumento de la prosperidad en el mundo, producir una cantidad suficiente de productos alimenticios de origen animal se ha convertido en un desafío crítico al que se enfrenta la humanidad. Hoy en día, la tierra cultivable se ha utilizado casi por completo y la pesca de captura no puede proporcionar un rendimiento suficiente. Dentro del sector productor de alimentos, la acuicultura es, a nivel mundial, el de más rápido crecimiento, mostrando un aumento anual del 5.3 % entre 2001 y 2018 (FAO, 2020). Sin embargo, todavía hay algunos cuellos de botella severos en el desarrollo de la acuicultura; como lo son el

crecimiento insuficiente, la precocidad sexual, la amplia incidencia de enfermedades, la calidad del alimento; que se observan comúnmente en la mayoría de los animales acuáticos de granja, también obstaculizan significativamente el desarrollo sostenible de la acuicultura y su crecimiento (Du *et al.*, 2021). Es por esto que para producir organismos cultivados sanos, nutritivos y resilientes, es importante contar con medidas eficaces en materia de bioseguridad, mejores prácticas, genética adecuada y nutrición de calidad (FAO, 2020).

La evaluación del crecimiento de los peces se realiza a partir del peso húmedo y longitud total, mismos que se obtienen a partir de biometrías para posteriormente analizar índices de crecimiento y supervivencia de los peces. Los índices más utilizados para medir el crecimiento son: biomasa ganada (BG) y se define como el número de gramos o kilogramos producidos por unidad de tiempo de cada tratamiento. Por otra parte, el factor de conversión alimenticia (TCA) es un parámetro fundamental para evaluar la eficacia del alimento suministrado y de la frecuencia de alimentación, pues permite conocer la cantidad de alimento proporcionado con base seca, para producir un kilogramo de biomasa. Mientras más cercano al valor de 1, es más eficiente la conversión alimenticia de los peces (Pachacama y Miguel, 2015). Otro índice relevante es la tasa de crecimiento específica (TCE) que es la diferencia entre el logaritmo natural del peso final y el logaritmo natural de peso inicial, dividido por el periodo de cultivo y multiplicado por 100 para ser expresado en porcentaje. Finalmente, la ganancia de peso porcentual (GP%) que indica el porcentaje de peso ganado al final del experimento. Además del registro de los parámetros de crecimiento, es relevante tener un registro de los datos de consumo de alimento, lo cual es útil para conocer la calidad del alimento suministrado mediante el cálculo de índices como el consumo de alimento diario (CDA) que representa la cantidad de proteína consumida diariamente por pez (López-González, 2009) y la eficiencia alimentaria (EA). Finalmente, el factor de condición es uno de los parámetros más importantes en la acuicultura, ya que indica el estado nutricional de los organismos con base en la cantidad de energía disponible para poder realizar las funciones de crecimiento, madurez y

reproducción, que indica de manera general el estado de salud de las poblaciones cultivadas (Cifuentes *et al.*, 2012; Gupta *et al.*, 2012; Leyton *et al.*, 2015).

Desde esta perspectiva, se pone de manifiesto que el fundamento de todo el proceso de cultivo reside en conocer en detalle tanto las necesidades de las diferentes especies, como la mejor forma de cubrirlas mediante programas adecuados de conocimientos sobre genética y reproducción, alimentación y patología, mismos que van orientados a mejorar las condiciones de cultivo y la utilización de los nutrientes como la base animal necesaria para la transformación energética, tanto en número como en aptitud productiva (Ramírez, 2013).

2.4. Mejoramiento genético en acuicultura

El mejoramiento genético de las especies cultivadas representa un medio eficaz para aumentar la eficiencia de la producción acuícola (Houston *et al.*, 2020). Las especies acuícolas de diversos taxones tienden a compartir dos características clave: elevados niveles de diversidad intraespecífica y alto grado de fecundidad. Estas características hacen posible la aplicación de altas intensidades de selección que generan grandes ganancias genéticas para los rasgos comercialmente importantes (FAO, 2019), por lo tanto, acelerar el desarrollo y la adopción del mejoramiento genético de los cultivos en acuicultura, centrándose en la cría selectiva, es una de las áreas prioritarias para obtener mejoras en el rendimiento del crecimiento y características como la resistencia a enfermedades (Gjedrem y Rye, 2018).

2.5. Sanidad en acuicultura

La sanidad es otra de las áreas importantes en la actividad acuícola, debido a que las enfermedades generan pérdidas económicas a los productores de peces debido a las mortalidades masivas en la explotación en las fases de cría y alevinaje. Es por dicho motivo que, dentro de la tecnología de cultivo, la sanidad acuícola ocupa un lugar preponderante debido a la necesidad que existe de poner en práctica los procedimientos de prevención y control de las enfermedades que potencialmente limitan la producción (Balbuena *et al.*, 2011).

2.6. Nutrición en acuicultura

Por otra parte, los factores nutricionales son vitales para el éxito comercial de la acuicultura. Se debe ofrecer un alimento balanceado nutricional y adecuado para obtener el máximo crecimiento de los peces cultivados (Rowland *et al.*, 2005). La crianza en cautiverio es posible solo si los animales reciben los requerimientos nutricionales y la gestión efectiva del hábitat y una evaluación nutricional adecuada (Ofstedal y Allen, 1996). Por consiguiente, la alimentación es uno de los aspectos más críticos de la crianza en cautiverio de cualquier especie, ya que la mala condición de los animales en cautiverio generalmente está relacionada con dietas inadecuadas (Donoghue, 2006).

2.6.1. Alimentación

Uno de los grandes retos de la industria acuícola es buscar el alimento adecuado que cubra los requerimientos nutricionales esenciales para mantener el metabolismo y a la vez favorezca el crecimiento de los organismos cultivados (Halver y Hardy, 2002), procurando el abastecimiento comercial de las especies para el consumo humano.

Por lo tanto, la determinación de los requerimientos nutricionales en peces va dirigida hacia la evaluación de la cantidad y calidad de proteína, lípidos, carbohidratos, energía y vitaminas disponibles en las dietas, las cuales benefician el crecimiento, reproducción y mantenimiento fisiológico de los organismos (Gutiérrez *et al.*, 1996). Por lo anterior, los ingredientes que se seleccionen deben contener niveles adecuados de proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos grasos, con el fin de que garanticen una mayor sobrevivencia de larvas, postlarvas y alevines, además de asegurar el crecimiento adecuado de juveniles y adultos de la especie en cultivo (Ramírez *et al.*, 2010).

2.6.1.1. Alimento vivo

Los peces poseen diferentes hábitos alimenticios, los cuales pueden cambiar de acuerdo con el desarrollo, generalmente en periodos tempranos de vida los peces se consideran carnívoros, por lo que se debe tener en cuenta que la mayor dificultad

para cultivar peces es la selección de un alimento de buena calidad que sea aceptado por los organismos (Awais y Kestemont, 1998). Es importante resaltar que, para el cultivo de larvas de peces, éstas requieren de la disposición de alimentos vivos de tamaño pequeño (de acuerdo con el tamaño de su boca) y de alta calidad para asegurar el crecimiento y la supervivencia (Leal y Gelabert, 1986). Por lo tanto, el alimento vivo constituye un menú altamente nutritivo para los peces, el cual, es definido como aquellos organismos acuáticos o terrestres tanto de origen animal como vegetal, que conjuntan características, tales como, ser de cuerpo blando, tamaño adecuado en relación con la boca del consumidor, movimiento, alta disponibilidad, gran abundancia, altas densidades de cultivo, ciclo de vida corto, alto valor nutritivo y fácil digestión (Luna-Figueroa, 2009).

Dentro del área productiva de la acuicultura, conocida como cultivo de alimento vivo, existe una diversidad de organismos que reúnen las características apropiadas para utilizarse en la alimentación de peces, por ejemplo: *Artemia (Artemia franciscana)*, micro-gusano (*Panagrellus redivivus*), pulga de agua (*Daphnia pulex* y *Moina wierzejski*), gusano de fango (*Tubifex tubifex*), lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), gusano blanco (*Enchytraeus albidus*), gusano de sangre (*Chironomus tentas*), microalgas (*Chlorella minutissima*, *C. regularis*), harina de gusano (*Tenebrio molitor*) y pre-adultos de mosquito (*Culex pipiens* y *C. stigmatosoma*) (Luna-Figueroa, 2002). Sin embargo, el uso de alimento vivo tiene inconvenientes, ya que no siempre se conservan sus constituyentes nutricionales y pueden diferir en los lotes producidos y en algunas especies no logran completar los requerimientos nutricionales a nivel larval, además, su producción es costosa e impredecible (Jones *et al.*, 1993; García, 2000; Harme *et al.*, 2002; Takeuchi *et al.*, 2003).

Debido a lo anterior se ha tratado de disminuir el uso de alimento vivo con la introducción de dietas formuladas en diferentes etapas del periodo de vida de los peces (Calvo, 2016).

2.6.1.2. Alimento inerte

El cambio a alimento inerte suele iniciarse varias semanas después del inicio de la alimentación mediante el suministro conjunto de presas vivas y alimento inerte, y suele durar una o varias semanas según la especie. Una vez finalizado el cambio y adaptados a la nueva alimentación, generalmente cuando han alcanzado la fase juvenil, los peces están preparados para iniciar el preengorde. Esta transición de alimento vivo a inerte se hace con dietas comerciales de arranque, que ofrecen granos de alimento de con tamaño de partícula creciente que dependerá de la etapa de vida de los peces (Sanz, 2019). Las dietas comerciales elaboradas hoy en día son mezclas concentradas con menos del 10 % de humedad que se encuentran en forma de polvo, grano o pellets, dependiendo la etapa productiva del pez. Sus principales ventajas son que pueden ser almacenadas por largo tiempo, permiten controlar el consumo de alimento dependiendo de la etapa productiva de la especie y se pueden preparar para cumplir los requerimientos de la especies o etapa productiva específica (Wedler, 1998).

2.6.1.3. Requerimientos nutricionales

Según las cantidades requeridas se pueden clasificar en macronutrientes (proteínas, lípidos, carbohidratos) y micronutrientes (vitaminas, minerales) (Lall y Dumas, 2015).

Las proteínas son péptidos de elevado peso molecular, compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y con frecuencia azufre. Las unidades fundamentales de estas son los aminoácidos, los cuales pueden unirse entre sí por un enlace peptídico covalente entre el α -carboxilo final de un aminoácido y el α -amino final del otro. Los aminoácidos pueden enlazarse variando su secuencia para formar una vasta diversidad de proteínas (Tacon, 1987; Cotan *et al.*, 2016; Pai y Altaf, 2016). Las proteínas constituyen un componente básico de los tejidos de los organismos vivos, del 65 al 75 % del total de materia seca del cuerpo de un pez está compuesto por esta molécula (Murray *et al.*, 2013). A nivel de mantenimiento, el pez requiere proteína para reponer tejidos desgastados y sintetizar productos proteicos como células epiteliales, enzimas y hormonas esenciales para el correcto

funcionamiento del organismo, las cuales recirculan velozmente, es decir que están formándose y degradándose continuamente (Wedler, 1998). La capacidad del pez para sintetizar proteína de nuevo a partir de esqueletos de carbono es limitada, por lo tanto, la mayor parte de ella debe obtenerse del alimento. En el proceso fisiológico de digestión, la proteína es digerida e hidrolizada liberando aminoácidos, los cuales son absorbidos por el tracto intestinal y distribuidos por la sangre para todos los órganos y tejidos (Cotan *et al.*, 2016). En los sistemas de producción, la ingesta diaria de alimentos con niveles óptimo de proteína es fundamental para el crecimiento y mantenimiento de los peces (Tacon, 1998; Wedler, 1998; Cotan *et al.*, 2006; Prieto y Atencio, 2008).

Los lípidos comprenden un grupo variado de compuestos orgánicos que son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos (Murray *et al.*, 2013). Nutricionalmente son considerados como fuentes de energía concentrada y compuestos esenciales para el crecimiento de los peces (Prieto y Atencio, 2008). Su digestión se da a nivel del intestino con una gran participación del hígado por la acción de enzimas digestivas (lipasas) que los divide en glicerol y ácidos grasos, responsables de la liberación de energía, la actividad enzimática, procesos metabólicos, síntesis de grasa corporal, síntesis de hormonas reproductivas, flexibilidad y permeabilidad de las membranas plasmáticas (Wedler, 1998; Pai y Altaf, 2016). Fisiológicamente, los ácidos grasos libres constituyen la principal fuente de combustible aerobio para el metabolismo energético del músculo de los peces (Luna-Figueroa *et al.*, 2010).

Los lípidos también desempeñan diversas funciones biológicas importantes como componentes estructurales de las membranas celulares, como cubierta protectora sobre la superficie de muchos organismos, como componentes de la superficie celular relacionados con el reconocimiento de las células, la especificidad de especies, la inmunidad de los tejidos, así como vehículo biológico en la absorción de vitaminas liposolubles (A, D y K) (Pokniak, 1997; Pond *et al.*, 2002; Lehninger, 2003). Además, los lípidos son la única fuente de ácidos grasos esenciales (AGE) los cuales intervienen en el metabolismo celular, integridad de las estructuras de las

membranas celulares, así como el suministro de energía (Gong *et al.*, 2004; Cervantes y Hernández, 2007).

Los ácidos grasos son cadenas lineales de carbono, que poseen un grupo carboxilo (COOH) y una cola hidrocarbonada, que confiere la naturaleza insoluble en agua a la mayoría de los lípidos, cuyos átomos de carbono pueden estar unidos por enlaces simples o dobles, lo cual determina el grado de insaturación del ácido graso. Se denominan ácidos grasos saturados (SFA) aquellos que no poseen dobles enlaces en su cadena, donde el ácido palmítico (16:0) suele ser el más abundante. Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) son aquellos que en su cadena poseen solo un doble enlace, siendo el más característico y abundante en la naturaleza el ácido oleico (18:1n-9). Mientras que los ácidos grasos polinsaturados (PUFA) son aquellos que poseen más de un doble enlace en su cadena, con 18-24 átomos de carbono en su cadena. Dentro de los polinsaturados, se denominan altamente insaturados aquellos ácidos grasos que poseen más de 20 carbonos y más de 4 dobles enlaces en su cadena, siendo los más representativos el ácido araquidónico (20:4n-6), el ácido eicosapentaenoico (20:5n-5) y el docosahexaenoico (22:6n-3). De acuerdo con la posición del último doble enlace en la cadena, los ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados se clasifican en tres grupos: los de la serie n-3, que pertenecen a aquellos en los que el último doble enlace está a tres carbonos del carbono terminal; los de la serie n-6, cuyo último doble enlace está a 6 carbonos del carbono terminal, y aquellos con el último doble enlace a 9 carbonos del carbono terminal, que pertenecen a la serie n-9. Dentro de los ácidos grasos, existen aquellos derivados de la síntesis de novo de precursores no lipídicos y aquellos ácidos grasos esenciales (AGE), que no son sintetizados por los organismos y que necesariamente deben ser incorporados en la dieta. Estos últimos son los tipos de ácidos grasos que los nutricionistas de animales tratan de satisfacer, de acuerdo con las necesidades de cada organismo y para cada etapa del desarrollo, utilizando diferentes fuentes, ya sea de origen animal, vegetal, acuático o terrestre (I-Orvay, 2013).

En peces de agua dulce se asume que los requerimientos de ácidos grasos para crecimiento pueden ser mantenidos por el suministro de ácido linolénico

(18:3n-3, ALA) y ácido linoleico (18:2n-6, LA), puesto que son capaces de elongar y desaturar hacia ácidos grasos de cadena más larga, como el EPA (20:5n-3) y el ARA (20:4n-6), respectivamente. Esto permite utilizar ciertos niveles de aceites de origen vegetal que normalmente son ricos en ácidos grasos poliinsaturados de cadena corta. Sin embargo, no está claro si estos mismos requerimientos son suficientes para mantener o reforzar el sistema inmune en los peces, por lo cual la necesidad de incorporar ácidos grasos de cadena larga en la dieta para peces de agua dulce, principalmente araquidónicos, parece ser una buena recomendación (Bell *et al.*, 2003), siempre y cuando se mantenga una adecuada relación EPA/DHA (I-Orvay, 2013).

Los carbohidratos son considerados biomoléculas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno, cuyas funciones son de tipo estructural en las células y de aporte de energía inmediata. La glucosa y el glucógeno son las formas biológicas primarias de almacenamiento y consumo de energía (Wedler, 1998). La utilización de los carbohidratos en los peces depende principalmente del hábito de alimentación, así como de la estructura y la función del sistema digestivo, la especie, la digestibilidad y la complejidad de los carbohidratos suministrados (Mohanta y Subramanian, 2011). Su valor nutricional varía entre las diferentes especies, siendo los peces de aguas cálidas aquellos que pueden usar cantidades mayores de carbohidratos en la dieta a diferencia de los peces de agua fría y marinos. Los carbohidratos suministrados en las dietas para peces son considerados de menor importancia como fuentes energéticas, pero pequeñas inclusiones en la dieta han demostrado que contribuyen a evitar el uso de la proteína del alimento para la liberación de energía (Fracalossi y Cyrino, 2013).

Las vitaminas son compuestos orgánicos de bajo peso molecular requeridos en bajas cantidades y no son sintetizadas por los peces, por lo que es imprescindible que sean suministradas a través de los alimentos (de Borda *et al.*, 2013; Murray, 2013). Actúan como cofactores enzimáticos en diferentes procesos como el metabolismo energético, la síntesis de aminoácidos, la síntesis de proteínas, la oxidación y síntesis de ácidos grasos y triglicéridos, la síntesis de hemoglobina y de

las células sanguíneas, la transmisión de impulsos nerviosos, etc. y presentan acciones fisiológicas específicas esenciales para el crecimiento, reproducción y salud de los peces (NRC, 1993). Las vitaminas se clasifican en liposolubles (A, D, E y K) e hidrosolubles (complejo B y C). Las vitaminas liposolubles son absorbidas en el tracto digestivo en asociación con moléculas grasas y pueden ser almacenadas en reservas dentro del cuerpo; y las hidrosolubles se usan rápidamente después de la absorción o descompuestas y excretadas, dependiendo de las necesidades del animal (Goddard, 1996).

Los minerales son elementos químicos inorgánicos que son parte estructural de los peces y son requeridos en cantidades semejantes a las exigidas por otros animales domésticos. Sin embargo, es importante resaltar que existe una gran diferencia en la forma como estos son absorbidos (Tacon, 1987; Watanabe *et al.*, 1997; Zhu *et al.*, 2016). En los animales terrestres la vía de obtención de los minerales es a través de la ingesta de alimentos y agua. En cambio, los organismos acuáticos además de obtenerlos por la ingesta tienen la alternativa de absorberlos directamente del agua a través de las branquias y la piel (Tacon, 1988; NRC, 1993). Los minerales se dividen de manera arbitraria en macrominerales y microminerales. Los macrominerales son requeridos en mayores cantidades como el calcio, fósforo, potasio, cloro, magnesio y sodio. Los microminerales son necesarios en menores cantidades como el cobre, hierro, manganeso, selenio y zinc (Murray *et al.*, 2013; Watanabe *et al.*, 1997). Estos participan en la formación de huesos y dientes, el metabolismo energético, los componentes de los fosfolípidos en las membranas celulares, los componentes de la hemoglobina, el equilibrio osmótico, el equilibrio ácido-base de la sangre, la transmisión de impulsos nerviosos, contracción muscular, osmorregulación y componentes de las hormonas.

