



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE SUBPRODUCTOS DE
MANGO (*Mangifera indica* L.) VARIEDAD ATAULFO EN
ALIMENTOS PARA JUVENILES DEL CAMARÓN *Litopenaeus
vannamei*.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Acuicultura)

P r e s e n t a

Carlos Eloy González Hernández

La Paz, Baja California Sur, noviembre de 2024.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las **10:00 horas** del día **31 del mes de octubre del 2024**, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE SUBPRODUCTOS DE MANGO (*Mangifera indica* L.) VARIEDAD ATAULFO EN ALIMENTOS PARA JUVENILES DEL CAMARÓN *Litopenaeus vannamei*."

Presentada por el alumno:

Carlos Eloy González Hernández

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **ACUICULTURA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



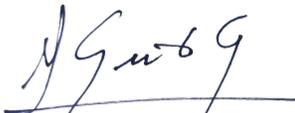
Dr. Roberto Civera Cerecedo
Co-Director de Tesis



Dr. Alberto Peña Rodríguez
Co-Director de Tesis



Dr. Asahel Benítez Hernández
Co-Tutor de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos.

La Paz, Baja California Sur, a 31 de Octubre de 2024.

Los miembros del comité de tesis del estudiante **Carlos Eloy González Hernández** del Programa de Maestría en el Manejo, Uso y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
Excluir citas
Excluir bibliografía
Excluir las coincidencias
Inferiores a 9 palabras
- Porcentajes de similitud: 16%

Máximo 20% para tesis Posgrado
Se muestra captura de pantalla

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	1184 palabras — 5%
2	aprenderly.com Internet	364 palabras — 2%
3	eprints.uanl.mx Internet	260 palabras — 1%
4	www.uanl.mx Internet	138 palabras — 1%
5	"El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022 Crossref	112 palabras — < 1%
6	www.scielo.org.mx Internet	111 palabras — < 1%
7	www.elsevier.es Internet	83 palabras — < 1%
8	docplayer.es Internet	77 palabras — < 1%
9	repositorio.upao.edu.pe Internet	77 palabras — < 1%

Firmas del Comité



Dr. Roberto Civera Cerecedo



Dr. Alberto Peña Rodríguez



Dr. Asahel Benitez Hernández

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Roberto Civera Cerecedo
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Alberto Peña Rodríguez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Asahel Benítez Hernández
Universidad Autónoma de Sinaloa
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Roberto Civera Cerecedo
Dr. Alberto Peña Rodríguez
Dr. Asahel Benítez Hernández

Jurado de Examen

Dr. Roberto Civera Cerecedo
Dr. Alberto Peña Rodríguez
Dr. Asahel Benítez Hernández

Suplente

Dr. Eduardo Quiroz Guzmán

Resumen

El camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* es la especie de crustáceo más cultivada en todo el mundo, y los alimentos representan hasta el 60% del costo total de su producción acuícola. Por lo tanto, es necesario utilizar ingredientes novedosos, sostenibles y de bajo costo en los alimentos. México es uno de los principales productores de mango, principalmente destinado para el consumo humano. El mango de baja calidad se utiliza para el consumo humano en la producción de jugo y mango deshidratado. Sin embargo, la mayoría de los subproductos (cáscara, pulpa y semilla) se desechan a la intemperie cerca de los sitios de procesamiento, generando contaminación y problemas de salubridad. El objetivo de este estudio fue evaluar el valor nutricional de una harina de subproductos de mango (variedad Ataulfo) como ingrediente en alimentos de juveniles de *Litopenaeus vannamei*. Para ello, se fabricaron alimentos con diferentes niveles de inclusión (2.5, 5.0, 7.5 y 10%) de harina de subproductos de mango Ataulfo (HSMA) en sustitución de harina integral de trigo, se evaluaron los efectos de estas formulaciones sobre la supervivencia, el crecimiento, el aprovechamiento del alimento y las comunidades bacterianas en el intestino, en un bioensayo de crecimiento con duración de 45 días con camarones juveniles (0.5 g de peso inicial medio). También se realizaron dos ensayos de digestibilidad aparente *in vivo* con camarones juveniles (10.9 g de peso inicial medio) para determinar la utilización digestiva de materia seca y nutrientes de la HSMA mediante un método de colecta por sifón y otro mediante disección del intestino. Después de 45 días del bioensayo de crecimiento, no se detectaron diferencias significativas en la tasa de supervivencia, el crecimiento y la conversión de alimento entre los tratamientos. Tampoco se encontraron diferencias significativas en diversidad alfa ($p > 0.05$), aunque sí en la diversidad beta entre los tratamientos HSMA2.5 y HSMA5 respecto al Control. La digestibilidad del ingrediente fue baja para proteína, lípidos y materia seca, y alta para carbohidratos, los coeficientes de utilización digestiva en los alimentos fueron mayores al ser determinados por el método de sifoneo. Estos resultados indican que la harina de subproductos mango Ataulfo puede incluirse hasta en un 10% en la fabricación de alimentos para camarones blancos juveniles sin afectar significativamente las respuestas zootécnicas y de utilización del alimento.

Palabras claves: nuevos ingredientes, aprovechamiento de subproductos, microbiota, mango, camarón.

ORCID: 0009-0005-2883-9873

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Roberto Civera Cerecedo



Dr. Alberto Peña Rodríguez

Summary

The Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* is the most widely cultivated crustacean species worldwide, and feed represents up to 60% of the total cost of its aquaculture production. Therefore, there is a need for novel, sustainable and low cost ingredients to be used in the diets. Mexico is one of the main producers of mango, primarily intended for human consumption. Mango of low quality for human consumption are used for juice production and dried mango. However, most by-products (peel, pulp and seed) are ditched near processing sites, generating pollution and public health issues. The aim of this study was to evaluate the nutritional value of mango by-products (Ataulfo variety) meal as ingredient in diets for *Litopenaeus vannamei* juveniles. For this purpose, feeds with different dietary levels (2.5, 5.0, 7.5 and 10%) of mango Ataulfo by-products meal (MABP) in substitution of whole wheat meal were manufactured and their effects on survival, growth, feed utilization, and bacterial communities in the intestine were assessed in a 45-day feeding trial with juvenile shrimp (0.5 g mean initial weight). Additionally, two in vivo apparent digestibility trials were conducted with juvenile shrimp (10.9 g mean initial weight) to determine dry matter and nutrients digestive availability of the MABP using a siphoning method and another through gut dissection. After 45 days of the growth trial, no significant differences in survival, growth, and feed conversion ratio were detected among diets; No significant differences in alpha diversity ($p>0.05$) were detected, while differences in beta diversity were observed for HSMA2.5 and HSMA5 treatments compared to the Control. The digestibility of the ingredient was low for protein, lipids, and dry matter, but high for carbohydrates. Coefficients of digestive utilization in the feed were higher when determined by siphoning method. These results indicate that mango Ataulfo by-products meal can be included up to 10% in the manufacturing of feeds for juvenile white shrimp without significantly affecting zootechnical responses and feed utilization.