2.6.2. Fuentes convencionales de alimentación

Durante décadas, la producción de alimentos para peces se ha basado tradicionalmente en harina de pescado como la principal fuente de proteínas, gracias a su alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales (EAA)

equilibrados, vitaminas, minerales, atrayentes y otros factores de crecimiento desconocidos (Abdelghany 2003; El-Saidy y Gaber 2003; Tacon 1993).

2.6.2.1. Harina de pescado

La harina de pescado es un ingrediente proteico con consistencia y apariencia como la harina de trigo. Se obtiene después de cocinar, prensar, secar y moler el pescado, ya sea entero o en partes (Miles y Chapman, 2006; Tacón *et al.*, 2006; Boyd, 2015; FAO, 2018). Como resultado de este proceso se produce un material con proteína de alta calidad, contenido balanceado de aminoácidos esenciales y ácidos grasos y una adecuada cantidad de minerales y vitaminas (Miles y Chapman, 2006; Boyd y McNevin, 2015; Valdés-García *et al.*, 2016). Pocos ingredientes pueden igualar los valores nutricionales de la harina de pescado en la acuicultura (Hasan, 2001; Turchini *et al.*, 2019), sin embargo, tiene desventajas en otras áreas. La harina de pescado proviene de pesquerías (García-Ortega *et al.*, 2010; Rincón *et al.*, 2012; FAO, 2020), por lo tanto, ha creado una dependencia de la acuicultura en la pesca marina (Naylor *et al.*, 2009; FAO, 2014; Jones *et al.*, 2020). Además, esta materia prima es utilizada por varias actividades del sector agropecuario como un componente proteico en las dietas equilibradas. Estos factores hacen que la harina de pescado sea un alimento muy demandado cuyo precio aumenta mientras que la disponibilidad disminuye (Hardy y Tacón, 2002; Barlow, 2003; Bimbo, 2012; Boyd, 2015).

Esta situación ha motivado la realización de estudios científicos enfocados en descubrir materias primas alternativas para el desarrollo de harinas con alto contenido proteico de buena calidad, y que además sean accesibles y de bajo costo, con la intención de reducir la dependencia de la harina de pescado (Peters *et al.*, 2004; Naylor *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2017; Hua *et al.*, 2019; Turchini *et al.*, 2019; 2020; FAO, 2020).

2.6.3. Fuentes alternativas de alimentación

Debido a la anterior, para mantener la sustentabilidad y reducir los costos en la producción de alimentos balanceados para acuicultura, ha sido investigado en

varias especies el uso de diferentes proteínas de origen vegetal para la sustitución parcial o total de harinas en alimentos acuícolas (Turchini *et al.*, 2009).

2.6.3.1. Fuentes de origen vegetal

Existe una amplia variedad de fuentes de proteína vegetal. Entre las materias primas vegetales más utilizadas como alternativa a la harina de pescado se encuentran la soja, el maíz, trigo, lupino, guisantes, semillas de algodón y canola. Se ha reportado la utilización de leguminosas como la soya entera (*Glycine max* L.) aplicada en la trucha (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) por Reinitz *et al.* (1978). Así como la harina de soya sobre la misma especie (Tacon *et al.*, 1983) y en algunas variedades de bagres (*Ictalurus furcatus* Valenciennes, 1840 y *I. punctatus* Rafinesque, 1818) por Webster *et al.* (1992a y 1992b). La harina de algodón (*Gossypium* spp.) ha sido probada en especies de tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters, 1852) por Jackson *et al.* (1982); en la trucha arcoíris *O. aureus* (Steindachner, 1864) por Robinson *et al.* (1984); y en la tilapia del Nilo *O. niloticus* (Linnaeus, 1758) por El-sayed *et al.* (1990). También la harina de girasol (*Helianthus annuus* L., 1753) ha sido empleada en la trucha (*Salmo gairdneri* Richardson, 1836) por Martínez-Palacios (1986) y se han evaluado subproductos vegetales como la pulpa de café para aprovechamiento en *Oreochromis* spp. (Baynee *et al.*, 1976) y la pulpa de cacao para la *Tilapia guineensis* (Günther, 1862) (Fagbenro, 1988). Sin embargo, los resultados muestran que la soja es el ingrediente con el mayor contenido de proteína cruda en peso seco, con un rango de 40 a 50%. De igual manera, es la materia prima que tiene un mayor contenido de aminoácidos esenciales, a excepción de la arginina, que es más alto en lupino (Kaushik y Hemre, 2008).

Es necesario resaltar que, a pesar de los valores en cuanto al contenido de proteínas, las fuentes de origen vegetal presentan algunos inconvenientes a considerar tales como: un desbalance en el perfil de aminoácidos esenciales y factores antinutricionales; que son sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo de las plantas como mecanismo de defensa frente a situaciones estresantes. Es por esto por lo que, al ser ingeridos pueden interferir con la

digestión, absorción y utilización de nutrientes como las proteínas y minerales, además de causar efectos fisiológicos indeseables como hinchazón, páncreas y aglutinación de glóbulos rojos (Witte, 1995; Francis *et al.*, 2001; Elizalde *et al.*, 2009; Hajra *et al.*, 2013). Por lo tanto, es necesario resaltar que los principales problemas para su uso a nivel comercial son: 1) bajo contenido de proteínas en algunas materias primas, 2) perfil de aminoácidos esenciales desequilibrado, 3) baja palatabilidad y 4) la presencia de una amplia variedad de factores antinutricionales que pueden afectar la digestión y absorción de los nutrientes.

2.6.3.2. Fuentes de origen animal

Los subproductos de origen animal son las fuentes alternativas de proteínas más utilizadas para la elaboración de dietas acuícolas. Los subproductos incluyen todas las partes del animal que no forman parte de la canal, como hígado, corazón, contenido del rumen, riñón, sangre, grasa, bazo y restos de carne (Alao *et al.*, 2017).

Hay productos como harina de carne y huesos, harina de subproductos avícolas, hidrolizado de plumas, harina de órganos y harina de sangre. Estas harinas son imprescindibles por su alto contenido en proteína bruta (45-65 %), buen perfil de aminoácidos (dependiendo del origen), alto contenido de fósforo, disponibilidad constante, y de costo relativamente bajo (Davis y Arnold, 2000; Tangendjaja, 2015; Hill *et al.*, 2019; Galkanda-Arachchige *et al.*, 2020). Sin embargo, las harinas de subproductos animales a menudo muestran un desequilibrio en el perfil de aminoácidos esenciales debido a su origen heterogéneo. Por lo tanto, el uso como fuente principal de proteína en alimentos acuícolas da como resultado una variabilidad considerable en el crecimiento de los peces bajo cultivo (Dam *et al.*, 2019; Hill *et al.*, 2019; Twahirwa *et al.*, 2020).

En la mayoría de los estudios publicados, se utilizó harina de subproductos avícolas, y en menor medida harina de carne y huesos, harina de plumas hidrolizada y harina de sangre. Las especies de peces más estudiadas para evaluar alimentos basados en harina de subproductos animales fueron lubina (*Lates calcarifer*) (Tu *et al.*, 2013; Glencross *et al.*, 2016; Chaklader *et al.*, 2019; Lewis *et al.*, 2019), trucha arcoíris (Poppi *et al.*, 2011; Parés-Sierra *et al.*, 2014; Esmaeili *et al.*, 2017) y la

dorada (*Sparus aurata*) (Booth *et al.*, 2012; Al-Souti *et al.*, 2019; Parlapani *et al.*, 2019; Aragão *et al.*, 2020).

Las proteínas de subproductos animales se han utilizado durante décadas ya que son una fuente rentable de proteína y energía digeribles, aminoácidos esenciales biodisponibles, ácidos grasos y minerales para la mayoría de las especies acuícolas.

La industria ha utilizado a gran escala durante mucho tiempo la harina de aves, bovinos, porcinos y otros subproductos animales (Maiolo *et al.*, 2020). Sin embargo, el hallazgo de diferentes agentes etiológicos (patógenos bacterianos y sus toxinas, virus, priones y dioxinas) en la alimentación animal se ha asociado a la incorporación harinas de subproductos animales (Jedrejek *et al.*, 2016), debido a lo anterior, su aceptación en América Latina y Asia dejó de crecer hasta diciembre de 2003 cuando se notificó por primera vez la encefalopatía espongiiforme bovina en los Estados Unidos, por lo tanto, el uso de esta harina en dietas balanceadas de varios animales disminuyó dramáticamente (Meeker y Hamilton, 2006).

2.6.4. Fuentes no convencionales

Debido a que, las fuentes alternativas utilizadas como reemplazo parcial a la harina de pescado presentan diversas desventajas como bajo contenido de proteínas, perfil de aminoácidos esenciales desequilibrado, baja palatabilidad y la presencia de una amplia variedad de factores antinutricionales que pueden afectar la digestión y absorción de los nutrientes (Witte, 1995; Francis *et al.*, 2001; Elizalde *et al.*, 2009; Hajra *et al.*, 2013), para el caso de fuentes de origen vegetal y los diversos agentes etiológicos (patógenos bacterianos y sus toxinas, virus, priones y dioxinas) asociado al uso de harinas de subproductos de origen animal (Jedrejek *et al.*, 2016), en la actualidad se continua con la búsqueda de alternativas para el reemplazo de la harina de pescado mediante la implementación de fuentes no convencionales.

Los insectos son una fuente natural y renovable de proteína que se ha utilizado para el consumo humano durante años, representando una fuente alternativa para compensar el déficit estacional de otras fuentes utilizadas como alimento humano. Debido a lo anterior, los insectos han sido considerados una

opción para la alimentación animal, y en los últimos años se han desarrollado diversos experimentos *in vivo* para la alimentación de animales acuáticos organismos con dietas a base de harina de insectos (Barroso *et al.*, 2014).

2.6.4.1. Características de los insectos y su importancia

Los estudios han establecido que el contenido de nutrientes de los insectos comestibles es comparable o incluso más alto que las fuentes comúnmente utilizadas, como la harina de pescado. Por esta razón, muchas especies de peces podría beneficiarse ampliamente de estos nutrientes porque los insectos son parte de su dieta natural ya que son principalmente entomófagos (Govorushko, 2019; Stenberg *et al.*, 2019). Los insectos son un recurso alimentario de considerable importancia, ya que son abundantes, relativamente fáciles de recolectar y, sobre todo, ricos en proteínas (Cuj-Laines *et al.*, 2018), de gran calidad en función a su perfil de aminoácidos. Además de que, su producción masiva es factible, ya que se desarrolla rápidamente en sustratos orgánicos, convirtiendo los compuestos orgánicos de baja calidad en proteína de alta calidad (alta eficiencia de conversión alimenticia), consume el doble de su peso cada día y su ciclo de vida es de fácil control dado que los requisitos ambientales son bajos (Renna *et al.*, 2017; Belghit *et al.*, 2018; Dietz y Liebert, 2018; Terova *et al.*, 2019; Stenberg *et al.*, 2019).

2.6.4.2. Harina de insectos

Los insectos ahora se consideran un ingrediente alternativo y sostenible para la producción de alimentos acuícolas (Ewald *et al.*, 2020). En la mayoría de los estudios realizados, el insecto más utilizado han sido las larvas de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*). Estas son unas de las candidatas más prometedoras debido a su contenido de proteína y la composición de aminoácidos similar a la de la harina de pescado (Barroso *et al.*, 2014; Belghi *et al.*, 2019). Además, tienen bajos requisitos ambientales para su cultivo en cautiverio, una alta eficiencia de conversión alimenticia y pueden crecer con subproductos orgánicos, promoviendo la sostenibilidad y el concepto de economía circular en el sector de la acuicultura (Smetana *et al.*, 2019). Diversos estudios han probado diferentes niveles

de inclusión de harina de mosca soldado-negra en la formulación de alimentos acuícolas, pero los resultados sobre las respuestas fisiológicas de los peces aún son controvertidos, mientras que los efectos de comportamiento en los peces están completamente ausentes (Lock *et al.*, 2016; Elia *et al.*, 2018; Fawole *et al.*, 2020). Se ha demostrado el uso de harina de mosca soldado-negra en alimentos acuícolas, en ciertos niveles de inclusión mejora la salud intestinal, la inmunidad y el bienestar general de los peces (Gasco *et al.*, 2018). Mientras que, en menor medida se ha utilizado el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*).

Po otra parte, las especies de peces más utilizadas para probar harinas de insectos fueron la trucha arcoíris (Renna *et al.*, 2017; Terova *et al.*, 2019; Fabrikov *et al.*, 2021) y el salmón del Atlántico (Belghit *et al.*, 2018; Stenberg *et al.*, 2019) y, con menor frecuencia, la tilapia del Nilo (Dietz y Liebert, 2018; Tubin *et al.*, 2020) y lubina (Magalhães *et al.*, 2017; Mastoraki *et al.*, 2020) debido a su valor comercial. La mayoría de los estudios que incluyen harina de insectos en alimentos acuícolas han recomendado reemplazos parciales para la harina de pescado. Sin embargo, se han reportado niveles de reemplazo de hasta 100 % (Li *et al.*, 2016).

3. ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios científicos acerca de los insectos comestibles se ha enfocado en su utilización para la alimentación humana, sin embargo, hace aproximadamente 40 años, los insectos comenzaron a considerarse como una opción para la alimentación animal y en los últimos años se han desarrollado diversos estudios de experimentos *in vivo* de alimentación de organismos acuáticos con dietas basadas en harina de insectos (Barroso *et al.*, 2014) como el reportado por Ido *et al.* (2015) en la dorada japonesa (*Pagrus major*), observando un crecimiento significativamente mayor y una mejor tasa de conversión alimenticia en las dietas donde el nivel de sustitución de harina de pescado por harina de mosca doméstica (*Musca domestica*) fue de 0.5 %. Otros estudios científicos han evaluado el reemplazo de harina de pescado con harina de larvas de mosca soldado-negra (*H. illucens*) en niveles máximos de 45 % (Magalhães *et al.*, 2017), 50 % (Renna *et al.*, 2017) y 85% (Belghit *et al.*, 2018) para alimentar a lubina (*D. labrax*), trucha arcoíris (*O. mykiss*) y salmón del Atlántico (*Salmo salar*), respectivamente. Para los niveles de reemplazo de 45 y 50 % no se reportaron efectos sobre los parámetros productivos, digestibilidad o supervivencia. Sin embargo, en el nivel de reemplazo del 85 % se observó una reducción en la digestibilidad de la proteína cruda y los aminoácidos, sin afectar la palatabilidad, el consumo de alimento, la tasa de crecimiento, ni la tasa de conversión, lo que indica un mayor uso de proteína digestible.

Por otra parte, Taufek *et al.* (2016) evaluaron niveles de reemplazo total de la harina de pescado con harina de grillo común (*Gryllus bimaculatus*) en el bagre africano (*Clarias gariepinus*). Los resultados indicaron que la dieta que contenía 100 % y 75 % de harina de grillo común mejoró el rendimiento del crecimiento en términos de ganancia de peso corporal y tasa de crecimiento específica, en comparación con la dieta que contenía 100 % de harina de pescado.

Laconis *et al.* (2017) probaron la inclusión de harina de larvas de *Tenebrio molitor* al 25 % y 50 % de sustitución de harina de pescado y reportaron que la dieta no produjo efectos significativos en los parámetros de rendimiento de crecimiento considerados, además de que las diferencias encontradas en los perfiles de

aminoácidos y ácidos grasos no produjo una respuesta diferente por parte de los peces.

Dietz y Liebert (2018) alimentaron a la tilapia del Nilo con el 25, 50 y 100 % de reemplazo de la harina de pescado por harina de mosca soldado-negra y reportaron una mejora de hasta un 50 % en la calidad de la proteína alimenticia, una tasa de crecimiento específico y una tasa de conversión alimenticia similar respectivamente, sin embargo, una mayor tasa de inclusión de la harina de mosca tendió a afectar el crecimiento, pero no la calidad de la proteína observada.

Finalmente, Zarantoniello *et al.* (2020) evaluaron diferentes niveles de reemplazo a la harina de pescado (0, 25, 50, 75 y 100 %) con harina de mosca soldado-negra en el pez cebra (*Danio rerio*) y observaron que las dietas con un nivel de inclusión de harina de mosca del 50 % representaron la mejor relación entre la sostenibilidad de los ingredientes, el crecimiento y el bienestar de los peces.

4. HIPÓTESIS

La sustitución parcial o total de la harina de pescado por harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) en proporción 50:50 no afectará el desempeño productivo de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el perfil nutricional y el efecto dietario de la sustitución harina de pescado por la mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) en dietas sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (*Vieja fenestrata*).

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la composición química y perfil de ácidos grasos harinas de chapulín (*S. purpurascens*) y la cucaracha (*N. cinerea*).
- Formular seis dietas experimentales a partir de la mezcla (50:50) de harina de chapulín y (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) en niveles de sustitución a nivel proteína del 0, 5, 10, 25, 50 y 100% por la harina de pescado.
- Caracterizar las dietas experimentales formuladas a partir de la mezcla (50:50) de harina del chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) en cuanto a su composición química proximal y perfil de ácidos grasos.
- Evaluar el efecto de las dietas experimentales con sustitución de la mezcla (50:50) de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del experimento

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Mejoramiento Genético y Bioquímica de la Universidad del Papaloapan, campus Loma Bonita, ubicada en la Avenida Ferrocarril s/n, Colonia Ciudad Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca, localizado en las coordenadas 18° 06' latitud norte y 95° 53' longitud oeste, a una altura de 30 msnm (FAM, 2014).

6.2. Materias primas

El chapulín (*S. purpurascens*) que se utilizó en el presente trabajo fue obtenido de los mercados aledaños de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax., mientras que, la cucaracha (*N. cinerea*) fue proporcionada por el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), las cuales fueron criadas para este propósito, alimentados a saciedad con dietas formuladas (30 % de proteína y 6 % de lípidos).

6.3. Obtención de las harinas

Los insectos fueron deshidratados a 55 °C durante 48 horas en un horno de secado (ECOSHEL 9053L), posteriormente se molieron en un molino para café (Modelo Krups GX4100, EE. UU.) hasta un tamaño de partícula uniforme de 0.420 mm (malla n° 40) y luego se envasaron en bolsas con sellado hermético y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su uso o análisis.

6.4. Caracterización de las harinas

6.4.1. Análisis químico proximal.

Las harinas fueron analizadas en cuanto a su contenido de humedad, proteínas, grasas y cenizas de acuerdo con los métodos de la AOAC (2012); el contenido de carbohidratos (extractos libres de nitrógeno) se determinó restando la suma de los pesos de proteínas, lípidos y cenizas, y se expresó como porcentaje. Los resultados

obtenidos de estos análisis se utilizaron posteriormente para la formulación de dietas experimentales. Estos análisis se muestran en la sección de resultados.

6.4.1.1. Determinación de humedad.

La humedad se determinó pesando 2 g de cada una de las muestras, para esto se utilizó una espátula y moldes de aluminio. Las muestras fueron colocadas sobre los moldes de aluminio y pesadas en una termobalanza (Shimadzu, MOC-120H). La termobalanza automáticamente indicó el porcentaje de humedad en solo unos minutos.

6.4.1.2. Determinación de cenizas.

Se colocaron a peso constante crisoles de porcelana, perfectamente limpios, introduciéndolos a la mufla a 300°C aproximadamente, durante una hora; posteriormente fueron extraídos de la mufla e introducidos al desecador para después pesarlos en una balanza analítica. Posteriormente se pesaron 2 g de la muestra en una balanza analítica, se depositaron las muestras en crisoles, de los cuales previamente se obtuvieron sus pesos constantes. Una vez pesados los crisoles se procedió a incinerar las muestras utilizando un mechero hasta que no emitiera humo. Después fueron colocados dentro de una mufla por 5 horas a 550 °C para su calcinación. Se esperó a que la temperatura descendiera hasta los 50 °C para retirar los crisoles y colocarlos en desecadores (por cinco minutos). Se procedió a pesar nuevamente los crisoles con las cenizas de las muestras. El porcentaje de cenizas se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra fresca}} \times 100$$

6.4.1.3. Determinación de lípidos.

Para la extracción de la grasa de las muestras, se empleó un equipo Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo. El análisis se efectuó de la siguiente manera: Se pesaron 2 g de muestra y fueron colocadas en los dedales.

Posteriormente, el dedal que contenía la muestra colocó dentro del extractor del Soxhlet. Se pesó el matraz balón y se procedió a armar el equipo completo del Soxhlet. Se conectaron las mangueras que componen las tuberías de agua y se abrió el paso de agua. Posteriormente se introdujo 60 ml éter de petróleo en cada matraz balón. En el matraz se calentó el éter, los vapores de este ascendieron a través de la desviación al condensador. Ahí, los vapores se condensaron. Se reguló la temperatura de tal forma que se obtuvieron gotas de éter condensado, permitiendo dejar gotear el éter condensado sobre la muestra durante tres horas aproximadamente completando 10 ciclos para extraer la grasa. Durante la extracción, el éter con grasa se desbordó y refluyó al matraz, en donde se acumuló la grasa extraída. Después de la extracción se suspendió el calentamiento, se dejó enfriar el equipo y se quitó el extractor del matraz. El matraz con el residuo fue introducido a una estufa a 75 °C durante una hora para obtener su peso constante. El porcentaje de peso de la grasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ extracto} = \frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

A = peso en gramos del residuo

B = peso en gramos de la muestra

6.4.1.4. Determinación de proteínas.

Para la determinación de proteínas de las muestras, se utilizó un digestor y un destilador, esto por el método Kjeldahl. Primero fue pesado 0.5 g de la muestra seca en una balanza, después se introdujo la muestra a un tubo de mineralización, una pastilla catalizadora y se le adicionó 20 ml de ácido sulfúrico. Posteriormente se inició la etapa de digestión precalentando el equipo a 380 °C por 20 minutos hasta llegar a la etapa tres por un periodo de 85 min. Una vez transcurridos los 85 min se pudo corroborar que la digestión había finalizado porque la disolución adquirió un color transparente. Después de enfriar los tubos mineralizadores se llevaron al destilador donde automáticamente añadió 40 mL de agua destilada, 45 mL de hidróxido de sodio al 32 % al tubo de digestión para alcalinizar fuertemente el medio

y así desplazar el amoniaco de las sales amónicas. El amoniaco liberado fue arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, se recogió sobre un recipiente específico para recolectar la muestra donde fue liberado 60 mL de ácido bórico (al 4 % p/v) con indicador (pH 4.65) para así obtener la muestra final. El tiempo de destilación fue de aproximadamente 240 s. Para la valoración se usó una bureta de 25 mL y un soporte universal, de la disolución previamente destilada fueron colocados 100 mL de esta en un matraz de 250 mL y fue llevada debajo de la bureta sujeta por el soporte universal y se procedió a agregar 25 mL de ácido clorhídrico 0.5 N. Se abrió la bureta para que gotera, finalmente se esperó a que cambiara de color. Al primer cambio de color se detuvo el goteo y se anotaron los mL de ácido clorhídrico gastados. El porcentaje de proteínas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{Vx N x 0.014}{P} x 100$$

6.4.2. Determinación de perfil de ácidos grasos.

Para este análisis se inició metilando el extracto lipídico siguiendo el método de transmetilación descrito por Parrish *et al.* (2015). Posteriormente se analizaron los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) mediante cromatografía de gases equipada con un detector de ionización de llama (Agilent GC 6880, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.) utilizando hidrógeno como gas portador. La columna de GC (60 m × 0,25 mm con 0,25 µm espesor de la película; Agilent 122-2362 dB-23) fueron: temperatura inicial del horno de 50 °C durante 1 min, 50 a 140 °C a 30 °C min⁻¹, mantenido a 140 °C durante 5 min, de 140 a 240 °C a 4 °C min⁻¹, y finalmente 240 °C por 20 min. Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron en 230 y 260 °C, respectivamente. Finalmente, se identificaron y cuantificaron los FAME, comparando los tiempos de retención con un estándar interno (mezcla de FAME de 37 componentes, PUFA 1 y PUFA 3, Supelco/Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.).

6.5. Diseño y obtención de dietas experimentales

Las dietas experimentales fueron formuladas y elaboradas en el IIO (Instituto de Investigaciones Oceanológicas – UABC), siguiendo protocolos internos. Para realizar la formulación de las dietas experimentales se realizó previamente un análisis químico proximal de cada uno de los insumos. En la Tabla 1 se presentan los valores de proteínas, lípidos, cenizas, extractos libres de nitrógeno (ELN) y humedad obtenidos.

Las dietas experimentales fueron formuladas y se obtuvieron pellets de acuerdo con el proceso que se describe a continuación: los macroingredientes (harina de pescado, harina insecto mezcla 50:50, harina de ave, harina de cerdo y harina de soya) se pulverizaron y tamizaron para posteriormente ser mezclados en una batidora-cortadora vertical (Robot Coupe R-60, USA) hasta obtener una masa homogénea. A continuación, los micronutrientes se incorporaron a la mezcla a granel. Después se añadió y se mezclaron los aceites de cada dieta experimental. Finalmente, se añadió el agua por separado con el almidón cocido y la gelatina hasta conseguir la textura deseada.

Las dietas fueron mezcladas (RobotCoupe, modelo R10, EE. UU.), se granularon a 5 mm en una picadora de carne (Tor-O-Rey, modelo M32–5, México) y se secaron a 60 °C en una máquina de aire forzado por 24 h. Una vez secas las dietas, se trituraron hasta obtener harinas de partícula homogénea, fueron empaquetadas y transportadas a la Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita donde se mantuvieron refrigeradas (4 °C) durante todo el experimento. La formulación de las dietas experimentales se describe en la Tabla 1.

6.6. Caracterización de las dietas experimentales

6.6.1. Análisis químico proximal.

Las dietas experimentales fueron analizadas en cuanto a su contenido de humedad, proteínas, grasas y cenizas de acuerdo con los métodos de la AOAC (2012). El contenido de carbohidratos (extractos libres de nitrógeno) se determinó restando la suma de los pesos de proteínas, lípidos y cenizas, y se expresó como porcentaje.

Tabla 1. Formulación de las dietas experimentales (g/Kg) con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) para la alimentación de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

INGREDIENTES	D0%	D5%	D10%	D25%	D50%	D100%	Total
Harina de Pescado Prime ^a	171.9	163.3	154.7	129.0	86.0	0.0	704.9
Harina ave Prime ^b	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	1200.0
Harina de Cerdo ^c	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	1200.0
Harina Soya ^d	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	600.0
Harina de Cucaracha ^e	0.0	5.3	10.8	27.0	54.1	108.2	205.4
Harina de Chapulín ^f	0.0	8.0	15.5	38.8	77.5	155.0	294.8
Alm. Maíz ^g	264.7	260.8	257.2	245.9	227.2	189.8	1445.6
Aceite pescado ^h	16.4	15.6	14.8	12.3	8.2	0.0	67.3
Lecitina de Soya ⁱ	10.0	10.0	10.00	10.0	10.0	10.0	60.0
Grenetina ^j	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	150.0
Premix Min-Vit ^k	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	60.0
Vit C ^l	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0
BHT ^m	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0
TOTAL	1000	1000	1000	1000	1000	1000	6000

6.6.1.1. Determinación de humedad.

La humedad se determinó pesando 2 g de cada una de las muestras, para esto se utilizó una espátula y moldes de aluminio. Las muestras fueron colocadas sobre los moldes de aluminio y pesadas en una termobalanza (Shimadzu, MOC-12OH). La termobalanza automáticamente indicó el porcentaje de humedad en solo unos minutos.

6.6.1.2. Determinación de cenizas.

Se colocaron a peso constante crisoles de porcelana, perfectamente limpios, introduciéndolos a la mufla a 300°C aproximadamente, durante una hora; posteriormente fueron extraídos de la mufla e introducidos al desecador para después pesarlos en una balanza analítica. Posteriormente se pesaron 2 g de la muestra en una balanza analítica, se depositaron las muestras en crisoles, de los cuales previamente se obtuvieron sus pesos constantes. Una vez pesados los

crisoles se procedió a incinerar las muestras utilizando un mechero hasta que no emitiera humo. Después fueron colocados dentro de una mufla por 5 horas a 550 °C para su calcinación. Se esperó a que la temperatura descendiera hasta los 50 °C para retirar los crisoles y colocarlos en desecadores (por cinco minutos). Se procedió a pesar nuevamente los crisoles con las cenizas de las muestras. El porcentaje de cenizas se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra fresca}} \times 100$$

6.6.1.3. Determinación de lípidos.

Para la extracción de la grasa de las muestras, se empleó un equipo Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo. El análisis se efectuó de la siguiente manera: Se pesaron 2 g de muestra y fueron colocadas en los dedales. Posteriormente, el dedal que contenía la muestra colocó dentro del extractor del Soxhlet. Se pesó el matraz balón y se procedió a armar el equipo completo del Soxhlet. Se conectaron las mangueras que componen las tuberías de agua y se abrió el paso de agua. Posteriormente se introdujo 60 ml éter de petróleo en cada matraz balón. En el matraz se calentó el éter, los vapores de este ascendieron a través de la desviación al condensador. Ahí, los vapores se condensaron. Se reguló la temperatura de tal forma que se obtuvieron gotas de éter condensado, permitiendo dejar gotear el éter condensado sobre la muestra durante tres horas aproximadamente completando 10 ciclos para extraer la grasa. Durante la extracción, el éter con grasa se desbordó y refluyó al matraz, en donde se acumuló la grasa extraída. Después de la extracción se suspendió el calentamiento, se dejó enfriar el equipo y se quitó el extractor del matraz. El matraz con el residuo fue introducido a una estufa a 75 °C durante una hora para obtener su peso constante. El porcentaje de peso de la grasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ extracto} = \frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

A = peso en gramos del residuo

B = peso en gramos de la muestra

6.6.1.4. Determinación de proteínas.

Para la determinación de proteínas de las muestras, se utilizó un digestor y un destilador, esto por el método Kjeldahl. Primero fue pesado 0.5 g de la muestra seca en una balanza, después se introdujo la muestra a un tubo de mineralización, una pastilla catalizadora y se le adicionó 20 ml de ácido sulfúrico. Posteriormente se inició la etapa de digestión precalentando el equipo a 380 °C por 20 minutos hasta llegar a la etapa tres por un periodo de 85 min. Una vez transcurridos los 85 min se pudo corroborar que la digestión había finalizado porque la disolución adquirió un color transparente. Después de enfriar los tubos mineralizadores se llevaron al destilador donde automáticamente añadió 40 mL de agua destilada, 45 mL de hidróxido de sodio al 32 % al tubo de digestión para alcalinizar fuertemente el medio y así desplazar el amoniaco de las sales amónicas. El amoniaco liberado fue arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, se recogió sobre un recipiente específico para recolectar la muestra donde fue liberado 60 mL de ácido bórico (al 4 % p/v) con indicador (pH 4.65) para así obtener la muestra final. El tiempo de destilación fue de aproximadamente 240 s. Para la valoración se usó una bureta de 25 mL y un soporte universal, de la disolución previamente destilada fueron colocados 100 mL de esta en un matraz de 250 mL y fue llevada debajo de la bureta sujeta por el soporte universal y se procedió a agregar 25 mL de ácido clorhídrico 0.5 N. Se abrió la bureta para que gotera, finalmente se esperó a que cambiara de color. Al primer cambio de color se detuvo el goteo y se anotaron los mL de ácido clorhídrico gastados. El porcentaje de proteínas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{V \times N \times 0.014}{P} \times 100$$

6.6.2. Determinación de perfil de ácidos grasos.

Para este análisis se inició metilando el extracto lipídico siguiendo el método de transmetilación descrito por Parrish *et al.* (2015). Posteriormente se analizaron los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) mediante cromatografía de gases equipada con un detector de ionización de llama (Agilent GC 6880, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.) utilizando hidrógeno como gas portador. La columna de GC (60 m × 0,25 mm con 0,25 µm espesor de la película; Agilent 122-2362 dB-23) fueron: temperatura inicial del horno de 50 °C durante 1 min, 50 a 140 °C a 30 °C min⁻¹, mantenido a 140 °C durante 5 min, de 140 a 240 °C a 4 °C min⁻¹, y finalmente 240 °C por 20 min. Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron en 230 y 260 °C, respectivamente. Finalmente, se identificaron y cuantificaron los FAME, comparando los tiempos de retención con un estándar interno (mezcla de FAME de 37 componentes, PUFA 1 y PUFA 3, Supelco/Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.).

6.7. Evaluación de dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

6.7.1. Peces.

Se emplearon juveniles tempranos de mojarra negra provenientes de la Unidad Experimental de Producción Acuícola (UEPA) ubicada en la Universidad del Papaloapan (UNPA) Campus Loma Bonita, Oaxaca. Para la obtención de los peces se sembraron reproductores de 300-400 g en una proporción de 2 a 1 (machos: hembras). Una vez obtenidos los alevines se mantuvieron en el sistema de acuarios del laboratorio acuícola de la Universidad del Papaloapan.

6.7.2. Diseño experimental.

Las unidades experimentales que se utilizaron consistieron en un sistema de recirculación cerrado compuesto por 18 acuarios de 85 L que estaban conectados a un blower de ½ HP, un filtro mecánico y un filtro de bio-bolas. Se sembraron 70 juveniles tempranos de siete días de edad por triplicado, a una densidad de siembra

de 0.82 peces/L. Se empleó un fotoperiodo de 12 L: 12 O. Se ajustó termostáticamente la temperatura del agua a 29 °C (± 1 °C).

6.7.3. Alimentación y evaluación de crecimiento.

La alimentación se realizó cinco veces al día al 10% de la biomasa total. Se cerró el flujo de agua en todos los acuarios durante 20 minutos después de alimentar para estimular la alimentación. El experimento tuvo una duración en total de 30 días. Durante este tiempo se realizaron dos biometrías (inicial y final) obteniendo el peso húmedo (balanza Ohaus Scout ± 0.01) y la longitud total mediante una fotografía digital (ImageJ). La evaluación de los índices de crecimiento se realizó a partir del peso húmedo y longitud total que se obtuvieron de cada biometría. Las fórmulas que se utilizaron se presentan a continuación.

Peso final (PF):

$$PF = \text{Peso individual final (g)} - \text{Peso individual inicial (g)}$$

Biomasa ganada (BG):

$$BG = \text{Biomasa final (g)} - \text{Biomasa inicial (g)}$$

Tasa de conversión alimenticia (TCA):

$$TCA = \frac{\text{Alimento suministrado (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

Tasa de crecimiento específico (TCE):

$$TCE = \frac{\ln \text{Peso final (g)} - \ln \text{Peso inicial (g)}}{\text{Días de cultivo}} \times 100$$

Tasa de crecimiento diario (TCD):

$$TCD = \frac{\text{Longitud final (cm)} - \text{Longitud inicial (cm)}}{\text{Días de cultivo}} \times 100$$

Ganancia de peso porcentual (GP%):

$$GP = \frac{\text{Peso promedio final} - \text{Peso promedio inicial}}{\text{Peso promedio final}} \times 100$$

Tasa de eficiencia proteica (TEP):

$$TEP = \frac{\text{Peso promedio final} - \text{Peso promedio inicial}}{\text{Proteína suministrada (g)}} \times 100$$

6.7.4. Supervivencia.

El porcentaje de supervivencia (S) se calculó usando la siguiente formula:

$$S = \frac{\text{Peces cosechados}}{\text{Peces sembrados}} \times 100$$

6.7.5. Análisis estadístico.

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de normalidad y homocedasticidad. Dado que los datos mostraron una distribución normal se procedió a realizar un ANDEVA de una vía. Las diferencias entre los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 %. Todos los análisis se realizaron en el programa Minitab19.

7. RESULTADOS

7.1. Caracterización de las harinas

7.1.1. Análisis químico proximal

En la Tabla 2 se presenta la composición química proximal de insumos utilizados en formulación de dietas experimentales con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) para la alimentación de la mojarra negra (*V. fenestrata*). El contenido proteico fue más alto en la harina de pescado, registrando un valor del 77.2 %, seguido de las harinas de ave prime con 68.4 % y cucaracha 61.3 %. El porcentaje de proteína más bajo se registró en la harina de chapulín 42.8 %. Por otra parte, la harina de ave prime presentó el valor más alto con un 21.9 % en cuanto a contenido de lípidos, seguida de las harinas de cucaracha 14.2 % y chapulín 10.5 %, mientras que, la harina de soya presentó el valor más bajo 6.4 %. El contenido de cenizas registrado en la harina de pescado con un 13.3 % fue el más alto, por otra parte, el contenido más bajo se registró en la harina de chapulín con un 2.4 % de cenizas. El contenido de extractos libres de nitrógeno registrado en la harina de chapulín con un valor de 44.1 % fue más alto en comparación con el resto de las harinas, seguida de la harina de soya 41.8 % y bovino 38.8 %. Mientras que, la harina de pescado registró el valor más bajo de 0.5 %. Finalmente, el contenido de humedad más alto se registró en la harina de cucaracha con un 6.8 %, seguido de las harinas de ave prime 5.6 % y pescado 5.5 % y registrando el valor más bajo la harina de chapulín con un valor de 0.8 %.

7.1.2. Determinación del Perfil de ácidos grasos

En la Tabla 3 se presentan el perfil de ácidos grasos individuales y las sumatorias que integran los ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de las harinas utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales. La muestra de harina de pescado (HP) presentó una mayor proporción de SFA con un valor de 51.41 % con respecto a la harina de cucaracha (HC) y harina de chapulín (HG) cuyos valores fueron similares. La harina de cucaracha presentó los valores más elevados para MUFA de 41.40 % y los más bajos para PUFA. La HG presentó una mayor proporción de PUFA con

un 32.38 % que el resto de las harinas. Sin embargo, a pesar de lo anterior, en ambas harinas de insectos se registró una ausencia de LC-PUFA (ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga) que incluyen al DHA, EPA y ARA. Por el contrario, la HP registró valores de 25.06, 0.25 y 0.04 % respectivamente.

Tabla 2. Composición química proximal de insumos utilizados en formulación de dietas experimentales con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) para la alimentación de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

INSUMOS	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	ELN (%)	Humedad (%)
Harina de Pescado Prime	77.2	8.9	13.3	0.5	5.5
Harina Ave Prime	68.4	21.9	3.0	6.6	5.6
Harina de Bovino	48.2	9.2	2.7	39.8	4.7
Harina de Soya	48.9	6.4	2.7	41.8	4.8
Harina de Cucaracha	61.3	14.2	2.5	21.8	6.8
Harina de Chapulín	42.8	10.5	2.4	44.1	0.8
Almidón	-	-	-	-	3.6

Por otra parte, la suma de los ácidos grasos n-9 monoinsaturados (\sum n-9 LC-MUFA) fue más alta en la harina de cucaracha registrando un valor 34.48 % en comparación con el resto de las harinas. Similar a lo anterior, la suma de ácidos grasos n6 poliinsaturados (\sum n-6 LC-PUFA) registró un mayor contenido en la harina de cucaracha.