Keywords: new ingredients, use of by-products, mango, shrimp, microbiota.

ORCID: 0009-0005-2883-9873

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Roberto Civera Cerecedo



Dr. Alberto Peña Rodríguez

Dedicatoria

“A mi familia, los que están y los que se han adelantado”

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo para realizar mis estudios a través de la beca 827554.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), y a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, por permitirme utilizar las instalaciones y darme todo lo necesario para finalizar esta tesis, además, por la beca de manutención otorgada.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en específico a la FMVZ y la FES Cuautitlán por concederme la licencia para poder realizar mis estudios de posgrado y con ello mejorar en mi labor docente.

A los miembros de mi Comité: al Dr. Roberto Civera Cerecedo, al Dr. Alberto Peña Rodríguez y al Dr. Asahel Benítez Hernández por la gran dirección de esta tesis, por todo el apoyo brindado, el acompañamiento, las revisiones y, sobre todo, por estar siempre dispuestos a resolver todas mis dudas.

A Gabriel Robles Villegas y Sandra de La Paz Reyes del Laboratorio de Nutrición Acuícola que me brindaron todo el material, todo el apoyo y todas las atenciones durante mis bioensayos.

A todo el personal técnico que me enseñó y apoyó durante la realización de los análisis necesarios: Sindi Juan Antúnez, Ernesto Goytortúa, Saúl Zamora, Jessica Nieto.

A todo el personal de Posgrado por su apoyo y amabilidad durante todo el proceso de la maestría: a la Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro, Dra. Alejandra Nieto Garibay, Mtra. Osvelia Ibarra Morales, Adriana Teresa Franzoni García, Edgar Armenta Espinosa, Horacio Sandoval Gómez, Lic. Raquel Herrera, Tania Verónica Núñez Valdez, A la Lic. Ana María Talamantes Cota por sus excelentes observaciones y a Susana Luna García por el apoyo en biblioteca, a Will Lagos de GAM por las larvas otorgadas para este trabajo.

A mis Padres por todo, por enseñarme a luchar. A mis hermanos, por cuidar a mis padres en mi ausencia. No alcanzarían las palabras para decirles lo mucho que los amo.

A Paulinita, sin ella simplemente no hubiera podido. Gracias por acompañarme, por darme ánimo, por resistir el calor, por el amor, por las risas y, sobre todo, ¡Gracias por venir!

A mis *patronus*, por iluminarme en mis momentos más oscuros.

A mis amiguitos de toda la vida, Gio, Tona, Vale, Paty, Sof, Dan; y a mis amiguitos de la Maestría: Nat, Dante, Odette (la más personal), Arleth, Zule, Chava, Luis, Maki y a toda la palomilla que me brindó su amistad durante estos dos años. En especial gracias a Jorge Levi y Jair por ser los reales más reales.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Producción de camarón.....	3
2.2 Alimentación y economía circular.....	3
2.3 Mango.....	5
2.3.1 Compuestos bioactivos del mango.....	7
2.4 Uso del mango en la acuicultura	7
2.5 Alimentación y microbiota	10
2.5.1 Identificación de Microbiota de los organismos acuáticos	10
2.5.2 Secuenciación masiva	11
2.5.3 Microbiota en organismos acuáticos.....	12
2.5.4 Manipulación de microbiota.....	13
2.5.5 Aditivos	13
2.6 Digestibilidad de ingredientes	14
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. HIPÓTESIS	17
5. OBJETIVOS	18
5.1 Objetivo general	18
5.2 Objetivos particulares.....	18
6. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1 Objetivo particular 1. Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta	19
6.1.1 Elaboración de la harina de subproductos de mango	19
6.1.2 Análisis químicos proximales	22
6.2 Objetivo particular 2. Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de <i>Litopenaeus vannamei</i>	23
6.2.1 Bioensayo de crecimiento.....	23
6.2.2 Organismos experimentales	23
6.2.3 Formulación y fabricación de alimentos experimentales.....	24
6.2.4 Fabricación de alimentos	24
6.2.5 Diseño experimental y condiciones de cultivo	26
6.2.6 Criterios de evaluación	27
6.3 Objetivo particular 3 Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de <i>Litopenaeus vannamei</i>	27
6.3.1 Extracción de ADN	27

6.3.2 Preparación de librerías y la secuenciación del gen 16S ARN	28
6.3.3 Análisis de las comunidades bacterianas del intestino del camarón	28
6.4 Objetivo particular 4. Evaluar la digestibilidad aparente <i>in vivo</i> de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo.	28
6.4.1 Formulación de alimentos.	28
6.4.2 Fabricación de alimentos.	29
6.4.3 Sistemas experimentales	30
6.4.4 Organismos experimentales	31
6.4.5 Diseño experimental y condiciones de cultivo	31
6.4.6 Colecta de heces por disección de los organismos experimentales	33
6.4.7 Cuantificación del óxido crómico en alimentos y heces.	33
6.4.8 Cuantificación de Carbohidratos	34
6.4.9 Cuantificación de Lípidos	35
6.4.10 Cálculo de los coeficientes de utilización digestiva aparente.	36
6.5 Análisis estadísticos	36
7. RESULTADOS	37
7.1 Objetivo particular 1. Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta	37
7.1.1 Rendimientos del mango Ataulfo	37
7.2 Objetivo particular 2. Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de <i>Litopenaeus vannamei</i>	40
7.2.1 Composición de los alimentos	40
7.2.2 Parámetros fisicoquímicos del agua, zootécnicos y de utilización del alimento.....	41
7.3 Objetivo particular 3. Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de <i>Litopenaeus</i>	43
7.4 Objetivo particular 4. Evaluar la digestibilidad aparente <i>in vivo</i> de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo	46
8. DISCUSIÓN	49
8.1 Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta	49
8.2 Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de <i>Litopenaeus vannamei</i>	52
8.3 Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de <i>Litopenaeus vannamei</i>	54
8.4 Evaluar la digestibilidad aparente <i>in vivo</i> de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo.	57
9. CONCLUSIONES	64
9.1 Recomendaciones.....	65
10. LITERATURA CITADA	66