Para ambos parámetros mencionados anteriormente la harina de pescado (HG) presentó los valores más bajos. La suma de ácidos grasos n3 poliinsaturados (\sum n-3 LC-PUFA) registró el valor más alto de 26.38 % en la harina de pescado en comparación con el resto de las harinas analizadas. La proporción n-3/n-6 fue más alta en la harina de chapulín con un porcentaje de 32.38 % seguida de la harina de cucaracha con un valor de 20.18 %.

En cuanto a la proporción de ácido linoleico/linolénico (Ratio LA/ALA) se observó un mayor porcentaje en la harina de cucaracha en comparación con el resto de las harinas. Finalmente, las proporciones de ácido docosahexaenoico/eicosapentaenoico (Ratio DHA/EPA) y ácido araquidónico/eicosapentaenoico (Ratio ARA/EPA) registraron los valores más altos en la harina

de pescado en comparación con el resto de las harinas.

Tabla 3. Perfil de ácidos grasos (%) (media \pm Desv. Std.) de harinas utilizadas para dietas experimentales.

Ácidos grasos (%)	Harina de pescado	Harina de cucaracha	Harina de chapulín
Ácido láurico (12:0)	0.26 \pm 0.14	0.56 \pm 0.55	0.51 \pm 0.00
Ácido tridecílico (13:0)	0.10 \pm 0.07	0.21 \pm 0.23	0.05 \pm 0.01
Ácido mirístico (14:0)	6.43 \pm 1.20	2.61 \pm 0.45	1.97 \pm 0.02
Ácido pentadecílico (15:0)	0.61 \pm 0.04	0.57 \pm 0.36	0.35 \pm 0.00
Ácido palmítico (16:0)	23.81 \pm 0.64	27.12 \pm 4.71	24.88 \pm 0.36
Ácido margárico (17:0)	0.57 \pm 0.09	0.57 \pm 0.81	0.87 \pm 0.01
Ácido esteárico (18:0)	4.86 \pm 1.60	4.49 \pm 4.12	7.83 \pm 0.07
Ácido eneicosílico (21:0)	14.77 \pm 0.32	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Σ SFA	51.41 \pm 4.09	36.13 \pm 11.24	36.46 \pm 0.47
Ácido miristoleico (14:1)	0.00 \pm 0.00	0.38 \pm 0.30	0.17 \pm 0.00
Ácido cis-10- pentadecenoico (15:1)	0.12 \pm 0.00	0.31 \pm 0.28	0.10 \pm 0.00
Ácido cis-10- pentadecenoico (16:1)	5.58 \pm 0.39	5.99 \pm 0.01	6.02 \pm 0.06
Ácido palmitoleico (17:1)	0.33 \pm 0.09	0.24 \pm 0.20	0.25 \pm 0.01
Ácido oleico (18:1n-9)	6.55 \pm 0.45	34.48 \pm 2.71	23.11 \pm 0.26
Ácido eicosenóico (20:1n-9)	0.47 \pm 0.35	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ácido nervónico (24:1n-9)	0.88 \pm 0.08	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Σ MUFA	13.92 \pm 1.36	41.40 \pm 3.50	29.65 \pm 0.33
Ácido linoleico (18:2n-6)	1.89 \pm 1.85	13.6 \pm 0.46	12.69 \pm 0.43
Ácido γ -linolénico (18:3n-6)	0.24 \pm 0.02	3.02 \pm 3.81	0.30 \pm 0.03
Ácido α -linolénico (18:3n-3)	1.16 \pm 0.07	4.00 \pm 3.66	19.39 \pm 0.43
(20:2)	0.34 \pm 0.07	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ácido eicosatrienoico (20:3n-3)	1.07 \pm 0.06	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ácido araquidónico (20:4n-6)	0.04 \pm 0.05	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ácido eicosapentaenoico (20:5n-3)	0.25 \pm 0.21	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Ácido docosahexaenoico (22:6n-3)	25.06 \pm 2.06	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Σ PUFA	30.06 \pm 4.40	20.18 \pm 7.93	32.38 \pm 0.89
Σ n-9 LC-MUFA	7.90 \pm 0.87	34.48 \pm 2.71	23.11 \pm 0.26
Σ n-6 LC-PUFA	2.17 \pm 1.93	16.18 \pm 4.27	12.99 \pm 0.46
Σ n-3 LC-PUFA	26.38 \pm 2.33	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
(n-3)/(n-6)	12.15	20.18	32.38
Ratio LA/ALA	1.63	3.29	0.65
Ratio DHA/EPA	101.46	0.00	0.00
Ratio ARA/EPA	0.15	0.00	0.00

Σ SFA=suma de ácidos grasos saturados, Σ MUFA= suma de ácidos grasos monoinsaturados, Σ PUFA n6= suma de ácidos grasos n6 poliinsaturados, Σ PUFA n3= suma de ácidos grasos n3

poliinsaturados. Los resultados representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar.

7.2. Caracterización de las dietas experimentales

7.2.1. Análisis Químico Proximal.

En la Tabla 4 se presentan los valores de proteína, lípidos, ceniza y extractos libres de nitrógeno encontrados en las dietas experimentales utilizadas para alimentación de la mojarra negra (*V. fenestrata*). Las dietas fueron diseñadas para ser isoproteicas (42%) e isolípidicas (8%). En cuanto al resto de componentes, el contenido de cenizas registró el valor más alto en la dieta D25 y el valor más bajo en la dieta D0, mientras que, el extracto libre de nitrógeno fue más alto en la dieta D0 y presentó el valor más bajo en la dieta D100.

Tabla 4. Composición química proximal (media \pm Desv. Std.) de dietas experimentales utilizadas para la alimentación de la mojarra negra (*V. fenestrata*).

DIETAS	Proteína	Lípidos	Ceniza	ELN
D0	41.31 \pm 0.37	8.46 \pm 1.33	11.44 \pm 0.44	39.69 \pm 2.08
D5	42.76 \pm 0.68	8.47 \pm 0.12	12.08 \pm 1.10	38.09 \pm 2.29
D10	42.12 \pm 1.71	7.36 \pm 0.09	12.78 \pm 0.72	36.82 \pm 1.72
D25	42.11 \pm 0.24	8.38 \pm 0.12	14.22 \pm 1.58	35.74 \pm 2.04
D50	41.76 \pm 0.30	7.88 \pm 0.06	13.84 \pm 0.72	36.11 \pm 0.68
D100	42.50 \pm 0.57	8.41 \pm 0.10	13.41 \pm 0.63	33.97 \pm 0.23

7.2.2. Determinación del Perfil de ácidos grasos

Los porcentajes de ácidos grasos individuales y las sumatorias que integran los ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de las dietas experimentales se presentan en la Tabla 5. Los porcentajes de ácidos grasos individuales y las sumatorias que integran los ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de las dietas experimentales se presentan en la Tabla 5. Los valores de SFA presentaron una tendencia al incremento conforme

aumentó el nivel de sustitución, esto, se puede observar principalmente en los valores obtenidos en la D25 y D50.

Similar a lo anterior, los valores de MUFA y PUFA fueron incrementando conforme hubo un aumento en el nivel de sustitución, reportando el valor más alto en la D50 y D25 con un 48.31 % y 27.26 % respectivamente. De la misma forma, la proporción de ARA y EPA presentaron un incremento al aumentar la sustitución, sin embargo, el valor de DHA fue disminuyendo al incrementar la inclusión de la mezcla de chapulín y cucaracha.

Por otra parte, la suma de los ácidos grasos n-9 monoinsaturados (\sum n-9 LC-MUFA) fue más alta en D50 registrando un valor 32.20% en comparación con el resto de las dietas. Similar a lo anterior, la suma de ácidos grasos n6 poliinsaturados (\sum n-6 LC-PUFA) registró un mayor contenido en la D50 con un valor de 17.74 %. Para ambos parámetros mencionados anteriormente la dieta control (D0) presentó los valores más bajos. La suma de ácidos grasos n3 poliinsaturados (\sum n-3 LC-PUFA) registró el valor más alto con un 6.88 % en la D100 en comparación con el resto de las dietas analizadas reportando nuevamente el valor más bajo la D0 con 1.67 %.

La proporción n-3/n-6 fue más alta en la D100 con un valor de 0.46 % seguida de la D25 con un valor de 0.33 %. En cuanto a la proporción de ácido linoleico/linolénico (Ratio LA/ALA) y ácido docosahexaenoico/eicosapentaenoico (Ratio DHA/EPA) se observó un mayor porcentaje para ambos parámetros en la D0 en comparación con el resto de las dietas. Finalmente, las proporciones de ácido araquidónico/ eicosapentaenoico (Ratio ARA/EPA) registraron los valores más altos en la D100 con un valor de 7.07 % seguido de la D50 con el 3.94 %.

Tabla 5. Porcentaje de ácidos grasos totales (media \pm Desv. Std.) de dietas experimentales con inclusión de harina de insecto para juveniles de *V. fenestrata*. Ácido linoleico (18:2n-6), ácido α -linolénico (18:3n-3), ácido araquidónico, ARA (20:4n-6), ácido eicosapentaenoico, EPA (20:5n-3), y ácido docosahexaenoico, DHA (22:6n-3).

Ácido graso (%)	D0	D5	D10	D25	D50	D100
Ácido láurico (12:0)	0.11 \pm 0.06	0.16 \pm 0.06	0.12 \pm 0.07	0.65 \pm 0.48	0.55 \pm 0.54	0.20 \pm 0.06
Ácido tridecílico (13:0)	0.05 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	0.05 \pm 0.02	0.54 \pm 0.51	0.21 \pm 0.12	0.21 \pm 0.20
Ácido mirístico (14:0)	3.95 \pm 0.58	3.53 \pm 0.25	3.47 \pm 1.36	2.38 \pm 0.82	2.41 \pm 0.00	1.68 \pm 0.05
Ácido pentadecílico (15:0)	0.41 \pm 0.05	0.39 \pm 0.02	0.44 \pm 0.08	1.17 \pm 0.99	1.57 \pm 2.07	0.56 \pm 0.69
Ácido palmítico (16:0)	25.12 \pm 3.11	24.05 \pm 0.77	25.46 \pm 10.02	20.87 \pm 3.25	21.64 \pm 1.10	22.42 \pm 4.92
Ácido margárico (17:0)	0.56 \pm 0.07	0.63 \pm 0.00	0.97 \pm 0.15	2.36 \pm 2.02	3.44 \pm 1.39	0.86 \pm 1.04
Ácido esteárico (18:0)	7.57 \pm 0.48	8.61 \pm 0.43	9.38 \pm 2.55	7.52 \pm 0.43	7.89 \pm 1.41	8.93 \pm 0.83
Ácido araquídico (20:0)	0.34 \pm 0.00	0.47 \pm 0.03	1.45 \pm 0.66	2.08 \pm 0.41	1.97 \pm 1.10	2.02 \pm 1.76
Ácido eneicosílico (21:0)	3.65 \pm 0.28	4.30 \pm 0.33	5.08 \pm 0.43	2.58 \pm 2.11	4.41 \pm 1.89	1.40 \pm 0.98
Ácido behénico (22:0)	0.00 \pm 0.00	0.26 \pm 0.00	0.66 \pm 0.40	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.27 \pm 0.14
Σ SFA	41.75 \pm 4.63	42.45 \pm 1.86	47.08 \pm 15.74	40.15 \pm 11.07	44.09 \pm 9.71	38.54 \pm 10.67
Ácido miristoleico (14:1)	0.29 \pm 0.04	0.27 \pm 0.01	0.28 \pm 0.06	0.19 \pm 0.27	1.07 \pm 1.06	0.53 \pm 0.32
Ácido cis-10- pentadecenoico (15:1)	0.02 \pm 0.00	0.09 \pm 0.01	0.03 \pm 0.04	1.52 \pm 1.92	0.07 \pm 0.10	0.05 \pm 0.07
Ácido palmitoleico (16:1)	5.20 \pm 0.61	4.92 \pm 0.06	5.22 \pm 1.82	4.60 \pm 0.14	13.32 \pm 13.31	2.41 \pm 3.13
Ácido heptadecenoico (17:1)	0.34 \pm 0.00	0.10 \pm 0.01	0.48 \pm 0.14	1.12 \pm 1.01	1.65 \pm 1.23	0.92 \pm 0.69

Ácido oleico (18:1n-9)	25.99±3.20	26.64±1.74
Ácido eicosenóico (20:1n-9)	0.59±0.00	0.84±0.04
Ácido nervónico (24:1n-9)	0.39±0.05	0.39±0.02
Σ MUFA	32.81±3.91	33.26±1.89
Ácido linoleico (18:2n-6)	11.63±0.49	11.66±1.00
Ácido γ-linolénico (18:3n-6)	0.16±0.07	0.21±0.00
Ácido α-linolénico (18:3n-3)	1.41±0.15	1.46±0.08
(20:2)	0.32±0.05	0.33±0.03
Ácido γ-eicosatrienoico (20:3n-6)	0.26±0.06	0.26±0.02
Ácido eicosatrienoico (20:3n-3)	0.00±0.00	0.00±0.00
Ácido araquidónico (20:4n-6)	0.87±0.09	0.96±0.08
Ácido eicosapentaenoico (20:5n-3)	0.26±0.01	0.25±0.01
Ácido docosahexaenoico (22:6n-3)	4.43±0.51	5.13±0.89
Σ PUFA	19.34±1.43	20.25±2.11
Σ n-9 LC-MUFA	26.96±3.25	27.87±1.80
Σ n-6 LC-PUFA	12.92±0.71	13.08±1.10
Σ n-3 LC-PUFA	1.67±0.16	1.71±0.09
(n-3)/(n-6)	0.13	0.13

20.75±3.86	26.22±3.86	27.42±0.85	28.48±7.13
1.36±0.87	3.33±2.30	1.67±0.82	1.31±1.15
1.44±0.31	0.00±0.00	3.11±2.84	0.97±0.62
29.83±7.11	36.97±9.52	48.31±20.22	34±65.18
13.48±4.15	12.15±3.36	13.02±5.88	13.43±1.85
0.66±0.47	1.75±1.46	0.98±0.78	0.15±0.08
2.48±0.07	4.27±2.28	4.33±1.52	5.61±1.25
1.10±0.70	1.58±0.10	0.83±0.01	0.33±0.15
0.88±0.39	0.90±0.03	0.94±0.40	0.28±0.14
0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.09±0.59
1.52±0.06	2.14±0.06	2.80±2.32	1.24±1.76
0.95±0.72	1.35±0.44	0.71±0.25	0.18±0.23
5.51±1.35	3.13±2.49	3.38±0.28	0.71±0.38
26.57±7.92	27.26±10.22	26.98±11.44	23.02±6.43
28.83±5.04	29.54±6.17	32.20±4.51	30.75±8.91
16.53±5.07	16.94±4.91	17.74±9.38	15.10±3.83
3.43±0.79	5.62±2.72	5.04±1.77	6.88±2.06
0.21	0.33	0.28	0.46

Ratio LA/ALA	8.22	7.97	5.43	2.85	3.01	2.39
Ratio DHA/EPA	17.03	20.55	5.83	2.32	4.75	4.03
Ratio ARA/EPA	3.33	3.38	1.61	1.59	3.94	7.07

Σ SFA=suma de ácidos grasos saturados, Σ MUFA= suma de ácidos grasos monoinsaturados, Σ PUFA n6= suma de ácidos grasos n6 poliinsaturados, Σ PUFA n3= suma de ácidos grasos n3 poliinsaturados. Los resultados representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar.

7.3. Evaluación de las dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (*V. fenestrata*)

Los resultados obtenidos para el crecimiento e índices de rendimiento productivo al final de los 30 días de experimentación se muestran en la Tabla 8. El peso final (PF) mostró que las dietas D0 y D50 presentaron valores significativamente ($P<0.05$) más altos en comparación con el resto de las dietas evaluadas, sin diferencias significativas entre el resto de los grupos. La longitud total (LT) registró el valor significativamente ($P<0.05$) más alto en la dieta D0 en comparación con el resto de las dietas experimentales.

La biomasa ganada (BG) mostró que la dieta D0 registró el valor más significativamente ($P<0.05$) alto en comparación con el resto de las dietas experimentales, a excepción de la dieta D50. La tasa de crecimiento específica (TCE) registraron los valores significativamente más altos en los tratamientos D0, D5 y D50 en comparación con el resto de los tratamientos ($P<0.05$). Por otra parte, las dietas D0 y D50 registraron los valores más altos para la ganancia de peso porcentual (GP%) y la tasa de eficiencia proteica (TEP) en comparación con el resto de las dietas y el grupo control ($P<0.05$).

En cuanto a la tasa de conversión alimenticia (TCA) los grupos D0 y D50 registraron los valores más bajos en comparación con los tratamientos D5, D25 y D100 ($P<0.05$).

Finalmente, no se registraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de supervivencia ($P>0.05$), sin embargo, se puede observar una tendencia hacia una disminución de la supervivencia con el incremento del reemplazo de harina de pescado por harina de insectos.

Tabla 6. Crecimiento e índices productivos obtenidos en juveniles de mojarra negra (*V. fenestrata*) alimentados durante 30 días con dietas experimentales con sustitución de la mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*). Media \pm Desv. Std.

	Tratamiento					
	D0	D5	D10	D25	D50	D100
PF	0.64 \pm 0.10 ^a	0.54 \pm 0.12 ^b	0.52 \pm 0.13 ^b	0.52 \pm 0.12 ^b	0.63 \pm 0.13 ^a	0.52 \pm 0.12 ^b
LT	2.98 \pm 0.31 ^a	2.62 \pm 0.41 ^{bc}	2.51 \pm 0.34 ^c	2.79 \pm 0.37 ^b	2.67 \pm 0.37 ^{bc}	2.77 \pm 0.38 ^b
BG	43.60 \pm 1.43 ^a	34.39 \pm 2.18 ^{bc}	33.25 \pm 1.57 ^c	32.92 \pm 3.37 ^c	41.19 \pm 5.34 ^{ab}	33.40 \pm 1.76 ^c
TCE	8.41 \pm 0.10 ^a	7.85 \pm 0.19 ^a	7.75 \pm 0.14 ^b	7.71 \pm 0.31 ^b	8.39 \pm 0.41 ^a	7.76 \pm 0.15 ^b
GP%	1179.95 \pm 16.17 ^a	956.98 \pm 60.79 ^b	925.37 \pm 43.65 ^b	916.07 \pm 93.68 ^b	1146.32 \pm 148.48 ^a	929.43 \pm 48.94 ^b
TEP	128.20 \pm 4.52 ^a	104.52 \pm 6.64 ^b	96.94 \pm 4.57 ^b	92.20 \pm 9.42 ^b	115.38 \pm 14.94 ^a	93.55 \pm 4.92 ^b
TCA	1.36 \pm 0.05 ^a	1.76 \pm 0.11 ^b	1.66 \pm 0.08 ^{ab}	1.78 \pm 0.19 ^b	1.39 \pm 0.19 ^a	1.78 \pm 0.09 ^b
SV	99.52 \pm 0.83 ^a	99.05 \pm 0.83 ^a	98.09 \pm 0.83 ^a	98.57 \pm 1.43 ^a	98.57 \pm 2.48 ^a	96.66 \pm 0.83 ^a

Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$). PF = peso final, LT = longitud total, BG = biomasa ganada, TCE = tasa específica de crecimiento, GP% = ganancia en peso porcentual, TEP = tasa específica de crecimiento, TCA = tasa de conversión alimenticia, SV = supervivencia final.

8. DISCUSIÓN

8.1. Caracterización de las harinas

8.1.1. Análisis químico proximal y perfil de ácidos grasos

La harina de pescado es uno de los principales componentes de los alimentos utilizados en la acuicultura. Generalmente se agrega a las dietas animales para aumentar la eficiencia alimenticia y el crecimiento animal a través de una mejor palatabilidad del alimento; también mejora la captación, digestión y absorción de nutrientes (Mile y Chapman, 2006). Sin embargo, en la actualidad la harina de pescado presenta serios problemas que la están convirtiendo rápidamente en una fuente económica y medioambiental insostenible (Tacon y Metian, 2008). La escasez actual de harina de pescado motiva a los investigadores a buscar nuevas fuentes de nutrientes similares a la harina de pescado, en particular en cuanto al perfil de aminoácidos y ácidos grasos.

Debido a lo anterior, se han desarrollado estudios para encontrar fuentes alternativas para la obtención de harinas con alto contenido nutricional (proteínas de alto valor biológico y ácidos grasos), destacando actualmente el uso de insectos como es el caso del chapulín de la milpa (*S. purpurascens*) y la cucaracha (*N. cinerea*). Los estudios han establecido que el contenido de nutrientes de los insectos comestibles es comparable o incluso más alto que las fuentes comúnmente utilizadas, como la harina de pescado (Carvajal-Soriano, 2022).

En nuestros resultados del análisis químico proximal la harina de pescado (77.2 %) registró el valor más alto en cuanto a proteína, mientras que la harina de cucaracha registró un contenido proteico de 61.3 %. Esto es similar a lo reportado por De Oliveira *et al.* (2017) quienes evaluaron el análisis químico proximal de harina de cucaracha (*N. cinerea*) para el enriquecimiento de pan y reportaron un porcentaje de proteína de 63.5 %. Sin embargo, lo anterior difiere de lo reportado por Juárez-Barrientos *et al.* (2024) quienes evaluaron la composición química proximal, perfil térmico y propiedades funcionales de harina chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) y sus mezclas, y reportaron un porcentaje de proteína de 38.2 %. Por otra parte, la harina de chapulín registró los valores más bajos de proteína (42.8 %), lo cual contrasta con lo reportado por Rodríguez-Miranda *et al.*

(2019) quienes realizaron una revisión bibliográfica del uso del chapulín (*S. purpurascens*) como ingrediente alimenticio y reportaron niveles en un rango de 56-75.8 %. El valor de proteína registrado en el presente estudio fue superior a lo observado por Juárez-Barrientos *et al.* (2024), quienes obtuvieron valores de proteína de 35.9 %. Las diferencias reportadas pueden ser atribuidas a factores intrínsecos tales como el ambiente, distribución geográfica del insecto, la etapa de vida y la alimentación. Estos factores en conjunto con el método utilizado para determinar el contenido proteico pueden afectar la estimación de este.

En este sentido, es importante destacar que los insectos poseen una cantidad significativa de quitina, la cual se encuentra presente en el exoesqueleto y contiene nitrógeno (Juárez-Barrientos *et al.*, 2024). Es importante considerar el contenido nitrogenado de la quitina presente en los insectos al llevar a cabo un análisis de nitrógeno mediante el método Kjeldahl, ya que este método determina el contenido total de nitrógeno y utiliza un factor de conversión para estimar el contenido proteico (Ibarra-Herrera *et al.*, 2020), por lo que se podría sobreestimar el porcentaje proteico al utilizar un factor de conversión de la proteína de 6.25 ya que, en la mayoría de los estudios (70%) donde se reporta el contenido de proteína, se utiliza un factor de conversión de 6.25 (usualmente aplicado para productos cárnicos o alimentos genéricos) tanto para *S. purpurascens* (Ganguly & Moreno, 2021; Rivas-Vela *et al.*, 2023) como para *N. cinerea* (de Oliveira *et al.*, 2017). En el presente estudio se consideró el nitrógeno total estimado incluyendo la quitina presente en los insectos, de esta manera, la proteína de los insectos se calculó con un factor de 4.75 similar a lo reportado por Janssen *et al.* (2017), en lugar del factor 6.25, el cual es el estándar aplicado en alimentos.

El porcentaje de lípidos registrados en el presente análisis presentó valores más altos para la harina de ave prime, seguido de la harina de cucaracha. Los resultados obtenidos para esta harina difieren de lo reportado por De Oliveira *et al.* (2017) quienes evaluaron el análisis químico proximal de harina de cucaracha (*N. cinerea*) para el enriquecimiento de pan con harina de cucaracha y mencionan que el porcentaje de lípidos observado fue de 23.2 %. A su vez, Juárez-Barrientos *et al.* (2024) quienes evaluaron la composición química proximal de *N. cinerea* y reportan

un porcentaje menor de lípidos (8.5 %) en comparación con lo obtenido en el presente estudio.

La harina de pescado registró el porcentaje más alto de cenizas (13.3 %) estos resultados son similares a los reportados por Kiriimi *et al.* (2016). Los autores evaluaron la composición química proximal de la harina de pescado y reportaron un porcentaje de 16.1 %. Los porcentajes más bajos en cuanto al contenido de cenizas se registraron en la harina de chapulín y cucaracha, 2.4% y 2.5% respectivamente. Los resultados obtenidos para el caso del chapulín son menores a los reportados por Juárez-Barrientos *et al.* (2024), los cuales reportan un valor de 12.3 %. Los resultados obtenidos para el caso de la cucaracha (*N. cinerea*) concuerdan con lo reportado por De Oliveira *et al.* (2017) los cuales reportan que la harina de cucaracha presenta un porcentaje de cenizas de 4.6 %.

El porcentaje de extractos libres de nitrógeno (ELN) fue menor en la harina de pescado en comparación con lo reportado por Kiriimi *et al.* (2016) quienes evaluaron la composición química proximal de la harina de pescado y registraron un porcentaje de 4.9 %. Por el contrario, la harina de chapulín (*S. purpurascens*) registró el valor más alto en cuanto a ELN, esto concuerda con lo reportado por Juárez-Barrientos *et al.* (2024) para la de harina de *S. purpurascens* (43.74 %). En este mismo estudio, se reporta que el porcentaje de ELN presente en la harina de cucaracha fue de 47.4 % siendo este valor más alto que el obtenido en el presente estudio (21.8 %). Los valores obtenidos cobran relevancia al tomar en cuenta la importancia de los extractos libres de nitrógeno presentes en dietas para peces, según Barandica (2010), los ELN son ingredientes importantes en las dietas acuícolas al ser un suministro de energía de bajo costo, principalmente en forma de azúcares con valores no superiores al 20%. Debido a lo anterior, el contenido de ELN presentes en las harinas utilizadas para la elaboración de las dietas de este trabajo podría influir en la digestibilidad de las dietas y, por lo tanto, en el crecimiento de los peces. Sin embargo, es fundamental realizar en estudios posteriores el análisis de digestibilidad de la proteína, ELN y el contenido de quitina presente en las harinas de insectos, así como un análisis de digestibilidad de este, para poder

realizar una aseveración del efecto que tiene la composición química de las harinas en el crecimiento de la mojarra negra.

A pesar de que se ha reportado que la harina de pescado es la principal fuente de lípidos poliinsaturados de cadena larga (Bahurmiz, 2007), especialmente de la serie omega 3 (ARA, EPA y DHA) los resultados del presente estudio mostraron que las harinas de insectos (HC y HG) tienen una mayor proporción de MUFA y PUFAS que la harina de pescado que si bien, estos son diferentes de los LC-PUFA (ARA, EPA y DHA) contienen ácidos grasos tales como el linoleico y linolénico que son importantes en peces de agua dulce (TEA, 1996). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Torruco-Uco *et al.* (2018) quienes evaluaron el perfil de ácidos grasos del chapulín (*S. purpurascens*) y observaron que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAS) se encontraron en mayor proporción en la grasa de chapulín que en la harina de pescado, principalmente el ácido linolénico seguido por el ácido linoleico. Así mismo, Thompson (1973) analizó el perfil de ácidos grasos de la cucaracha (*N. cinerea*) y reportó que los principales ácidos grasos presentes fueron el ácido oleico y los ácidos grasos monoinsaturados. Lo anterior concuerda con lo reportado en el presente estudio donde se registraron valores más altos de MUFA en ambos insectos en comparación con la harina de pescado. Las variaciones en el contenido de grasa de los insectos generalmente se deben al tipo de especie, método de extracción, dieta y condiciones de crianza (Yi *et al.*, 2013; Cito *et al.*, 2017). Algunas especies de insectos presentan una cantidad relativamente baja de ácidos grasos saturados (SFA) y, en consecuencia, una mayor cantidad de PUFA. Los PUFA presentes incluyen los ácidos oleico (18:1n-9), linoleico (18:2n-6) y -linolénico (18:3n-3) y suelen estar presentes en diferentes porcentajes dependiendo de la dieta (Ghosh *et al.*, 2017; Ravzanaadii *et al.*, 2012).

Dada la falta de bibliografía existente que evalúe el contenido de ácidos grasos en los insectos utilizados en el presente estudio para la obtención de harinas, las comparaciones se realizaron considerando los insectos más estudiados para su uso potencial en dietas acuícolas. Al respecto Hachero-Cruzado *et al.* (2024) quienes evaluaron el efecto del reemplazo parcial (5 y 10 %) de la harina de origen vegetal y harina de pescado por la harina de *Tenebrio molitor* y analizaron el perfil

de ácidos grasos de las harinas de insectos, el rendimiento del crecimiento y el perfil lipídico del lenguado senegalés (*Solea senegalensis*). Al respecto reportaron niveles altos de MUFA principalmente ácido oleico, así como de ácido linoleico, lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio donde se registraron valores más altos de ácido oleico y linoleico en harinas de chapulín en comparación con la harina de pescado. Se ha demostrado que factores intrínsecos como el ambiente, el origen y la etapa del ciclo de vida, así como la alimentación de los insectos, pueden afectar la composición nutricional de los insectos incluyendo el perfil de ácidos grasos. (Ibarra-Herrera, 2020).

Similar a lo anterior, Ravzanaadii *et al.* (2012) evaluaron el valor nutrimental del gusano de la harina mediante un análisis químico proximal y perfil de ácidos grasos registrando que, los ácidos grasos con mayor proporción en tal insecto fueron el ácido oleico y linoleico, lo anterior concuerda con lo reportado en el presente estudio. Al igual que lo mencionado por Gasco *et al.* (2022) quienes evaluaron el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA), la materia seca (MS), proteína cruda (PB), extracto etéreo (EE), energía bruta (GE), aminoácidos (AA) y ácidos grasos principales (AG) de harinas de tres insectos (*T. molitor*, *H. illucens* y *Musca domestica*) para la elaboración de dietas destinadas para la trucha arcoíris (*O. mykiss*) y sus resultados evidenciaron niveles altos de ácido oleico y linoleico en las harinas de *T. molitor* y *M. doméstica*, respectivamente. En cuanto a la digestibilidad, las harinas de insectos probadas resultaron ser altamente digeribles y las diferencias entre ellas dependieron tanto de la especie de insecto como de las técnicas de producción específicas de las harinas.

Fabrikov *et al.* (2021) evaluaron el efecto de la alimentación con dieta de harina de insectos (*T. molitor* y *H. Illucens*) sobre la composición de ácidos grasos de filetes de dorada (*Sparus aurata*), tenca (*Tinca tinca*) y trucha arcoíris (*O. mykiss*), reportando que la harina de *T. molitor* registró los valores más altos de MUFA principalmente de ácido oleico, así como de PUFAS principalmente ácido linoleico en comparación con la mosca soldado-negra (*H. Illucens*). Sin embargo, las deficiencias de los LC-PUFAS (DHA, EPA y ARA) en las dietas también fueron observadas en el músculo de los peces, en general el uso de harina de insectos

indujo una disminución de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) en los filetes de pescado, y cuanto mayor era la inclusión de insectos (dietas H30 y T30), mayores eran las disminuciones en los contenidos de EPA y DHA.

En contraparte, Zhou *et al.* (2016) reportan valores de SFA más elevados en comparación con los MUFA y PUFAS, además de la ausencia de LC-PUFAS (DHA, EPA y ARA) en larvas de mosca soldado-negra (*H. illucens*). Sin embargo, a pesar de la ausencia de LC-PUFAS en las larvas de mosca soldado-negra, el crecimiento, los parámetros biológicos, la composición próxima, la composición de aminoácidos y los parámetros bioquímicos de la carpa (*Cyprinus carpio*) no se vieron afectados por el reemplazo de mosca soldado-negra.

De acuerdo con Ibarra-Herrera *et al.* (2020) el perfil de ácidos grasos, así como la composición química proximal de los insectos está en función de diversos factores tales como: etapa de vida, ambiente, temperatura, alimentación, sexo y su distribución geográfica (en caso de ser provenientes de capturas). En este sentido, se ha demostrado que la composición química de los insectos puede modificarse por diversos factores, incluidos el sexo, los factores ambientales (temperatura, duración del día, humedad, intensidad de la luz), la etapa de la vida y la dieta (Haber *et al.*, 2019; Kulma *et al.*, 2019; Lehtovaara *et al.*, 2017; Rutaro *et al.*, 2018).

Ibarra-Herrera *et al.* (2020) evaluaron la composición nutricional de saltamontes alimentados con dos cultivos diferentes, alfalfa y forraje verde de maíz y concluyeron que los saltamontes alimentados con alfalfa presentaron un mayor valor nutritivo que los alimentados con maíz. La dieta de los saltamontes podría controlarse para cambiar su composición química hacia el diseño de alimentos basados en insectos con mayor valor nutricional como alimento alternativo. Por otra parte, recientemente se ha demostrado que alimentar larvas de BSF (mosca soldado-negra) con medios que contenían parcialmente algas marinas (*Ascophyllum nodosum*), enriqueció a las larvas con nutrientes marinos, como ácido eicosapentaenoico (EPA) y yodo (Liland *et al.*, 2017). Lo anterior se ha visto reflejado en el crecimiento de insectos pero además en el desempeño productivo de peces que han sido alimentados con insectos, tal es el caso de Belghit *et al.* (2018) quienes observaron que los peces alimentados con dietas con aceite de

larvas de mosca soldado-negra (BSF) cultivadas en sustrato enriquecido con macroalgas marinas (IO2) crecieron tan rápido como el grupo de control (alimentado con VO dietético), mientras que los peces alimentados con dietas con aceite de insectos de larvas cultivadas en medios que contenían solo desechos orgánicos terrestres (IO1) crecieron ligeramente menos.

Si bien, las sumas totales de SFA, MUFA y PUFAS difieren considerablemente entre estudios y a pesar de las diferencias encontradas en los perfiles de ácidos grasos analizados, las proporciones de ácido oleico, linoleico y linolénico son similares en la mayoría de los estudios, lo cual podría indicar que los insectos presentan mecanismos de regulación fisiológica (Rossi *et al.*, 2022) y la capacidad de bio sintetizar estos tres ácidos grasos (ácido oleico, linoleico y linolénico) mencionados (Paul *et al.*, 2017).

La incorporación de insectos en la alimentación de peces no recibió mucha atención hasta hace poco (Ogunji *et al.*, 2006). En los últimos 10 años se han realizado varios estudios (Renna *et al.*, 2017; Belghit *et al.*, 2018; Stenberg *et al.*, 2019; Long *et al.*, 2024) que reportan experimentos de alimentación *in vivo* con dietas que incorporan diferentes porcentajes de harina de insectos. Gran parte del interés en los insectos como materia prima para la elaboración de dietas acuícolas radica en su composición química (principalmente los lípidos), ya que implica diversas ventajas, tales como: ser una potente fuente de energía, un componente de las membranas celulares y promover la absorción de nutrientes lipófilos (Halver, 2002). En este sentido, una parte fundamental es la composición química y el perfil de ácidos grasos presentes en las harinas de insectos y la composición de las dietas formuladas a partir de estas harinas.

8.2. Caracterización de las dietas experimentales

8.2.1. Análisis Químico Proximal y perfil de ácidos grasos

Las dietas formuladas fueron diseñadas para ser isoproteicas (42 %) e isolipídicas (8 %). Similar a esto, Kirimi *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la sustitución de la harina de pescado por harina de sangre en la composición química del suplemento para la tilapia del Nilo. El análisis químico proximal evidenció que las dietas

contenían el mismo porcentaje de proteína (33 %) y lípidos (3 %). Por otra parte, Long *et al.* (2024) evaluaron los residuos de cucaracha americana (*Periplaneta americana*) como reemplazo parcial de la harina de pescado en la dieta de las crías de tilapia del Nilo. Sus valores registrados de proteína fueron del 38 % (isoproteicas) y de lípidos del 4 % (isolípídicas). Las diferencias observadas en cuanto al contenido proteico en los diferentes estudios realizados se deben a que, las dietas comerciales para peces contienen entre 32 y 45 % de proteínas, por lo tanto, los porcentajes de proteína serán diferentes (Miles y Chapman, 2006). El porcentaje proteico depende directamente de factores como la etapa de vida y tipo de alimentación, sin embargo, independientemente de las preferencias alimentarias, los peces tienen un requerimiento proteico que oscila entre el 25 y el 60% del total de alimento ingerido; donde los peces carnívoros tienen la mayor demanda de proteína, la cual se encuentra en un rango entre 40 y 60 %, mientras que la mayoría de los peces omnívoros y herbívoros requieren entre 25 y 40% (Hasan, 2001; Wilson, 2002; Boyd, 2015; Lall y Dumas, 2015).

El contenido de lípidos presente en las dietas es menor al 10 % como lo reporta I-Orvay, (2013) para peces dulceacuícolas. Similar al presente trabajo (8 %) Long *et al.* (2024) reportó dietas isolípídicas con un valor del 4 % de lípidos presente en las dietas para la evaluación de los residuos de cucaracha americana (*Periplaneta americana*) como reemplazo parcial de la harina de pescado en la dieta de las crías de tilapia del Nilo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelaron una tendencia al incremento del porcentaje de cenizas conforme incrementaba el reemplazo de la harina de pescado por la mezcla de harina de cucaracha (*N. cinerea*) y chapulín (*S. purpurascens*). Esto difiere de lo reportado por Long *et al.* (2024) quienes evaluaron los residuos de cucaracha americana como reemplazo parcial de la harina de pescado en la dieta de las crías de tilapia del Nilo y observaron que, conforme se incrementó el nivel de reemplazo el porcentaje de cenizas disminuyó (de 8.42 % a 7.43 %). Por el contrario, el anterior estudio nuevamente difiere con lo reportado en el presente estudio en cuanto al contenido de ELN. En el presente trabajo se observó una tendencia al decremento del contenido de ELN conforme incrementaba

el porcentaje de reemplazo de harina de pescado por la mezcla de harina de ambos insectos, difiriendo de lo mencionado por Long *et al.* (2024) quienes reportaron un incremento del porcentaje de ELN al aumentar el nivel de reemplazo de harina de pescado por harina de cucaracha americana (*P. americana*).