Lista de figuras

Figura 1. Partes del mango	6
Figura 2. Biometría y disección de mangos Ataulfo para las pruebas de fabricación de la harina.	19
Figura 3. Prueba de secado: en la parte superior del horno VWR se colocó directamente el subproducto fresco, mientras que en las partes inferiores se observa la pasta húmeda.	20
Figura 4. Cortes para obtención de las 2 rebanadas principales del mango y los subproductos.	20
Figura 5. Licuado de los subproductos en licuadora industrial.	21
Figura 6. Secado de la pasta de subproductos de mango.	21
Figura 7. Molienda de la pasta seca y harina de subproductos de mango Ataulfo.	22
Figura 8. Procesamiento de fabricación de la HSMA en el CIBNOR.	22
Figura 9. Elaboración de los alimentos experimentales para el bioensayo de crecimiento en la Planta de alimentos del CIBNOR.	25
Figura 10. Sistema experimental en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR.	26
Figura 11. Preparación de los alimentos para el bioensayo de digestibilidad.	30
Figura 12. Unidad experimental para los bioensayos de digestibilidad, incluyendo 5 organismos, un calentador de titanio y una piedra aireadora.	31
Figura 13. Heces colectadas y enjuagadas con agua destilada.	32
Figura 14. Disección de los organismos experimentales para la extracción del intestino.	33
Figura 15. Componentes del mango Ataulfo y sus rendimientos.	38
Figura 16. Crecimiento en peso de los organismos de los diferentes tratamientos durante los 45 días del bioensayo de crecimiento.	43
Figura 17. Diversidad beta de comunidades bacterianas presentes en el intestino de <i>L. vannamei</i> bajo los diferentes niveles de inclusión de HSMA.	44

Lista de tablas

Tabla 1. Composición química proximal (%) en base seca de diferentes partes de mango maduro.	6
Tabla 2. Composición en ingredientes (%) de los alimentos para el bioensayo de crecimiento de juveniles de camarón blanco con cinco niveles de inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo.	25
Tabla 3. Composición en ingredientes (%) del Alimento de Referencia y el Alimento Prueba, para medir la digestibilidad de la harina de subproductos de mango Ataulfo.	29
Tabla 4. Peso, rendimientos de los diferentes componentes y subproductos, y medidas del mango Ataulfo.	37
Tabla 5. Rendimientos de los componentes principales del mango Ataulfo.	39
Tabla 6. Composición proximal (%) y contenido de energía (Kcal/g) de la Harina de Subproductos de Mango Ataulfo (HSMA).	40
Tabla 7. Composición proximal (%) y de energía (Kcal/g) de los alimentos experimentales para el bioensayo de crecimiento.	41
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del agua durante el bioensayo de crecimiento.	41
Tabla 9. Parámetros zootécnicos al final del bioensayo de crecimiento.	42
Tabla 10. Abundancia relativa (%) de los principales Phyla bacterianos en el intestino de camarones alimentados con diferentes niveles de inclusión de la HSMA en el alimento.	45
Tabla 11. Abundancia relativa (%) de las principales familias dentro del Phylum al cual pertenecen, para los tratamientos experimentales.	46
Tabla 12. Composición proximal (%) y contenido de energía (Kcal/g) de los alimentos del bioensayo de digestibilidad.	47
Tabla 13. Coeficientes de utilización digestiva aparente (%) de materia seca (DAMS), proteína (DAP), lípidos totales (DALT) y carbohidratos (DACHO) de los alimentos utilizados en el bioensayo de digestibilidad, en función del método de colecta de heces.	47
Tabla 14. Coeficientes de utilización digestiva aparente (%) de materia seca (DAMS), proteína (DAP), lípidos totales (DALT) y carbohidratos (DACHO) de la harina de subproductos de mango Ataulfo, en función del método de colecta de heces.	48

1. INTRODUCCIÓN

La producción acuícola y pesquera alcanzó un récord histórico de producción en 2022 con 223,2 millones de toneladas. En ese mismo año, por primera vez la producción acuícola de especies animales (51%) superó a la pesca. A nivel mundial los alimentos acuícolas aportaron alrededor del 15% de las proteínas de origen animal y el 6% de las proteínas totales en 2021. El consumo per cápita de productos acuícolas se mantiene en 20.6 kg por habitante. Los crustáceos se encuentran dentro de los principales grupos de producción con un aporte de 12.7 millones de toneladas (FAO, 2024).

La alimentación juega un rol muy importante en la producción acuícola ocupando el primer lugar en cuanto a costos, llegando incluso a superar al 60% de los costos totales (Lucas y Southgate, 2019). Esto puede llegar a ser un problema en los próximos años debido al incremento en el costo de los ingredientes, que es causado por la competencia y poca disponibilidad de ingredientes claves para la formulación de alimentos. Por lo tanto, diferentes tipos de fuentes nutritivas para los crustáceos son necesarias para mantener el rápido crecimiento del sector acuícola, dentro de las cuales se han analizado el uso de subproductos vegetales, subproductos de origen animal, insectos, subproductos marinos, bacterias y levaduras, entre otros (Lemos *et al.*, 2009; Terrazas-Fierro *et al.*, 2010a; McLean *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022, Sándor *et al.*, 2022).

Por otro lado, la industria de los alimentos y bebidas es uno de los sectores industriales más grandes del mundo y la cantidad de subproductos o coproductos generados por este es un problema económico y ambiental cada vez mayor (Sumaya-Martínez *et al.*, 2019). En este sentido, el mango es de las principales especies tropicales de mayor producción a nivel mundial (solo por debajo de las bananas y la piña) con un área aproximada de cultivo de 3.7 millones de hectáreas. Aunque su uso está destinado principalmente al consumo humano directo, los residuos de esta producción pueden ser destinados a la fabricación de otros productos como purés, rodajas en almíbar, néctar, rodajas en latas, cortes deshidratados, etc. Los principales subproductos obtenidos de la producción de mango son la cáscara y la semilla, que en conjunto pueden abarcar hasta el 60% del peso total de la fruta.

Además, se ha demostrado la presencia de compuestos activos en el mango tales como ácidos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética (Jahurul *et al.*, 2015; FAO, 2023). Aunque se

han hecho estudios sobre el crecimiento y sobrevivencia de peces por la inclusión del mango en el alimento, no es de nuestro conocimiento sobre trabajos que evalúen el uso de subproductos de mango en la alimentación de juveniles de camarones *L. vannamei* (Fawole *et al.*, 2016; Lizárraga-Velázquez *et al.*, 2019; López-Ceseña, 2024).

2. ANTECEDENTES

2.1 Producción de camarón

Debido a su alto valor nutritivo y comercial, los camarones son un importante recurso acuícola en todo el mundo (Badee *et al.*, 2020). En términos de especie, el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* fue la principal especie producida para 2022 con 6.8 millones de toneladas (FAO, 2024). *Litopenaeus vannamei* es una especie nativa de México, Centro América y Perú y ha sido introducida ya en varios países convirtiéndola en la especie de camarón más popular a nivel mundial (Chien *et al.*, 2023). Es una especie tropical que se desarrolla principalmente de 24 a 30°C, con una salinidad desde 15 a 45 UPS, concentraciones de oxígeno disuelto de 3 a 12 mg/L y dentro de un rango de pH que va desde los 8.1 a 9 (Lucas y Southgate, 2019; Stickney y Gatlin, 2022). En cuanto a hábitos alimenticios, los camarones pueden ser considerados como organismos filtradores, carroñeros y depredadores y clasificados como omnívoros, investigaciones han encontrado en su estómago otras especies de crustáceos, anélidos, moluscos, equinodermos, nemátodos, tejidos de pez, insectos, semillas, algas, micrófitos, materia vegetal y detritus, mostrando la amplia variedad de alimentos en su dieta (Jobling, 2012).

La producción acuícola de camarón en México para 2023 fue de casi 192,000 toneladas, posicionando a la especie como el número tres en cuanto a volumen de producción, mientras que, debido a su valor, esta se encuentra en la posición uno, pues genera fuertes ingresos a la economía nacional debido a su alto índice de exportaciones. Dentro de los principales productores, el Noreste mexicano funge como una de las áreas de mayor producción; durante el 2023 Sinaloa fue el principal Estado productor, con cerca de 85,000 mil toneladas, seguido por Sonora con casi 80,000 toneladas (CONAPESCA, 2024).

2.2 Alimentación y economía circular.

El precio de la materia prima usada en los alimentos acuícolas han ido en aumento en los últimos 20 años; en este contexto, los fabricantes de alimento han enfocado sus esfuerzos en ampliar el portafolio de ingredientes para mantener la calidad y precio en sus formulaciones (Emerenciano *et al.*, 2022).

El costo de los alimentos ocupa sistemáticamente el primer lugar entre los insumos de cría de muchas especies. Para 2050 se prevé que la acuicultura se expanda y se intensifique aún más, y para mantener tales niveles de producción se necesitarán grandes volúmenes de alimentos balanceados de excelente calidad nutricional. Para lograr esto se requerirá la obtención de materias primas adicionales que actualmente no están disponibles o se utilizan con otros fines (FAO, 2024). La necesidad de mejorar la rentabilidad de los alimentos, a través de la nutrición y el uso de ingredientes alternativos nunca ha sido tan grande (Emerenciano *et al.*, 2022).

Para el año 2019 la FAO estimaba que, de la producción mundial de alimentos, al menos se desperdiciaba una tercera parte en todo el mundo. Para el caso de las frutas y vegetales de los 1.5 billones de toneladas que se producían al año, un estimado de 0.5 billones eran o desperdiciados o convertidos a subproductos como semillas, cáscaras, vainas, etc. (FAO, 2023). En este sentido, la economía circular es un modelo económico que busca sustituir el modelo económico lineal de la generación de productos de “tomar-hacer y desechar” basándose en los conceptos de adaptación, reutilización, reciclaje y la revaloración de productos derivados de los desperdicios contribuyendo a mejorar el rendimiento de los recursos naturales mientras se permite que los sistemas o recursos naturales pueden recuperarse (Zhang *et al.*, 2022; FAO, 2024).

Entre el desperdicio de alimentos, se considera a aquellos productos destinados al consumo humano, pero que, por alguna circunstancia, terminan siendo desperdiciados, así como a los productos que debido a su naturaleza o al procesamiento, no pueden ser consumidos por los humanos, pudiendo entrar aquí, por ejemplo, las cáscaras o semillas (Vilariño *et al.*, 2017; Teigiserova *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). Muchos de los residuos pueden revalorizarse en productos como harinas, concentrados proteicos y lipídicos, o utilizarse como fuentes de polisacáridos, polifenoles, aceites esenciales, fibras, resinas y, pigmentos, entre otros, en lugar de desecharse o incinerarse (Marić *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2023). Algunos usados como ingredientes o aditivos innovadores pueden mejorar la digestibilidad y la disponibilidad de los nutrientes, sustituir a otros para reducir, por ejemplo, la dependencia de la harina de pescado, que es ampliamente utilizada en alimentos acuícolas. Otros aditivos como los probióticos, pueden

aumentar la resistencia a agentes patógenos. El control y mejora de los nutrientes de los productos acuáticos permiten así obtener mejores resultados nutricionales (FAO, 2024).

En acuicultura los extractos herbales, fitoquímicos y metabolitos secundarios de algunas plantas se consideran como potenciales aditivos para los alimentos (Ahmadifar *et al.*, 2021), sin embargo, para que se consideren viables las nuevas fuentes de ingredientes deben de cumplir con ciertos requisitos. Algunos de estos requisitos, mencionados por la FAO incluyen: que deben de ser nutricionalmente adecuados para la especie objetivo, ser apetecibles, obtenerse de una producción sostenible que pueda ampliarse a niveles comerciales, ser físicamente estables, ser fácilmente manipulables y almacenables, etc. (FAO, 2022).

2.3 Mango

El mango pertenece al género *Mangifera*, que consta de cerca de 30 especies de árboles tropicales de la familia de plantas con flores Anacardiaceae (Shah *et al.*, 2010). Es una planta perenne, de vegetación permanente, tiene raíces adventicias y fibrosas. El mango es un fruto carnoso de forma arriñonada que encierra un hueso aplanado grande de cubierta leñosa, que en su interior contiene la semilla o almendra del fruto. (Fig. 1). Es originario del Noreste de la India y el Trópico Asiático. Los principales productores son India, China, Tailandia, Indonesia y México (FAO, 2023; Kaur *et al.*, 2023). En México, se encuentra desde la zona costera del oriente, centro y occidente del país, a temperaturas entre 26 a 32°C y precipitación anual promedio de 1,000 a 1,500 mm. En cuanto a suelo, prospera en terrenos profundos de textura media con pH de 6 a 8 (SAGARPA, 2017). Es un fruto popular y de importancia económica en el mundo debido a su excelente calidad alimentaria (color, sabor, olor) y a su composición nutricional (Tabla 1). El mango se puede considerar como una buena fuente de carotenoides y compuestos fenólicos, estos últimos son sustancias naturales producidas por vegetales que funcionan como antioxidantes, moléculas capaces de ayudar a la protección contra enfermedades (Ma *et al.*, 2011).



Figura 1. Partes del mango

Tabla 1. Composición química proximal (%) en base seca de diferentes partes de mango maduro.

	Humedad	Proteína	Extracto Etéreo	Fibra Cruda	Cenizas
Pulpa¹	4.2	3.9	1.2	11.8	2.6
Cáscara¹	5.6-6.9	2.6-5.0	1.7-1.9	20.2	2.13
Semilla/ Almendra²	3.0-9.9	6.0-7.8	8.1-13.0	0.26-10.6	1.5-3.2

(Ashoush y Gadallah, 2011; Ashifat et al., 2012; Torres-León et al., 2018; Quintana-Obregón et al., 2019; Ojha et al., 2019; Patiño-Rodríguez et al., 2020; Kaur et al., 2023)1 Mango Ataulfo, 2 Diversas variedades.