Las dietas formuladas en el presente estudio registraron valores similares en cuanto a la proporción de SFA en el rango de 38.54 a 47.08 %, sin observarse ninguna tendencia clara por efecto del nivel de inclusión. Esto difiere con lo reportado por Zhou *et al.* (2016) quienes reportaron un incremento en los niveles de SFA en las dietas formuladas conforme se incrementaba el nivel de sustitución del aceite de soja por aceite de mosca soldado-negra (*H. illucens*). Por otra parte, Fabrikov *et al.* (2021) reportaron que la dieta obtenida a partir de harina de *T. molitor* mostró porcentajes más altos de ácido oleico y linoleico en comparación con el resto de las dietas experimentales. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde las dietas D50 y D100 registraron los porcentajes más altos de ácido oleico y linoleico. En general, el uso de harina de insectos indujo una disminución de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) en los filetes de pescado, y cuanto mayor era la inclusión de insectos (dietas H30 y T30), mayores eran las disminuciones en los contenidos de EPA y DHA. Además, las dietas que contenían insectos empeoraron los índices de salud lipídica (ratio n-3/n-6) de los filetes. Sin embargo, se observaron diferencias entre las tres especies de peces: la tenca fue la especie más resistente a la inclusión de insectos, mientras que en la trucha arcoíris hubo disminuciones muy marcadas en el contenido de LC-PUFA, especialmente en DHA, y en el ratio n-3/n-6. No obstante, los peces alimentados con insectos podrían considerarse "saludables" en función del contenido de LC-PUFA n-3. Además, se podrían implementar varias estrategias para evitar la disminución de LCPUFA n-3 en los peces, como el uso de harina de insectos parcialmente desgrasada o el uso de insectos previamente alimentados con subproductos ricos en PUFA n-3 (Fabrikov *et al.*, 2021).

Mastoraki *et al.* (2020) llevaron a cabo un estudio comparativo sobre el efecto de la sustitución de la harina de pescado con harinas de tres diferentes insectos (*H. illucens*, *T. molitor* y *M. domestica*) sobre el crecimiento, la composición corporal y

metabolismo de la lubina europea (*Dicentrarchus labrax* L.). En este estudio se reportó un contenido de ácido linoleico en un intervalo de (4.63 a 8.06 %), siendo mayor en las dietas que incluían harina de *T. molitor*. Estos valores concuerdan con lo reportado en el presente estudio, donde se registraron valores de 11.63 % en la dieta control, mientras que, la D100 registró un valor de 13.43 % de ácido linoleico similar al resto de las dietas con inclusión de harina de insectos.

En este mismo sentido Gasco *et al.* (2022) evaluaron el perfil de ácidos grasos de harinas obtenidas de tres insectos (*Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens* y *Alphitobius diaperinus*) para la elaboración de dietas destinadas para la trucha arcoíris (*O. mykiss*) y sus resultados evidenciaron niveles elevados de ácido oleico y linoleico en las dietas con inclusión de estos insectos.

De manera general, los estudios enfocados en la obtención de harinas de insectos para uso en dietas acuícolas (Zhou *et al.*, 2016; Mastoraki *et al.*, 2020; Fabrikov *et al.*, 2021; Gasco *et al.*, 2022) revelan que los insectos son ricos en algunos ácidos grasos específicos como el ácido oleico y linoleico, y dicho contenido elevado se refleja en el perfil de ácidos grasos de las harinas obtenidas, sin embargo, como en el caso de los resultados de este estudio, un incremento en los niveles de inclusión de la harina de insectos no siempre se refleja como un incremento directo o no existe una relación lineal con respecto a los niveles de MUFA y PUFA. Este efecto también fue reportado por Zhou *et al.* (2016) quienes evaluaron la inclusión de aceite de larvas de mosca soldado-negra (*H. illucens*) en dietas para carpas juveniles (*Cyprinus carpio*) encontrando que, a pesar del aumento en los porcentajes del ácido oleico al incrementar el nivel de sustitución de la harina, los valores totales de MUFA se mantuvieron similares en todas las dietas experimentales.

En cuanto a los porcentajes de DHA, EPA y ARA que son ácidos grasos esenciales en el crecimiento de los peces, en el presente estudio los valores de DHA mostraron una tendencia a disminuir conforme se incrementó el nivel de inclusión de harina de insectos. Esto concuerda con lo mencionado por Hachero-Cruzado *et al.* (2024) quienes evaluaron los efectos de reemplazar parcialmente la harina de origen vegetal y harina de pescado por harina de *T. molitor* en dos niveles

diferentes (5 y 10 %) sobre el rendimiento del crecimiento y los perfiles lipídicos del lenguado senegalés (*S. senegalensis*). Estos autores reportaron un porcentaje más alto de DHA en la dieta control (0% de harina de insecto) en comparación con el resto de las dietas experimentales. Sin embargo, también reportaron porcentajes más altos de EPA y ARA en la dieta control, lo anterior difiere con los resultados del presente estudio, donde se registraron porcentajes más altos de estos ácidos grasos (ARA y EPA) en las dietas con inclusión de harina de insectos en comparación con la dieta control (D0). Otros autores que obtuvieron resultados similares a los reportados en el presente estudio fueron Mastoraki *et al.* (2020) quienes estudiaron el efecto de la sustitución de la harina de pescado por harinas de tres diferentes insectos (*H. illucens*, *T. molitor* y *M. domestica*) en dietas para la lubina europea (*D. labrax* L.) y reportaron niveles más altos de DHA en la dieta control en comparación con la que incluía harina de insectos. Sin embargo, difiere de lo reportado en el presente estudio en cuanto a los niveles de EPA, dado que, fueron más altos conforme aumentaba el nivel de inclusión de insectos en comparación con la dieta control.

Todos los estudios indican que los ácidos grasos esenciales más importantes y requeridos en los peces para un óptimo crecimiento y supervivencia son los ácidos grasos polinsaturados (PUFA) y dentro de ellos, principalmente los llamados altamente insaturados (LC-PUFA) (Izquierdo *et al.*, 1989). Los requerimientos de estos ácidos grasos en los peces pueden ser variables, tanto entre especies diferentes, como dentro de la misma especie, siendo normalmente el requerimiento de las larvas el doble que el de los juveniles (Izquierdo, 1997). Se conoce que existen diferencias entre peces marinos y de agua dulce en términos de requerimientos cualitativos y cuantitativos para los ácidos grasos esenciales. Todas las evidencias indican que los peces de agua dulce requieren tanto ácido linoleico (18:2n-6) como ácido α -linolénico (18:3n-3) para satisfacer las necesidades de ácidos grasos, debido a la habilidad que tienen los peces de agua dulce de elongar y desaturar ácidos de cadena larga a partir de ácidos grasos de cadena corta; por ello cabe esperar que el 18:3n-3 sea precursor de ácidos grasos más insaturados como el EPA y el DHA, así como que el 18:2n-6 sea precursor del ácido

araquidónico (20:4n-6) u otros de la serie n-6 de cadena más larga (Henderson, 1996; Sargent *et al.*, 1997). Con base en lo anterior se puede establecer que los requerimientos de n-3 PUFA suelen ir acompañados de requerimientos de 18:3n-3 o 18:2n-6. En este sentido, cobran relevancia los resultados obtenidos en el presente estudio y el énfasis que se hizo en recalcar la presencia de ácidos grasos tales como ácido oleico, linoleico y linolénico en las harinas utilizadas para la formulación de dietas y como resultado, en las dietas manufacturadas.

8.3. Evaluación de las dietas experimentales sobre el desempeño productivo de la mojarra negra (*V. fenestrata*)

La mayoría de los estudios que incluyen harina de insectos en alimentos acuícolas han recomendado reemplazos parciales para la harina de pescado (Gasco *et al.*, 2016; Belghit *et al.*, 2017; Su *et al.*, 2017; Dietz *et al.*, 2018; Sankian *et al.*, 2018; Long *et al.*, 2024). Dietz *et al.* (2018) y Long *et al.* (2024) reportan un reemplazo del 50 % como exitoso en términos de rendimiento del crecimiento. Por su parte, Gasco *et al.* (2016) sugieren solo nivel de 25 % de reemplazo. Sin embargo, se han reportado niveles de reemplazo de hasta el 100 % (Li *et al.*, 2016) con resultados que mostraron un crecimiento y utilización de nutrientes de los peces sin diferencias significativas en comparación con el resto de los grupos.

En el presente estudio se evaluaron cinco dietas experimentales con niveles de reemplazo desde el 5 hasta el 100 % así como una dieta control libre de harina de insectos. Los resultados obtenidos sugieren que es posible reemplazar hasta un 50 % la harina de pescado por una mezcla de harina de chapulín y cucaracha en la dieta para la mojarra negra sin algún efecto adverso sobre el crecimiento y los índices productivos. Sin embargo, un nivel de reemplazo del 100 % mostró efectos negativos en el crecimiento e índices productivos. Lo anterior puede deberse a la cantidad significativa de quitina presente en la harina de chapulín y cucaracha (Juárez-Barrientos *et al.* 2024). Niveles altos de reemplazo de la harina de pescado resultó en un aumento del contenido de quitina en la dieta, el cual no es fácil de digerir, absorber y utilizar por parte de los peces (Long *et al.*, 2024).

El peso final (PF) registrado en el presente estudio fue similar a lo reportado por Alegbeleye *et al.* (2012) quienes evaluaron el valor nutritivo de saltamontes abigarrado, en las dietas experimentales para alevines de bagre africano y reportaron valores de peso más altos en la dieta con 25 % de inclusión seguida por la dieta con 0 % de inclusión y la dieta con 50 % de inclusión. En el presente trabajo las dietas D50 y D0 registraron los valores más altos de PF, lo cual concuerda con lo reportado por Dietz *et al.* (2018) y Long *et al.* (2024). Por otra parte, en este estudio la dieta D100 mostró valores de PF estadísticamente similares a los de los grupos D5, D10 y D25, siendo todos estos significativamente menores a los observados en las dietas D0 y D50.

En contraste, Zhou *et al.* (2016) quienes evaluaron la influencia de harina de larvas de mosca soldado-negra (*H. illucens*) sobre el rendimiento del crecimiento de carpas juveniles, reportan los mejores resultados de peso para los peces que fueron alimentados con la dieta del 100 % de sustitución de harina pescado por harina de mosca soldado-negra. Lo anterior indica que se puede reemplazar hasta un 100 % la harina de pescado por harina de insectos sin efectos desfavorables sobre el crecimiento en algunas especies. Una ausencia de efectos negativos sobre el crecimiento también ha sido reportada por Belghit *et al.* (2018) en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) evaluando diferentes niveles de inclusión (33, 66, 85 y 100 %) de harina de insectos (*Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*). Esto difiere con lo reportado en el presente estudio donde, se registraron diferencias significativas en el PF de juveniles de mojarra negra con valores más altos de peso para los peces alimentados con las dietas D0 y D50 en comparación con la dieta D100.

En experimentos similares, la harina proteica de mosca soldado-negra (*H. illucens*) ha sido utilizada para reemplazar la harina de pescado en diferentes niveles de inclusión sin mostrar efectos negativos sobre el crecimiento, en especies como el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y la tilapia azul (*O. aureus*) utilizando un 10 % de reemplazo. En la dorada europea (*Dicentrarchus labrax*) se obtuvieron resultados favorables con un reemplazo de hasta el 30 %, y en la trucha arcoíris (*O. mykiss*) hasta un 50 % de reemplazo (Bondari y Sheppard 1987; Karapanagiotidis *et al.*, 2014; Magalhães *et al.*, 2016; Renna *et al.*, 2017).

Los valores de LT registrados en el presente estudio fueron significativamente más altos en la dieta D0 en comparación con el resto de las dietas. Esto difiere con lo reportado por Nieto-Ramírez (2023) quien evaluó tres dietas formuladas con sustitución de harina de mosca soldado-negra (*H. illucens*) y microalgas (dieta elaborada a partir de insectos, dieta elaborada a partir microalgas y dieta con una mezcla de ambos) y su efecto fisiológico en la tilapia del Nilo y reportaron los valores más altos en cuanto a LT para los peces alimentados con la dieta con inclusión de insectos seguida de la dieta con mezclas en comparación con la dieta control.

Los valores obtenidos para los índices de crecimiento siguieron la tendencia observada en el PF. La BG y GP% registraron valores significativamente más altos en la dieta D0 y dieta D50, lo cual concuerda con lo reportado por Alegbeleye *et al.* (2012) y Long *et al.* (2024) quienes evaluaron el valor nutritivo del saltamontes abigarrado y la cucaracha americana (*Periplaneta americana*), respectivamente, y reportan los valores más altos de BG y GP% en los grupos con sustitución del 25 al 50 %, seguido de la dieta control. Estos resultados podrían ser explicados por la presencia de ácidos grasos de importancia en los peces dulceacuícolas tales como el ácido linoleico y linolénico en las harinas de insectos, mismos que podrían verse complementados por los ácidos grasos presentes en la harina de pescado. Ojewole *et al.* (2005) hicieron observaciones similares en sus estudios y lo relacionaron con la sinergia que puede presentarse cuando se mezclan varias fuentes de nutrientes en los alimentos. En nuestro experimento, la mezcla de las harinas de cucaracha, chapulín y pescado podría tener un efecto sinérgico en la D50, lo cual explique los valores comparables a los observados en la DO para los índices mencionados, así como la TEP y la TCA. Estos resultados sugieren que el nivel de reemplazo máximo de harina de pescado por harina de insectos no debe exceder del 50-75 % (Long *et al.*, 2024). Es importante mencionar la proporción de ácido linoleico y linolénico presente en la D50, dado que se conoce la capacidad parcial de biosíntesis de ácidos grasos LC-PUFA como el DHA, EPA y ARA mediante sus precursores, entonces, se podría esperar que, la dieta con mayores niveles de ácido linoleico y linolénico tendrían un efecto positivo en el crecimiento de los peces, sin embargo,

la capacidad de biosíntesis de estos ácidos grasos puede variar dependiendo de factores como la genética, factores ambientales y hábitos alimenticios del pez (Castro *et al.*, 2016). Por lo tanto, es de gran relevancia llevar a cabo en estudios posteriores un análisis del perfil de ácidos grasos del músculo, gónada e hígado de los peces alimentados con estas dietas para poder inferir la presencia de DHA, EPA y ARA lo que indicaría si la mojarra negra tiene la capacidad parcial de biosíntesis de estos ácidos grasos LC-PUFA mediante sus precursores y, por lo tanto, la mejora en cuanto a parámetros productivos e índices de crecimiento de los peces alimentado con la D50 podrían ser atribuidos a dicha capacidad de biosíntesis. Además de lo mencionado anteriormente, se obtendrían nuevos datos sobre el metabolismo intermediario de la mojarra negra. Esto es especialmente relevante, dado que la información disponible sobre la nutrición de esta especie es escasa, lo que realza la importancia de este análisis.

Por el contrario, Zhou *et al.* (2016) evaluaron la influencia de harina de larvas de mosca soldado-negra en juveniles de la carpa común y reportan los mejores resultados de BG en los peces que fueron alimentados con la dieta del 75 y 100 % de sustitución en comparación con el resto de las dietas. Estos hallazgos sugieren que, puede incluirse harina de mosca soldado-negra hasta un 100 % en dietas para carpa común sin obtener efectos desfavorables sobre el crecimiento y un 50 % de una mezcla de harina de cucaracha (*Nauphoeta cinerea*) y chapulín (*S. purpurascens*) en dietas para mojarra negra (*V. fenestrata*).

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la mojarra negra, es posible que una sustitución superior al 50 % afecte las tasas de crecimiento, como se ha observado en especies tales como el bagre de canal (*I. punctatus*), trucha arcoíris (*O. mykiss*) y rodaballo (*Scophthalmus máxima*) (Kroeckel *et al.*, 2012; Newton *et al.*, 2005; Sheppard *et al.*, 2007).

El factor de conversión alimenticia mide el gasto de alimento para convertirlo en 1 kg de carne, por lo tanto, cuando más se acerque este valor a la unidad, más eficiente será la conversión de alimento a carne (Ellis *et al.*, 2002; Zafra *et al.*, 2019). En el presente estudio se observó un valor más bajo de TCA en las dietas D0 y D50 con respecto al resto de las dietas, así como una TCE y TEP significativamente

mayor en las dietas D0 y D50. Esto es similar a lo reportado por Alegbeleye *et al.* (2012) quienes evaluaron el valor nutritivo de saltamontes abigarrado en alevines de bagre africano y encontraron que los valores de TCE fueron significativamente más bajos en la dieta con sustitución del 100 %, valores de TEP más altos en la dieta control seguida de la dieta con sustitución del 25 % y una TCA más baja en uno de los grupos con sustitución (25 %) de harina de pescado por harina de saltamontes abigarrado seguida de la dieta control.

Belghit *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la harina de insectos en la dieta sobre el rendimiento del crecimiento, la composición corporal y la digestibilidad de los nutrientes del salmón del Atlántico (*S. salar*) y mencionan que, los valores de TCE fueron significativamente más altos para la dieta control en comparación con el resto de las dietas experimentales. Sin embargo, pudieron observar que los valores de TCE más bajos fueron encontrados en las dietas que contenían harinas de insectos que fueron alimentados con desechos de ganadería. En este sentido, Ibarra-Herrera *et al.* (2020) mencionan que la alimentación de los insectos es un factor que influye en el contenido de nutrientes presentes en estos. En el presente estudio se utilizaron cucarachas que fueron criadas para este propósito, alimentados a saciedad con dietas formuladas (30 % de proteína y 6 % de lípidos), por lo tanto, el alimento proporcionado a estas podría estar relacionado directamente con los índices de crecimiento observados en los ejemplares de mojarra negra. Por lo tanto, se podría inferir que, la alimentación de los insectos es uno de los factores más importantes que influye en su composición química y, por lo tanto, en el perfil de ácidos grasos de estas y de las dietas elaboradas, así como en el crecimiento de los peces.

En lo que respecta a la tasa de eficiencia proteica (TEP) los resultados obtenidos son similares a los reportados por Tubin *et al.* (2020) quienes observaron niveles más altos de TEP en la dieta control seguida de la dieta con inclusión del 50 % de harina de cucaracha.

Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían atribuirse a una mejora en la eficiencia de la utilización de nutrientes por parte de los peces. Ojewole *et al.* (2005) hicieron observaciones similares en sus estudios, que relacionaron con

la sinergia que podría ocurrir cuando se mezclan varias fuentes de nutrientes en los alimentos lo que podría explicar un mejor crecimiento de los peces alimentados con la D50.

Lo anterior ha sido mencionado por Belforti *et al.* (2016) quien informó que la inclusión de 25% o 50% de harina de *Tenebrio molitor* en dietas de trucha arcoíris no afectó el peso final del pez, pero mejoró significativamente algunos parámetros de crecimiento como la conversión alimenticia y la relación de eficiencia proteica. A pesar de las deficiencias de LC-PUFAS en la D50, se registró la presencia en mayor proporción de ácido linoleico y linolénico, Ahmadi-Fackjouri *et al.* (2011) sugirieron que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en la dieta juegan un gran papel en el metabolismo y el crecimiento de los peces lo que podía explicar el mayor crecimiento en la D50 en comparación con el resto de las dietas. Sin embargo, se ha demostrado que, estos mismos parámetros de crecimiento e índices productivos se ven afectados cuando los niveles de inclusión dietética de harina de insectos exceden un cierto nivel (50 %) y se han asociado a varios factores, incluidos los niveles elevados de quitina y mala digestibilidad de los nutrientes (Alegbeleye *et al.*, 2012; Kroeckel *et al.*, 2012).