Para el 2022, la producción nacional de este fruto fue de 2.5 millones de toneladas aproximadamente, colocando a México como sexto productor a nivel mundial (FAO, 2024b). Sinaloa, Guerrero, Nayarit, Chiapas y Oaxaca son los principales productores, y aportan cerca del 77% de la producción nacional; la variedad Ataulfo es la más producida con 654,845 toneladas, principalmente del Estado de Chiapas (SADER, 2020; SIAP, 2024). Según los últimos datos oficiales, desde 2016 México ya cubría toda la demanda nacional de mango siendo el sexto productor a nivel mundial con 2.18 millones de toneladas producidas anualmente por lo que podía exportar a países como Estados Unidos, Canadá, y Japón, siendo el principal exportador a nivel mundial y manteniendo la posición hasta 2023 (SADER, 2020, FAO 2023). Si bien la principal presentación de consumo es la fruta entera, también se consume en forma de jugos, helados, dulces, mermeladas y conservas, pues se considera que además del fruto, cada parte del árbol,

como hojas, flores, corteza, cáscara y semilla contienen compuestos nutricionales o funcionales (Jahurul *et al.*, 2015). De acuerdo con Sumaya-Martínez *et al.* (2012) uno de los problemas más importantes de la transformación del mango es el mínimo desarrollo tecnológico para su industrialización, por lo que se prioriza y privilegia su venta en fresco lo cual implica que exista un alto desperdicio de materia prima. Además, mencionan que en México los desechos o subproductos agrícolas tales como cáscaras, huesos, bagazo, frutas y vegetales dañados o con problemas de madurez y calidad representan un problema ambiental, pues el país carece de políticas adecuadas para su manejo y dichos productos suelen ser arrojados a los basureros en grandes volúmenes a cielo abierto. Aunque ya existen empresas que pueden procesar algunos frutos para la obtención de pulpa y deshidratados, el procesamiento del mango deja aproximadamente 60% de éste en forma de desecho, principalmente huesos, semillas, cáscaras y pulpa adherida a éstos (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012; SADER, 2020).

2.3.1 Compuestos bioactivos del mango

Diversos estudios han demostrado que los subproductos del mango tales como cáscara y semillas contienen niveles altos de promotores de la salud, tales como compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética (Jahurul *et al.*, 2015). Muchos de estos compuestos fenólicos han sido tentativamente caracterizados en la piel o cáscara, la parte comestible y la semilla de la fruta. Estos compuestos poseen propiedades como eliminadores de radicales libres y, de manera general, funcionan como nutraceuticos ya que están relacionados con la prevención del estrés oxidativo y daño celular (Talcott *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2009).

2.4 Uso del mango en la acuicultura

Las investigaciones sobre la posibilidad de la incorporación o uso del mango en la acuicultura son muy escasas, aunque, han ido en aumento en los últimos años. Omoregie *et al.* (1991) midieron el crecimiento en alevines de tilapia al incluir harina de semilla mango y yuca (*Manihot esculenta*) secadas al sol, en sustitución de harina de pescado en el alimento. Después de 56 días de bioensayo, el alimento control reportó mejores crecimientos, seguido del alimento con una inclusión de 25% de yuca y 50% de harina de semilla de mango, comparado contra el tratamiento Control. Posteriormente, estos mismos investigadores evaluaron la utilización y la digestibilidad de una harina de semilla de mango ahora en juveniles del ciprínido *Labeo senegalensis*; en este

segundo bioensayo de 12 semanas, los resultados mostraron la factibilidad de incluir la harina hasta en un 10% sin afectar los parámetros zootécnicos de la especie. En el caso de la digestibilidad aparente, la proteína y los carbohidratos, obtuvieron valores arriba de 86% y del 45% respectivamente (Omoregie *et al.*, 1991; Omoregie, 2001). Melo *et al.* (2012) evaluaron una harina de cáscara de mango como componente energético, en sustitución de la harina de maíz en el alimento para alevines de tilapia. Después de 45 días de bioensayo, los autores reportaron que con la inclusión de hasta un 30% de harina de cáscara de mango, los alevines no se ven afectados en su crecimiento. Por otro lado, Souza *et al.* (2013) utilizaron la pulpa y cáscara de mangos Tommy Atkins, descartados para el consumo humano, para la elaboración de una harina, la cual, de igual manera, incorporaron en un alimento en sustitución de la harina de maíz, en este caso evaluando el desempeño de tilapias juveniles. Después de 45 días de bioensayo, los juveniles de tilapia que fueron alimentados con 10% de inclusión de harina de cáscara y pulpa de mango, no presentaron diferencias significativas en su desempeño productivo, comparados contra el tratamiento Control. Un estudio similar fue realizado por Lima *et al.* (2011), quienes colectaron residuos de mango de una despulpadora, elaborando con ellos una harina de la cáscara y el bagazo. Realizaron un bioensayo de crecimiento y uno de digestibilidad. En el bioensayo de crecimiento de 63 días, juveniles de tilapia bajo un tratamiento con 15% de inclusión de esta harina de residuos de mango, crecieron sin diferencias significativas vs el tratamiento Control.

En cuanto a la digestibilidad aparente, los autores reportaron que, a medida que aumentaba la inclusión de la harina de residuos de mango, disminuía su absorción. Sin embargo, la digestibilidad aparente de proteína, materia seca y energía, siempre estuvieron por arriba de 75.5%. Este mismo grupo de investigadores, han reportado también el uso de este fruto o sus derivados en otras especies como la pacamã o pez gato "*pac-man*" (*Lophiosilurus alexandri*) y el tambaqui o cachama (*Colossoma macropomum*). (Lima *et al.*, 2011; Melo *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2013, 2015, 2018, 2021; Silva *et al.*, 2022; Marchão *et al.*, 2024; Cruz Neto *et al.*, 2024). Souza *et al.* (2018), estudiaron la inclusión de una harina de pulpa de mango, al igual que los estudios anteriores, en sustitución de la harina de maíz. Los juveniles, alimentados durante 45 días con esta harina de pulpa de mango, tuvieron un desempeño productivo superior al de los alimentados con el Control. El tratamiento que mejor crecimiento produjo fue el de 30% de inclusión de harina de pulpa de mango. Silva *et al.* (2022) probaron la incorporación de mangos descartados, *in natura*,

en el alimento de juveniles de tambaqui. En este bioensayo de 45 días los peces alimentados con mango no tuvieron el mejor crecimiento vs los alimentados con el tratamiento Control y con maíz. La inclusión de 26% de mango *in natura*, no afectó la salud (a nivel hematológico) de los organismos. Marchão *et al.* (2024) analizaron el efecto de una harina elaborada a base de mangos descartados para el consumo humano, la cual incluía pulpa, cáscara y semilla con hueso. Los juveniles de tambaqui, fueron expuestos a un bioensayo de crecimiento de 45 días, al final del cual los autores reportaron la viable inclusión de la harina de mango, hasta en un 16%, sin afectar el crecimiento de los peces o su salud. Por otro lado, el pez del Amazonas, pacamã, también ha sido estudiado por algunos investigadores. Souza *et al.* (2005) colectaron mangos maduros variedad Tommy Atkins, y retirando la cáscara y la semilla, elaboraron una harina de pulpa de mango que fue evaluada en un bioensayo de 60 días, donde peces juveniles fueron alimentados con diferentes inclusiones de esta harina. Los autores reportan que la inclusión de 15% en el alimento no afectó el crecimiento ni la composición química de la carne de los peces. Lizárraga-Velázquez *et al.* (2019) utilizaron los extractos fenólicos de la cáscara de mango en el alimento para evaluar el crecimiento, y la actividad enzimática antioxidante del pez cebra *Danio rerio*, demostrando un efecto benéfico como antioxidante sin afectar el crecimiento de los organismos. Se han evaluado individualmente los subproductos del mango Ataulfo (pulpa, cáscara y semilla) sobre el desempeño productivo de tilapia, haciendo sustituciones de 10 y 20% en alimentos isoenergéticos e isolipídicos. Los peces alimentados con harina de pulpa de mango Ataulfo, presentaron mayor crecimiento, aunque sin detectarse diferencia significativa con el Control. Los autores reportaron que la inclusión de harina de pulpa de mango Ataulfo al 20%, no afecta los parámetros zootécnicos de la tilapia, ni su bioquímica sanguínea. (López-Ceseña 2024).

En el caso de crustáceos, las investigaciones son aún más escasas. Belsare *et al.* (2007) fabricaron una harina a base de las semillas o almendras de mangos provenientes de una fábrica de conservas, y la incluyeron a diferentes niveles en alimentos para poslarvas del langostino *Macrobrachium rosenbergii*. En este trabajo, la harina de semilla de mango se utilizó como sustituto parcial de la harina de pescado. Los autores reportaron que con la inclusión de 5% de la harina experimental en el alimento, los langostinos tuvieron un mayor crecimiento y una mayor supervivencia después de 45 días de bioensayo, comparados con el alimento Control. Aunque los análisis de composición proximal no fueron reportados, los autores acreditan este mayor

crecimiento a la cantidad de aminoácidos esenciales presentes en la semilla, además de la cantidad de energía que este ingrediente aportó al alimento. Hasta dónde sabemos, este es el único estudio para determinar el valor nutricional del mango o sus subproductos en camarones peneidos.

2.5 Alimentación y microbiota

La asociación con bacterias es crucial para la Biología de los animales y juega un papel esencial en la Fisiología y la salud de sus hospederos. El término de microbioma se ha utilizado para referirse al hábitat entero, incluyendo los microorganismos (bacteria, arqueas, eucariotas superiores e inferiores y virus), sus genomas y las condiciones medioambientales, es decir, es un concepto sumamente amplio (Marchesi y Ravel, 2015; Lyra *et al.*, 2018; Hou *et al.*, 2022). Microbiota es definido por quienes enfatizaron la importancia de los microorganismos que habitan el cuerpo de los organismos, este término usualmente se define como la asociación de los microorganismos vivos presentes en un definido ambiente y de los cuales los grupos mayores de bacterias variarán entre cada sitio (Ringø *et al.*, 2022; Hou *et al.*, 2022). El tracto digestivo de los vertebrados es un ecosistema microbiano compuesto que alberga una consorcio complejo y dinámico de microorganismos, los cuales juegan un papel crucial en los roles de nutrición y salud del organismo. Por otro lado, está claro que diversos factores como el genético, nutricional y condiciones medio ambientales, afectan la abundancia y diversidad de la microbiota del tracto gastrointestinal (Llewellyn *et al.*, 2014; Shapira, 2016; Lyra *et al.*, 2018).

2.5.1 Identificación de Microbiota de los organismos acuáticos

El conocimiento de la microbiota de los organismos permite establecer estrategias de manejo para la producción, ya sea en materia de control de enfermedades o para desarrollar estrategias de alimentación por lo que una línea de investigación que ha surgido es la de identificar y caracterizar los organismos presentes en las comunidades bacterianas (Escobar-Briones *et al.*, 2006). En este sentido, la investigación sobre las comunidades microbianas en el tracto digestivo de organismos acuícolas ha surgido como una herramienta de gran relevancia para el desarrollo de la acuicultura sostenible.

Las primeras aproximaciones para la identificación de bacterias en el tracto digestivo fueron métodos tradicionales basados en las características fenotípicas de las bacterias (Bou *et al.*, 2011). Esto tenía la limitante que solo se considera a las bacterias que son capaces de crecer en las condiciones dadas por el medio de cultivo y el proceso de incubación, dejando de lado a aquellos grupos o especies que son incapaces de crecer bajo esas mismas condiciones (Garibay-Valdez *et al.*, 2018). Se buscaron métodos que tuviera un mejor acercamiento a lo que realmente se podría encontrar en el organismo por lo que se empezaron a trabajar con pruebas moleculares, basadas en el análisis de la amplificación del gen 16S ARN ribosomal (16S ARNr). Con esto, se abarca y clasifica gran parte de los microorganismos procariotas presentes en un ambiente, además que las bases de datos de este gen suelen ser muy robustas. El gen 16S ARNr es el más ampliamente utilizado en estudios de filogenia y taxonomía bacterianas; tiene aproximadamente 1,500 pares de bases con regiones altamente conservadas para el diseño de cebadores y nueve regiones hipervariables que funcionan como códigos para la identificación de diferencias filogenéticas y taxonómicas entre organismos (Rodicio y Mendoza, 2004; Garibay-Valdez *et al.*, 2018). El 16S ARNs proviene de una subunidad que se encuentra altamente conservada, además presenta los denominados oligonucleótidos firma, que son secuencias específicas que se repiten en la mayoría de los miembros de un grupo filogenético y casi nunca aparecen en otro grupo, por lo cual estos oligonucleótidos pueden utilizarse para ubicar a las bacterias dentro de su propio grupo (Woese *et al.*, 1985).