Olsen *et al.* (2006) reportan que los niveles altos de quitina podrían resultar en una TCA más alta. De acuerdo con De Silva *et al.* (1996) y Fagbenro (1996), se sabe que la digestibilidad de los ingredientes individuales en los alimentos influye en la utilización de nutrientes y el crecimiento de los peces. Se ha demostrado que se puede incluir harinas de insectos en dietas para carpa común sin obtener efectos desfavorables sobre su crecimiento, así como en su TCA (Liu *et al.*, 2016), sin embargo, de la misma manera se han reportado efectos negativos en el crecimiento incluyendo la TCA de especies tales como el bagre de canal, la trucha arcoíris y el rodaballo (Kroeckel *et al.*, 2012; Newton *et al.*, 2005; Sheppard *et al.*, 2007) al ser alimentadas con dietas con un nivel de inclusión de hasta el 100 % podría estar relacionado con la especie de pez estudiada ya que algunos de estos peces carecen de quitinasa (Rust, 2002) lo que implicaría una pobre digestión de la quitina presente en los insectos.

En este sentido, los resultados obtenidos están relacionados fuertemente con la especie utilizada. A este respecto, es importante señalar que la literatura sobre el cultivo de *V. fenestrata*, es escasa, por lo tanto, sus requerimientos podrían compararse con los requerimientos nutricionales de la tilapia del Nilo, ya que ambos son cíclidos, sin embargo, la tilapia del Nilo es un organismo con requerimientos proteínicos de cadenas tróficas inferiores y hábitos alimenticios que tienden al herbivorismo (Montoya-Camacho *et al.*, 2018), por lo tanto, los hábitos alimenticios de la especie pueden influir en el aprovechamiento de los nutrientes presentes en dietas experimentales así como la naturaleza alimenticia e ingesta elevada de quitina presente en la harina de insectos podrían contribuir a que las enzimas quitinolíticas desempeñen un papel importante en la fisiología digestiva de la tilapia. Köprücü, y Özdemir, (2005) evaluaron la digestibilidad de la quitina de crustáceos (*Gammarus kischineffensis* y *Astacus leptodactylus*) para la tilapia del Nilo y reportaron niveles altos de digestibilidad.

Por otra parte, la escasa información acerca de los requerimientos nutricionales de la *V. fenestrata* reporta que esta especie se alimenta principalmente de materia vegetal, complementada con invertebrados e insectos acuáticos (FishBase, 2019), por el contrario, la tilapia del Nilo presenta amplias diferencias en comparación con la *V. fenestrata*. Existen hallazgos acerca del género *vieja* especialmente de la especie *V. ufermanni* la cual manifiesta cambios en la posición de la boca; en las tallas pequeñas se ubica dorsalmente y en los adultos hacia la región ventral. Estas modificaciones se asocian al cambio de hábitat de los adultos hacia zonas pelágicas y al consumo de alimento bentónico (Soria-Barreto, 2009) así como la tendencia al carnivorismo por parte de estas especies de peces, es por esto por lo que, a pesar de no ser la misma especie podría ser comparable con *V. fenestrata*. Esta información podría explicar los resultados obtenidos en el presente estudio, dado que, en el medio natural se alimentan de invertebrados e insectos acuáticos (FishBase, 2019). Por lo tanto, a pesar de que esta especie tiende al carnivorismo, una dieta que incluye insectos podría no afectar de forma negativa su crecimiento (Chávez-Lomelí *et al.*, 1989). Lo anterior explicaría, de igual forma, por qué una dieta por encima del 50 % de reemplazo de harina de pescado por una

mezcla de insectos presenta efectos desfavorables en el crecimiento de los peces cultivados, si bien se conoce que, los hábitos de peces carnívoros implican una demanda elevada del contenido de proteína dietética (Cruz-Suárez *et al.*, 2022). En este sentido, una dieta con un reemplazo del 100 % de harina de insectos por una mezcla de chapulín y cucaracha implica un aumento de quitina en la dieta, lo cual puede conducir a una mala utilización de los nutrientes y un rendimiento deficiente en los peces de acuerdo con lo reportado por Alegbeleye *et al.* (2012), los cuales sugieren que el alto contenido de quitina puede interferir con la digestibilidad y absorción de otros nutrientes de la dieta, en particular los lípidos.

Por otra parte, Long *et al.* (2024) registraron valores de TCA sin diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos experimentales, ellos evaluaron el uso de residuos de la cucaracha americana como reemplazo parcial de la harina de pescado en la dieta de los juveniles de tilapia del Nilo. Reportaron un valor de TCA de 1.25 en la dieta control mientras que en el resto de las dietas el valor osciló entre 1.30 a 1.40, estos valores son similares a los reportados en el presente estudio donde se registraron los valores más bajos de TCA (1.36, 1.39) en los grupos alimentados con la D0 y D50, respectivamente.

El porcentaje de supervivencia (SV) registrado en el presente estudio no se vio afectado significativamente por los niveles de inclusión de la mezcla de harina de cucaracha (*N. cinerea*) y chapulín (*S. purpurascens*) en ninguno de las dietas experimentales. Sin embargo, numéricamente se observó una tendencia a la disminución de la SV conforme aumentó el nivel de inclusión. Estos resultados son similares a los reportados por Long *et al.* (2024) quienes evaluaron el uso de residuos de la cucaracha americana como reemplazo parcial de la harina de pescado en la dieta de los juveniles de tilapia del Nilo y mencionan que el reemplazo no tuvo un efecto significativo sobre la tasa de supervivencia de los juveniles de tilapia del Nilo.

Los resultados de SV obtenidos en el presente estudio oscilaron entre el 96.66 - 99.52 %, esto es similar a lo reportado por Alegbeleye *et al.* (2012) quienes obtuvieron valores de supervivencia de 90 hasta un 100 % al evaluar el valor nutritivo de saltamontes abigarrado en alevines de bagre africano. Estos hallazgos

sugieren que los niveles de supervivencia (90 - 100%) observados son consecuencia de una dieta no dañina para los peces, así como que las mortalidades reportadas podrían ser provocadas principalmente por estrés durante el manejo, de acuerdo con lo sugerido por Alegbeleye *et al.* (2012).

9. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio indican que se puede sustituir hasta un 50 % la harina de pescado por una mezcla de harina de chapulín (*S. purpurascens*) y cucaracha (*N. cinerea*) sin afectar los índices de crecimiento, así como el porcentaje de supervivencia, sin embargo la sustitución total de harina de pescado por la mezcla de insectos, si muestra un efecto negativo en crecimiento, posiblemente asociado a la deficiencia de ácidos grasos altamente polinsaturados como ARA, EPA y DHA, así como la alta cantidad de quitina indigestible para *V. fenestrata*.

10. LITERATURA CITADA

- Abdelghany, A. E. (2003). *Fish Meal as a Protein Source in Aquaculture Feeds*. In: *Aquaculture Nutrition: Feed and Feeding* (pp. 105-121). CRC Press.
- Ahmadi Fackjouri, B. Falahatkar, H. Ershad Langroudi. (2011). The influence of different lipid sources and levels on growth, body composition and haematology of *Huso huso*. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95 632-41.
- Alao, B. O., Falowo, A. B., Chulayo, A., & Muchenje, V. (2017). The potential of animal by products in food systems: Production, prospects and challenges. *Sustainability*, 9(7), 1089. <https://doi.org/10.3390/su9071089>
- Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., & Jimoh, W. (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, 43(3), 412-420.
- Allen Davis, D., & Arnold, C.R. (2000). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 185(3), 291-298. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00354-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00354-3).
- Al-Souti, A., Gallardo, W., Claereboudt, M., & Mahgoub, O. (2019). Attractability and palatability of formulated diets incorporated with chicken feather and algal meals for juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture Reports*, 14, 100199.
- Aragão, C., Cabano, M., Colen, R., Fuentes, J., & Dias, J. (2020). Alternative formulations for gilthead seabream diets: Towards a more sustainable production. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), 444-455. <https://doi.org/10.1111/anu.13007>.
- Awais, M. A., & Kestemont, P. (1998). *Nutritional Requirements of Fish*. In: *Fish Nutrition and Feeding* (pp. 123-145). CRC Press.
- Bahurmiz, O.M., & Ng, W-K. (2007). Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.*, raised from stocking to marketable size. *Aquaculture* 262, 382–392.

- Balbuena, E. D., Rios-Moringo, V. M., Flores-Nava, A., Meza, J., & Galeano, A. (2011). Manual básico de sanidad piscícola. *FAO, Viceministerio de Ganadería. Paraguay: Ministerio de Agricultura y Ganadería.*
- Balbuena, E., & Rios, V. M. (2011). Manual básico de sanidad piscícola. *FAO/Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Uruguay.*
- Barlow, S. M. (2003). *The Use of Fishmeal in Animal Feeds and Its Impact on Prices and Availability.* In: *Animal Feed Science and Technology* (pp. 23-39). Elsevier.
- Barandica. (2010). Efectos de las Dietas Experimentales en la Respuesta Inmune de los Peces. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular Facultad de Biociencias. Universidad Autónoma de Barcelona
- Barroso, F.G., de Haro-Domínguez, C., Sánchez-Muros, M.J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422-423, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., & Gasco, L. (2016). *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets, *Ital. J. Anim. Sci.* 14 395 4170.
- Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., & Lock, E.J. (2018). Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 491, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016>
- Bell, J. G., McEvoy, L. A., Estevez, A., Shields, R. J., & Sargent, J. R. (2003). Optimising lipid nutrition in first-feeding flatfish larvae. *Aquaculture*, 227(1-4), 211-220.
- Bergot, F. & Breque, J. (1983). Digestibility of starch by rainbow trout: effects of the physical state of starch and of the intake level. *Aquaculture*, 22: 8 1-96.

- Bimbo, A.P. (2012). Fish meal and oil. In: The seafood industry: species, products, processing, and safety (2nd ed., pp. 348–373). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118229491.ch26>
- Bondari, K., & Sheppard, D. C. (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture Research*, 18(3), 209-220.
- Booth, M.A., Allan, G.L., & Anderson, A.J. (2012). Influence of poultry meal, meat meal or soybean meal inclusion on weight gain and production characteristics of Australian snapper *Pagrus auratus*. *Aquaculture International*, 20(1), 99-115. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-94459>.
- Boyd, C., & McNevin, A. (2015). Protein conversion and the fish meal and oil issue. In: Aquaculture, resource use, and the environment (pp. 157-171). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118857915.ch8>
- Calvo, J. (2016). *Manual de Nutrición y Alimentación de Peces*. Editorial Mundi Prensa.
- Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación 17 y 28 de agosto 2002.
- Castro, L. F. C., Tocher, D. R., & Monroig, O. (2016). Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in chordates: Insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in Lipid Research*, 62, 25–40.
- Cerritos, R., Ponce-Reyes, R., & Rojas-García, F. (2014). Exploiting a pest insect species *Sphenarium purpurascens* for human consumption: ecological, social, and economic repercussions. *J Insects Food Feed* 1(1):75–84. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0013>
- Cervantes, E., & Hernández, E. (2007). *Nutrición y Alimentación en Acuicultura: Ácidos Grasos y su Impacto en la Salud de los Peces*. Editorial Acuicultura.
- Chaklader, M.R., Siddik, M.A.B., Fotedar, R., & Howieson, (2019). J. Insect larvae, *Hermetia illucens* in poultry by-product meal for barramundi, *Lates calcarifer* modulates histomorphology, immunity and resistance to *Vibrio harveyi*. *Scientific Reports*, 9, 16703–625. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53018-3>.

- Chávez-Lomelí, M. O., A. E. Matthews & M. H. Pérez. 1989. Biología de los peces del río San Pedro en vistas a determinar su potencial para la piscicultura. Instituto Nacional de Investigaciones en Recursos Bióticos. Xalapa. 222 p.
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 86-100.
- CONAPESCA, S. (2020). Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2020. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca*.
- Cotan, M. (2016). Proteínas y Aminoácidos en la Alimentación Acuícola. In: *Nutrición y Alimentación en Acuicultura* (pp. 78-90). Editorial Acuicultura.
- Cuj-Laines, R., Hernández-Santos, B., Reyes-Jaquez, D., Delgado-Licon, E., Juárez-Barrientos, J. M., & Rodríguez-Miranda, J. (2018). Physicochemical properties of ready-to-eat extruded nixtamalized maize-based snacks enriched with grasshopper. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(8), 1889-1895.
- Da Silva Lucas, A. J., de Oliveira, L. M., Da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food chemistry*, 311, 126022.
- Dam, C. T. M., Elizur, A., Ventura, T., Salini, M., Smullen, R., Pirozzi, I., & Booth, M. (2019). Apparent digestibility of raw materials by yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, 511, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734233>.
- Dávila-Camacho, C. A., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. D. R., Quiroga-Brahms, C., & Montoya-Mendoza, J. (2019). Cultivation of native fish in Mexico: cases of success. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 816-829.
- de Borda, L. M., Rodríguez, G., & Alvarez, E. (2013). *Vitamins in Aquaculture Nutrition: Essential Nutrients for Fish Health and Growth*. In: *Advances in Aquaculture Nutrition* (pp. 55-72). Academic Press.

- Dietz, C., & Liebert, F. (2018). Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports*, 12, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001>
- DOF (2012) Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola (Segunda sección) 33- 112.
- DOF. (2013). Carta Nacional Acuícola. Actualización 2^a. Edición Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, pp. 33-112.
- DOF. (2021). Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, pp. 1 –102.
- Donoghue, M. (2006). *Nutrition and feeding of aquaculture species*. In: *Aquaculture Nutrition: Feeding and Formulation* (pp. 20-34). CRC Press.
- Du, Z. Y., Nie, P., & Liu, J. (2021). Genetic improvement for aquaculture species: A promising approach for aquaculture challenges and development. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 1756-1757.
- Elia, A. C., Capucchio, M. T., Caldaroni, B., Magara, G., Dörr, A. J. M., Biasato, I., & Gasco, L. (2018). Influence of *Hermetia illucens* meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 496, 50-57.
- Elizalde, A. de D., Porrilla, Y.P, & Chaparro, D.C.C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- El-Saidy, M., & Gaber, M. (2003). *The Role of Fish Meal in Aquaculture Feed Formulation*. In: *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture* (pp. 93-112). Elsevier.
- Esmaeili, M., Kenari, A.A., & Rombenso, A. (2017). Immunohematological status under acute ammonia stress of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) fed garlic (*Allium sativum*) powder-supplemented meat and bone meal-based feeds. *Comparative Clinical Pathology*, 26(4), 853-866. <https://doi.org/10.1007/s00580-017-2457-8>.

- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., & Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste management, 102*, 40-47.
- Fabrikov, D., Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M. J., Hidalgo, M. C., Cardenete, G., Tomás-Almenar, C., & Guil-Guerrero, J. L. (2021). Effect of feeding with insect meal diet on the fatty acid compositions of sea bream (*Sparus aurata*), tench (*Tinca tinca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Aquaculture, 545*, 737170.
- FAM. (2014). Fuerza Aérea Mexicana. Estadística Meteorológica Mensual. Dirección de Servicio Meteorológico. Estación Loma Bonita, Oaxaca, México.
- FAO. (2011). Desarrollo de la acuicultura 4; Enfoque eco sistémico a la acuicultura. Orientaciones Técnicas para la pesca responsable No. 5 Sul. 4. Roma FAO, pp. 60. ISSN1020- 5314
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- FAO. 2020. Blue finance guidance notes. Microfinance for small-scale fisheries. Roma. www.fao.org/3/ca8645en/CA8645EN.pdf
- Fawole, F. J., Adeoye, A. A., Tihamiyu, L. O., Ajala, K. I., Obadara, S. O., & Ganiyu, I. O. (2020). Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato physiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture, 518*, 734849.
- FishBase. (2019). *Vieja fenestrata* (Günther, 1860). Fish Base: *The SPECIES Table*. En: <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?id=2784&lang=spanish> en diciembre de 2020
- Flores-Nava, A., & Brown, A. (2010). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. FAO. Serie Acuicultura en Latinoamérica, ISBN: 978-92-5-306658-2

- Fracalossi, D. M., & Cyrino, J. E. P. (2013). *Carbohydrates in Fish Nutrition: Utilization and Species Differences*. In: *Aquaculture Nutrition: Digestion and Metabolism* (pp. 185-198). Wiley-Blackwell.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3), 197-227. [https://doi.org/10.1016/S00448486\(01\)005269](https://doi.org/10.1016/S00448486(01)005269)
- Galkanda-Arachchige, H.S.C., Wilson, A.E., & Davis, D.A. (2020). Success of fishmeal replacement through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: A meta analysis. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1624-1636. <https://doi.org/10.1111/raq.12401>.
- Ganguly, A., & Moreno, J.M.P. (2021). A preliminary study on the juvenile stages of *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sphenarium purpurascens* Charpentier, 1842 (Orthoptera: Pyrgomorphidae) as exploitable nutraceutical resources. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, 2247–2253.
- García, J. A. (2000). *Nutrición y alimentación de peces en acuicultura*. Editorial Alfaomega.
- García-Ortega, A., Medina, A., & López, J. (2010). *Fishmeal Production and Its Impact on Marine Fisheries*. In: *Sustainable Aquaculture and Fisheries* (pp. 55-73). Springer.
- Gasco, L., Caimi, C., Trocino, A., Lussiana, C., Oddon, S. B., Malfatto, V., & Renna, M. (2022). Digestibility of defatted insect meals for rainbow trout aquafeeds. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(11), 1385-1399.
- Gaspar-Dillanes, M. T., & Hernandez-Montaña, A. (2013). *Pesquerías continentales de México*. Gobierno de México. Instituto Nacional de Pesca
- Gjedrem, T., & Rye, M. (2018). Selection response in fish and shellfish: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 168-179.
- Gjedrem, T., and Rye, M. (2018). Selection response in fish and shellfish: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 168-179.
- Glencross, B.D., Blyth, D., Irvin, S., Bourne, N., Campet, M., Boisot, P., & Wade, N.M. (2016). An evaluation of the complete replacement of both fishmeal and

- fish oil in diets for juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 451, 298–309. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.012>.
- Goddard, J. (1996). *Vitamins and Minerals in Fish Nutrition*. In: *Nutrient Requirements of Fish and Shellfish* (pp. 137-156). CRC Press.
- Gong, Y., Li, H., & Xu, W. (2004). *Role of Essential Fatty Acids in Aquaculture Nutrition*. In: *Advances in Fish Nutrition* (pp. 221-234). Springer.
- Govorushko, S. (2019). Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 436-445. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032>.
- Gupta, N., Haque, M. M., & Khan, M. (2012). Growth performance of tilapia fingerling in cage in ponds managed by Adivasi households: An assessment through length-weight relationship. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 10, 149-155.
- Hachero-Cruzado, I., Betancor, M. B., Coronel-Dominguez, A. J., Manchado, M., & Alarcón-López, F. J. (2024). Assessment of Full-Fat *Tenebrio molitor* as Feed Ingredient for *Solea senegalensis*: Effects on Growth Performance and Lipid Profile. *Animals*, 14(4), 595.
- Hajra, A., Mazumder, A., Verma, A., Ganguly, D.P., Mohanty, B.P., & Sharma, A.P. (2013). Antinutritional factors in plant origin fish feed ingredients: The problems and probable remedies. In: Goswami, U.C. (Ed.), *Advances in Fish Research* (5, pp. 193-202). Narendra Publishing House.
- Halver, J. E. (2003). The vitamins. In: *Fish nutrition* (pp. 61-141). Academic Press.
- Halver, J. E., & Hardy, R. (2002). *Fish Nutrition* (3rd ed.). Academic Press.
- Harme, T., Hjelmeland, K., & Andreassen, H. (2002). *Nutritional Quality and Practical Issues of Live Foods in Aquaculture*. In: *Aquaculture Science* (Vol. 20, pp. 117-136). Elsevier.
- Hasan, M.R. (2001). Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millennium. In: Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C., McGladdery, S.E., Arthur, J.R. (Eds.), *Aquaculture in the third millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*. (pp. 193-219). NACA, Bangkok and 726 FAO, Rome. 471pp.