2.5.2 Secuenciación masiva

La secuenciación masiva, también conocida como secuenciación de nueva generación (NGS, por sus siglas en inglés), es una tecnología que permite secuenciar el ADN (o el ARN) de manera rápida y eficiente, lo que permite obtener grandes volúmenes de datos en poco tiempo. Un experimento de secuenciación masiva consta de 4 etapas principales: la extracción de ADN de la muestra o aislado, la preparación de las bibliotecas o librerías, la secuencia o análisis bioinformático y la interpretación de resultados. Para la extracción de ADN se pueden emplear diversos métodos dependiendo de la muestra de origen, ya sea con reactivos preparados en el laboratorio o con kits comerciales (Rodicio y Mendoza, 2004). Para la preparación de bibliotecas, hay que fragmentar el ADN o bien amplificar fragmentos de éste, que posteriormente serán marcados o indexados para poder ser secuenciados, como en el caso de la tecnología Illumina. Por último, la

etapa de análisis de datos conlleva, a su vez, una serie de pasos: el análisis primario (la generación y el control de calidad), el secundario (alineamiento contra bases de datos específicas, ensamblado de referencia) y el terciario (generación de datos a partir de los resultados obtenidos en el análisis secundario). Una vez terminada la secuenciación se obtiene un archivo de datos FASTQ que tendrá que ser analizado mediante programas bioinformáticos (Kozich *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2020).

2.5.3 Microbiota en organismos acuáticos

Actualmente se sabe que el tipo o los grupos bacterianos encontrados en la microbiota de los organismos acuáticos será dependiente de diversos factores, tales como la especie, el medio ambiente (agua dulce o salada) (Cornejo-Granados *et al.*, 2017, 2018; Egerton *et al.*, 2018), la calidad del agua, el tipo de alimentación (omnívoro, herbívoro o carnívoro) el sistema de producción (estanques de tierra serán diferentes a estanques de concreto o a sistemas Biofloc)(Landsman *et al.*, 2019) e inclusive el género de los organismos.

En un metaanálisis realizado en 2018 se recolectaron muestras de diferentes especies de crustáceos de diferentes países, China, Taiwán, Tailandia, EUA, México, Ecuador, Indonesia y Japón, y de diferentes sitios de recolección (laboratorios, granjas o de vida libre) e incluso de diferente estadio, y se encontró que Proteobacteria es el Phylum con mayor dominio (65.99%) en hepatopáncreas, intestino, heces, branquias y del cuerpo entero de los crustáceos (Cornejo-Granados *et al.*, 2018). Otros estudios han reportado que los Phyla más abundantes en el camarón, además de Proteobacteria son Bacteroidetes, Verrucomicrobiota, Firmicutes y Actinobacteria (Simões *et al.*, 2002; Tzuc *et al.*, 2014; Fan *et al.*, 2019).

Se ha propuesto que el factor biológico más importante para la variación de la microbiota es el ambiente (marino o dulceacuícola). Para crustáceos marinos, los Ordenes más comunes son Enterobacteriales, Vibrionales, Rhodobacteriales y Alteromonadales, mientras que para los crustáceos de agua dulce los Ordenes principales son Burkholderiales y Clostridiales (Cornejo-Granados *et al.*, 2018).

2.5.4 Manipulación de microbiota

Se ha sugerido que la manipulación benéfica de la microbiota intestinal en los organismos puede resultar en un aumento de la resistencia a los patógenos, mejora del crecimiento, optimización del metabolismo de lípidos y estimulación del sistema inmune (Wanvimonsuk y Somboonwiwat, 2023). Muchos factores son los encargados de modificar la microbiota (Ghanbari *et al.*, 2015; Egerton *et al.*, 2018; Garibay-Valdez *et al.*, 2018). La alimentación puede ser manipulada para promover el crecimiento de bacterias benéficas, haciendo uso de prebióticos y probióticos (Wang, 2007; Goh *et al.*, 2022). Con respecto a esto, los ingredientes del alimento tienen un papel crucial donde se ha comprobado que dependiendo de la fuente de proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales pueden llegar a generar cambios significativos en la conformación de la comunidad bacteriana (Ringø *et al.*, 2016).

2.5.5 Aditivos

Hay una gran cantidad de aditivos utilizados para el cultivo de camarones, incluidos minerales, vitaminas, ácidos grasos, ácidos orgánicos, aceites esenciales, pigmentos, probióticos y prebióticos. Los mecanismos mediante los cuales estos aditivos pueden tener estos beneficios en la salud de los camarones pueden ser varios, tales como estimulación del sistema inmune innato, proporcionando micro o macronutrientes y manteniendo un microbioma saludable (Emerenciano *et al.*, 2022).

También se pueden agregar aditivos a los alimentos para que modifiquen la composición de la microbiota de los animales. Por ejemplo, se ha demostrado que utilizando Peroxiredoxina – 4 en alimentos para camarón blanco *L. vannamei*, se establecen bacterias benéficas y se activa la expresión de genes de respuesta inmune (Wanvimonsuk y Somboonwiwat, 2023). El uso de algas marinas como suplementos también ha demostrado ayudar a regular la presencia y diversidad de las bacterias de la familia Gammaproteobacteria que por lo general están asociadas con la disbiosis microbiana, por lo tanto, esta suplementación ayudaría a mantener una homeostasis en la microbiota, además pueden disminuir el impacto del virus de mancha blanca en los cultivos de camarón (Schleder *et al.*, 2020).

Entre los prebióticos, se reconoce principalmente a los oligosacáridos o azúcares complejos que son administrados en el alimento, pero que son indigeribles para los animales, con la intención de promover la proliferación de microorganismos favorables (Holt *et al.*, 2021). Principalmente, estos se encuentran en ingredientes provenientes de vegetales, frutas y granos; y para poder ser considerados como prebióticos, los ingredientes deben cumplir ciertos requisitos como: ser resistentes al ácido gástrico o a las enzimas de la digestión, no ser absorbidos en el tracto gastrointestinal, ser fermentables por las bacterias del tracto gastrointestinal, estimular la proliferación selectiva de ciertas bacterias y, por último, que estos cambios en la microbiota sean benéficos para el hospedero. Los manano-oligosacáridos (MOS) son uno de los principales prebióticos utilizados (Holt *et al.*, 2021). Se han hecho pruebas en la Lubina (*Dicentrarchus labrax*) donde se ha comprobado que la inclusión de MOS en el alimento confiere una mayor resistencia ante la presencia de *Vibrio alginolyticus*; se cree que este ingrediente cumple un papel importante en la protección de la microbiota al evitar la traslocación de bacterias, así como la de mejorar la morfología intestinal (Torrecillas *et al.*, 2011). La inulina, un oligosacárido aislado de granos, frutas y vegetales, puede ser utilizada en alimentos para incrementar la abundancia de bacterias ácido-lácticas, las cuales han sido reconocidas como benéficas y están relacionadas con una mayor sobrevivencia en el camarón *Fenneropenaeus indicus* (Hoseinifar *et al.*, 2015).