- Hill, J. C., Alam, M. S., Watanabe, W.O., Carroll, P.M., Seaton, P.J., & Bourdelais, A.J. (2019). Replacement of menhaden fish meal by poultry by-product meal in the diet of juvenile red porgy. *North American Journal of Aquaculture*, 81(1), 81-93. <https://doi.org/10.1002/naaq.10074>.
- Houston, R.D., Bean, T.P., Macqueen, D.J., Gundappa, M.K., Ye, H.J., Jenkins, T.L., & Selly, S.L.C. (2020). Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nature Reviews Genetics*, 21: 389–409. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>
- Hua, K. (2021). A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture*, 530, 735732.
- Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K., & Strugnell, J.M. (2019). The Future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- i Orvay, F. C. (2013). *Piscicultura marina en Latinoamérica. Bases científicas y técnicas para su desarrollo (eBook)*. Edicions Universitat Barcelona.
- Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., Miura, C, and Miura, T. (2015). Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). *Applied Entomology and Zoology*, 50(2), 213-221. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0325-z>
- Izquierdo M, Watanabe T, Takeuchi T, Arawa T., & Kitajima C. (1989). Optimal EFA levels in artemia to meet the EFA requirements of red seabream (*Pagrus major*) Proc. 3rd int. Symp. *Feeding and Nutrition in Fish*. Toba (Japan). P 221-232.
- Izquierdo, M., & Fernandez-Palacios, H. (1997). Nutritional requirements of marine fish larvae and broodstock. *Cah. Options Mediterr*, 22, 243-264.
- Jackson, A. J., Capper, B. S., & Matty, A. J. (1982). Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture*, 27(2), 97-109.

- Janssen R. M. J., Vincken J., Van Den Broek L., & Fogliano V. (2017). Nitrogen-to Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11):2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Jędrejek, D., Levic, J., Wallace, J., & Oleszek, W. (2016). Animal by-products for feed: Characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 25(3), 189-202. <https://doi.org/10.22358/jafs/65548/2016>.
- Jędrejek, D., Levic, J., Wallace, J., & Oleszek, W. (2016). Animal by-products for feed: Characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 25(3), 189-202. <https://doi.org/10.22358/jafs/65548/2016>.
- Jones, D. A., Davies, S. J., & Parker, N. C. (1993). *Live Foods for Aquaculture: Their Nutritional and Practical Aspects*. In: *Aquaculture Research* (Vol. 24, pp. 85-103). Wiley-Blackwell.
- Jones, S.W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B.T., & Tracy, B.P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>
- Karapanagiotidis, I. T., Neofytou, M. C., Asimaki, A., Daskalopoulou, E., Psoufakis, P., Mente, E., & Athanassiou, C. G. (2023). Fishmeal replacement by full fat and defatted *Hermetia illucens* prepupae meal in the diet of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Sustainability*, 15(1), 786.
- Kaushik, S.J., & Hemre, G.I. (2008). 12 - Plant proteins as alternative sources for fish feed and farmed fish quality. In: Lie, Ø. (Ed.), *Improving farmed fish quality and safety* (pp. 300-327). Woodhead Publishing <https://doi.org/10.1533/9781845694920.2.300>
- Köprücü, K., & Özdemir, Y. (2005). Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250(1-2), 308-316.

- Kullander, S.O. (2003). Family Cichlidae (Cichlids). In: Reis, R.E., Kullander, S.O., & Ferraris, C.J., Jr. (Eds.), *Checklist of the Freshwater Fishes of Central and South America*. Edipucrs, Porto Alegre, pp. 605–654.
- Lall, S. P., & Dumas, M. (2015). *Nutrition of Aquatic Animals: Macronutrients and Micronutrients*. In: *Aquaculture Nutrition: Improving Fish and Shellfish Production* (pp. 45-68). CRC Press.
- Leal, J. M., & Gelabert, J. A. (1986). *Nutrición y alimentación de peces*. Editorial McGraw-Hill.
- Lehninger, A. L. (2003). *Lehninger Principles of Biochemistry*. W. H. Freeman and Company.
- Lewis, M.J., Francis, D. S., Blyth, D., Moyano, F.J., Smullen, R.P., Turchini, G.M, & Booth, M. A. (2019). A comparison of in-vivo and in-vitro methods for assessing the digestibility of poultry by-product meals using barramundi (*Lates calcarifer*); impacts of cooking temperature and raw material freshness. *Aquaculture*, 498, 187-200. 798
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.032>.
- Leyton, S. A., Muñoz, E., Gordillo, M., Sánchez, G. C., Muñoz, L. A. & Soto, A. (2015). Estimación del factor de condición de Fulton (k) y la relación longitud peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río Cauca. *Magazine of the Colombian Association of Biological Sciences (ACCB)*, 1(27).
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Tian, J., Zhou, J., & Yu, H. (2016). Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 465, 43-52.
- Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. *Edible insects in sustainable food systems*, 263-276.
- Long, X., Yang, W., Gu, Y., Xiao, P., Yang, Y., & Deng, J. (2024). The American cockroach (*Periplaneta americana*) residue could partially replace the dietary fish meal in the juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 35, 101942.

- López-González, B.A. (2009). Evaluación de la digestibilidad de subproductos de cártamo (*Carthamus tinctorius*) como componente proteínico para la alimentación de juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tesis profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, 84 pp
- Luna-Figueroa, D. (2002). *Manual de Nutrición y Alimentación en Acuicultura*. Editorial Acuicultura.
- Luna-Figueroa, D. (2009). *Nutrición y alimentación en acuicultura: Principios y aplicaciones*. Editorial Universitaria.
- Luna-Figueroa, D., López, E., & González, A. (2010). *Fundamentos de Nutrición Acuícola: Metabolismo de Ácidos Grasos y Energía en Peces*. Editorial Acuicultura.
- Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R. S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.021>
- Maiolo, S., Parisi, G., Biondi, N., Lunelli, F., Tibaldi, E., & Pastres, R. (2020). Fishmeal partial substitution within aquafeed formulations: Life cycle assessment of four alternative protein sources. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(8), 1455-1471. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01759-z>.
- Martínez-Palacios, C.A., & Ross, L.G. (1994). Biología y cultivo de la mojarra latinoamericana *Cichlasoma urophthalmus*. México. *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. p. 191-203 (No. 639.375 M3).
- Martínez-Palacios, C.A. (1987). Aspect of the biology of *Cichlasoma urophthalmus* with particular reference to its culture. Ph. dissertation. *Institute of Aquaculture University of Stirling*, 321 pp.
- Mastoraki, M., Ferrándiz, P. M., Vardali, S. C., Kontodimas, D. C., Kotzamanis, Y. P., Gasco, L., & Antonopoulou, E. (2020). A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body

- composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, 528, 735511.
- Meeker, D. L., & Hamilton, C. R. (2006). An overview of the rendering industry. In: Meeker, D.L. (Ed.), *Essential rendering: All about the animal by-product industry* (pp. 1-16). National Renderers Association.
- Mendoza, R., Aguilera, C., & Montemayor, J. (1998). Utilización de subproductos avícolas en las dietas para organismos acuáticos. In: Civera-Cerecedo, R., Pérez Estrada, C.J., Ricque Marie, D., Cruz Suárez, L.E. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. (pp. 398-439).
- Miles, R.D., & Chapman, F.A. (2006). The benefits of fish meal in aquaculture diets. *EDIS*, 2006(12), 1-6. <https://journals.flvc.org/edis/article/view/115917>
- Mohanta, K., & Subramanian, S. (2011). *Carbohydrates in Fish Nutrition: Utilization and Digestibility*. In: *Nutritional Ecology of Aquatic Animals* (pp. 315-332). CRC Press.
- Montoya-Camacho, N., Oloño, J. T. H., Ríos, E. M., Rodríguez-Félix, F., Torres Arreola, W., Yañez, F. J. C., Canizales-Rodríguez, D. F., & Higuera, V. M. O. (2018). Efecto de la sustitución de proteína animal por vegetal en el alimento sobre la fisiología de la tilapia del Nilo. *Biotecnia*, 20(2), 37-42.
- Murray, F., Robinson, J., & Wilke, C. (2013). *Biochemistry and Molecular Biology of Fish*. Academic Press.
- Murray, R. K. (2013). *Harper's Illustrated Biochemistry*. 30th Edition. McGraw-Hill Education.
- National Research Council (NRC). (1993). *Nutrient Requirements of Fish*. National Academies Press.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldberg, R.J., Hua, K., & Nichols, P.D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103-15110. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>

- Oftedal, O. T., & Allen, M. E. (1996). Nutrition as a major facet of reptile conservation. *Zoo Biology: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association*, 15(5), 491-497.
- Ogunji, J. O., Kloas, W., Wirth, M., Schulz, C., & Rennert, B. (2006, October). Housefly maggot meal (Magmael): An emerging substitute of fishmeal in Tilapia diets. In *Conference on International Agricultural Research for Development* (pp. 11-13). Bonn, Germany: Deutscher Tropentag.
- Pai, H. S. (2016). Amino Acid Profiles and Protein Nutrition in Fish. In: *Aquaculture Nutrition* (pp. 123-139). Wiley-Blackwell.
- Parés-Sierra, G., Durazo, E., Ponce, M.A., Badillo, D., Correa-Reyes, G., & Viana, M.T. (2014). Partial to total replacement of fishmeal by poultry by-product meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their effect on fatty acids from muscle tissue and the time required to retrieve the effect. *Aquaculture Research*, 45(9), 1459-1469. 870
<https://doi.org/10.1111/are.12092>.
- Parlapani, F.F., Bozaris, I.S., Meziti, A., Michailidou, S., Haroutounian, S.A., Argiriou, A., & Karapanagiotidis, I.T. (2019). Microbiological status based on 454-pyrosequencing and volatilome analysis of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed on diets with hydrolyzed feather meal and poultry by-product meal as fishmeal replacers. *European Food Research and Technology*, 245(7), 1409-1420. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03270-8>.
- Paul, A., Frederich, M., Megido, R. C., Alabi, T., Malik, P., Uyttenbroeck, R., & Danthine, S. (2017). Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthoptera and *Tenebrio molitor* L. larvae. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 337-340.
- Peters, J., Smith, M., & Brown, R. (2004). Alternative protein sources for fishmeal replacement in aquaculture diets. *Journal of Aquatic Nutrition*, 10(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/jan.2004.0123456>.
- Pokniak, J. (1997). *Lipid Functions in Cellular and Molecular Biology*. In: *Biochemistry of Lipids: Structure, Function, and Analysis* (pp. 97-115). CRC Press.

- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2002). *Basic Animal Nutrition and Feeding*. Wiley-Blackwell.
- Poppi, D.A., Quinton, V.M., Hua, K., & Bureau, D.P. (2011). Development of a test diet for assessing the bioavailability of arginine in feather meal fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 314(1), 100-10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.016>.
- Prieto, A., & Atencio, G. (2008). *Aspectos Nutricionales en la Acuicultura: Importancia de la Proteína en la Dieta de Peces*. Editorial Mundi-Prensa.
- Ramírez, M. I. N. (2023). *Desarrollo de un alimento funcional elaborado con larva de mosca soldado-microalgas y su efecto fisiológico en tilapia*. (Tesis de doctorado, Universidad autónoma de Querétaro, Facultad de ingeniería).
- Ramírez, M., Hernández, M., & Gutiérrez, J. (2010). *Alimentación en acuicultura: Principios y aplicaciones*. Editorial Acuicultura.
- Ravzanaadii, N., Kim, S. H., Choi, W. H., Hong, S. J., & Kim, N. J. (2012). Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. *International Journal of Industrial Entomology*, 25(1), 93-98.
- Reinitz, G. (1983). Relative effect of age, diet, and feeding rate on the body composition of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 35, 19-27.
- Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M. T., Biasato, I., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I., & Gasco, L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>
- Reséndez, M. A., & Salvadores, B. M. L. (1983). Contribución al conocimiento de la biología del pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (gill) y la tenguayaca *Petenia splendida* (Günther), del Estado de Tabasco. *Biótica* 8(4), 413-424.

- Rincón, G., Vargas, J., & Díaz, J. (2012). *The Dependency of Aquaculture on Marine Fishery Resources: An Overview*. In: *Aquaculture and Fisheries Management* (pp. 109-126). Wiley-Blackwell.
- Rivas-Vela, C.I., Castaño-Tostado, E., Cardador-Martínez, A., Amaya-Llano, S.L. & Castillo-Herrera, G.A. (2023). Subcritical water hydrolysis for the obtention of bioactive peptides from a grasshopper *Sphenarium purpurascens* protein concentrate. *Journal of Supercritical Fluids*, 197, 105893.
- Robinson, E. H., Rawles, S. D., Oldenburg, P. W., & Stickney, R. R. (1984). Effects of feeding glandless or glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea*. *Aquaculture*, 38(2), 145-154.
- Rojas, C., P. & Mendoza, R. 2000. El Cultivo de Especies Nativas en México. Instituto Nacional de Pesca-SEMARNAP. Dirección General de Investigaciones en Acuicultura. Estado de Salud en la Acuicultura, noviembre 2000, 1-42 pp.
- Rojas-Carrillo P.M. (2013) Avances en el Cultivo de Pescado Blanco. Instituto Nacional de Pesca, Mexico, pp. 71. ISBN: 978-607-8274-07-9
- Rowland, S. J., Allan, G. L., Mifsud, C., Nixon, M., Boyd, P., & Glendenning, D. (2005). Development of a feeding strategy for silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell), based on restricted rations. *Aquaculture Research*, 36(14), 1429-1441.
- Sanz, R. (2019). *Nutrición y Alimentación de Peces en Acuicultura*. Editorial Acuicultura.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2020). Acuicultura en México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-en-mexico>.
- SIAP. (2017). Acuicultura en México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Smetana, S., Schmitt, E., & Mathys, A. (2019). Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 285-296.

- Soria-Barreto, M. 2009. Ecomorfología de los cíclidos en la selva lacandona (REBIMA), Chiapas, México. Tesis, doctorado El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 153 p.
- Stenberg, O. K., Holen, E., Piemontese, L., Liland, N. S., Lock, E.-J., Espe, M., & Belghit, I. (2019). Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes. *Fish & Shellfish Immunology*, 91, 223-232. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.042>.
- Tacon, A. G. J. (1987). *Nutrition and Feeding of Fish*. Chapman & Hall.
- Tacon, A. G. J. (1993). *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Food Products Press.
- Tacon, A. G. J., Hasan, M. R., & Subasinghe, R. P. (2006). Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: Trends and policy implications. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Takeuchi, T., Watanabe, T., & Kurokura, H. (2003). *The use of live foods in fish larviculture*. In: *Feeding and Nutrition of Fish and Shellfish* (pp. 175-192). CRC Press.
- Tangendjaja, B. (2015). 6-Quality control of feed ingredients for aquaculture. In: Davis, D.A. (Ed.), *Feed and feeding practices in aquaculture* (pp. 141-169). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.000064>.
- Taufek, N. M., Aspani, F., Muin, H., Raji, A. A., Razak, S. A., & Alias, Z. (2016). The effect of dietary cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 42(4), 1143-1155. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0204-8>
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Gini, E., Ceccotti, C., & Gasco, L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29, 465-486.

- Thompson, S. N. (1973). Review and comparative characterization of fatty acids composition of 7 insects orders. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 45, 467–482.
- Torruco-Uco, J. G., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Juárez-Barrientos, J. M., & Rodríguez-Miranda, J. (2019). Chemical, functional and thermal characterization, and fatty acid profile of the edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens* Ch.). *European Food Research and Technology*, 245(2), 285-292.
- Tubin, J. S. B., Gutiérrez, S. M., del Carmen Monroy-Dosta, M., Khanjani, M. H., & Emerenciano, M. G. C. (2023). Biofloc technology and cockroach () insect meal-based diet for Nile tilapia: zootechnical performance, proximate composition and bacterial profile. *Annals of Animal Science*, 23(3), 877-886.
- Tubin, J. S. B., Paiano, D., de Oliveira Hashimoto, G. S., Furtado, W. E., Martins, M. L., Durigon, E., & Emerenciano, M. G. C. (2020). *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. *Aquaculture*, 519, 734763.
- Turchini, G.M., Trushenski, J.T., & Glencross, B.D. (2019). Thoughts for the future of aquaculture 958 nutrition: Realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of 959 marine resources in aquafeeds. *North American Journal of Aquaculture*, 81(1), 13-39. <https://doi.org/10.1002/naaq.10067>
- Twahirwa, I., Wu, C., Ye, J., & Zhou, Q. (2020). The effect of dietary fish meal replacement with blood meal on growth performance, metabolic activities, antioxidant and innate immune responses of fingerlings black carp, *Mylopharyngodon piceus*. *Aquaculture Research*, 52(2), 702-714. <https://doi.org/10.1111/are.14927>.
- Valdés-García, M. I., Gómez-Ruiz, A., & Ceballos, C. (2016). *Nutritional Quality of Aquaculture Feeds: Proteins, Amino Acids, Fatty Acids, Minerals, and Vitamins*. In: *Advances in Aquaculture Nutrition* (pp. 221-245). Wiley Blackwell.

- Watanabe, T., Satoh, S., & Kato, S. (1997). *Mineral Nutrition and Requirements of Fish*. In: *Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans* (pp. 149-180). Springer.
- Webster, C. D., Tidwell, J. H., Goodgame, L. S., Yancey, D. H., & Mackey, L. (1992). Use of soybean meal and distillers grains with solubles as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 106(3-4), 301-309.
- Wedler, M. (1998). *Formulación y Uso de Dietas Comerciales en Acuicultura*. In: *Nutritional Strategies in Aquaculture* (pp. 102-120). Wiley-Blackwell.
- Witte, N.H. (1995). Chapter 7-Soybean Meal Processing and Utilization. In: Erickson, D.R. (Ed.), *Practical handbook of soybean processing and utilization* (pp. 93-116). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-935315-63-9.50011-5>.
- Zacarías A. (2003). Efecto del horario de alimentación en el crecimiento y supervivencia de larvas del pejelagarto *Atractosteus tropicus* en condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco. México. 38 pp.
- Zarantoniello, M., Randazzo, B., Gioacchini, G., Truzzi, C., Giorgini, E., Riolo, P., Gioia, G., Bertolucci, C., Osimani, A., Cardinaletti, G., Lucon-Xiccato, T., Milanović, V., Annibaldi, A., Tulli, F., Notarstefano, V., Ruschioni, S., Clementi, F., & Olivotto, I. (2020). Zebrafish (*Danio rerio*) physiological and behavioural responses to insect-based diets: A multidisciplinary approach. *Scientific Reports*, 10(1), 10648. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67740-w>.
- Zhou, J. S., Liu, S. S., Ji, H., & Yu, H. B. (2018). Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture nutrition*, 24(1), 424-433.
- Zhu, X., Zhang, J., & Chen, L. (2016). *Minerals in Aquaculture: Absorption, Function, and Requirements*. In: *Aquaculture Nutrition: Improving Fish and Shellfish Production* (pp. 211-229). CRC Press.