2.6 Digestibilidad de ingredientes

La digestibilidad es la proporción de un nutriente que es removida o absorbida del alimento por acción del sistema digestivo, y que permite que los nutrientes estén disponibles para el organismo. La digestibilidad es, en esencia, una medida de desaparición de nutrientes del alimento consumido (Jobling, 2012). La comprensión de la digestión y asimilación de nutrientes es de vital importancia, ya que seleccionar ingredientes con alta digestibilidad en la formulación de alimentos acuícolas permite el aprovechamiento de los nutrientes, lo que se traduce en una mayor eficiencia alimentaria, logrando así bajos factores de conversión alimenticia (D'Abramo, 2019; Lemos *et al.*, 2022). Comprender y estudiar la digestibilidad de los alimentos es un requisito clave para evaluar la calidad de los ingredientes utilizados en los alimentos, sobre todo, tratándose de alimentos nuevos o alternativos (Bello-Armenta y Cuello Marín, 2023).

Existen métodos directos e indirectos para la medición de la digestibilidad de ingredientes. Sin embargo, en acuicultura, la forma más común es la indirecta, incorporando un marcador inerte al alimento. Mientras los nutrientes se van absorbiendo, la concentración del marcador inerte va aumentando, a esto se le conoce como digestibilidad aparente, y es de utilidad para calcular la absorción de macronutriente (Truong *et al.*, 2022). La digestibilidad aparente puede definirse como la cantidad de nutrientes del alimento menos la cantidad del nutriente en las heces (Low, 1980). Es importante recordar que esta medida no considera las pérdidas del material endógeno, ni la lixiviación del alimento y las heces en el medio acuático, sin embargo, este representa uno de los mejores métodos para evaluar la digestibilidad de ingredientes hasta la fecha (Terrazas-Fierro *et al.*, 2010a; Terrazas-Fierro *et al.*, 2010b; Cruz-Suárez *et al.*, 2019).

3. JUSTIFICACIÓN

La producción de mango a nivel nacional genera subproductos que potencialmente podrían ser aprovechados en la industria acuícola como un ingrediente alternativo. Aunque se han hecho estudios sobre el uso de estos en la alimentación de peces y en la conservación de productos acuícolas (Badee *et al.*, 2020), aún no se ha probado incluirlos en los alimentos para camarón, específicamente de *Litopenaeus vannamei*. Además, diversos estudios han demostrado la presencia de compuestos bioactivos en la cáscara y pulpa del mango, por lo que su uso en acuicultura podría tener un efecto sobre la salud de los organismos. Estos subproductos podrían ser utilizados como fuentes de nutrientes, energía y/o compuestos funcionales en un alimento para juveniles de camarón, fomentando la economía circular generando un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

4. HIPÓTESIS

El uso de la harina de subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Ataulfo a diferentes niveles de inclusión en el alimento no afectará los parámetros zootécnicos, la digestibilidad *in vivo* de nutrientes, o la estructura de las comunidades bacterianas del intestino de juveniles de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la calidad nutricional de la harina de subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Ataulfo como ingrediente en alimentos para juveniles de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*.

5.2 Objetivos particulares

1. Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta.
2. Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de *Litopenaeus vannamei*.
3. Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de *Litopenaeus vannamei*.
4. Evaluar la digestibilidad aparente *in vivo* de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Objetivo particular 1. Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta

6.1.1 Elaboración de la harina de subproductos de mango

Se hicieron varias pruebas para determinar el mejor método para la obtención de la Harina de Subproductos de Mango Ataulfo (HSMA). Para esto se obtuvieron 20 mangos, se les hizo una biometría, se separaron y obtuvieron las proporciones de cada parte del fruto, y se colectó lo correspondiente a la cáscara de todo el fruto y la semilla para su procesamiento (Fig. 2). Estos subproductos se procesaron de dos maneras: 1) mediante secado directo, y 2) mediante licuado, previa adición de agua, para la obtención de una pasta húmeda, que posteriormente fue secada bajo las mismas condiciones (Fig. 3).



Figura 2. Biometría y disección de mangos Ataulfo para las pruebas de fabricación de la harina.

Dados los mejores resultados obtenidos (ver subíndice 7.1.1 en la sección de Resultados), se eligió el segundo método para la elaboración de la harina experimental, pues permitía una mejor molienda y tamizado, por tanto, una mayor facilidad para la elaboración de la harina.



Figura 3. Prueba de secado: en la parte superior del horno VWR se colocó directamente el subproducto fresco, mientras que en las partes inferiores se observa la pasta húmeda.

Para la elaboración de la harina experimental se obtuvieron 40 kg de mango Ataulfo como materia prima de una tienda de autoservicio de la ciudad de La Paz, B.C.S., y se mantuvieron en un cuarto con aire acondicionado hasta su procesamiento al día siguiente de la compra.

Para la obtención de los subproductos se simuló el procesamiento que se haría en una planta procesadora comercial, cortando longitudinalmente el fruto en dos rebanadas principales (Fig. 4), para consumo humano, y se colectaron los subproductos: el hueso con semilla, la cáscara y la pulpa residuales.



Figura 4. Cortes para obtención de las 2 rebanadas principales del mango y los subproductos.

Una vez colectados los subproductos del mango, se procedió a licuarlos en varios lotes (1.4 kg de promedio) dentro de una licuadora industrial de volteo con capacidad de 17 L, agregando agua a razón de 1:2 (subproductos: agua) para lograr una mezcla o pasta uniforme (Fig. 5).

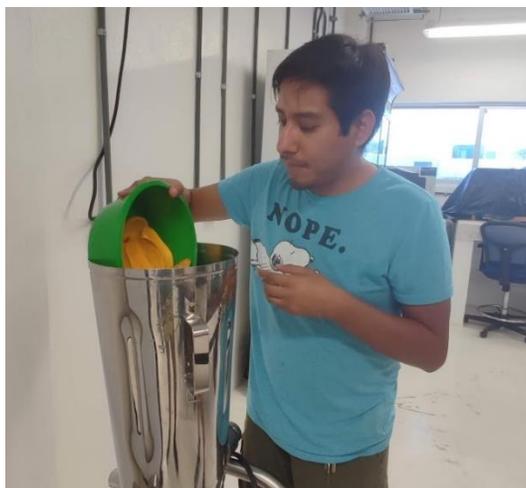


Figura 5. Licuado de los subproductos en licuadora industrial.

Una vez obtenida la pasta de los diferentes lotes de subproductos, se mezclaron para colocarlos en charolas de aluminio y secarlas en un horno de convección VWR® a 55°C durante 16 horas (Fig. 6).



Figura 6. Secado de la pasta de subproductos de mango.

Una vez que la pasta se secó, se hizo su molienda en un molino vertical (marca *Goldenwall*) con capacidad de 800 g hasta obtener un polvo fino, para posteriormente tamizarlo a 250 μ m y así obtener la Harina de subproductos de mango Ataulfo (HSMA) (Fig. 7). Se etiquetó y se almacenó a 4°C hasta su análisis y uso para la fabricación de los alimentos. En la Fig. 8 se muestra el procesamiento de fabricación de la HSMA.



Figura 7. Molienda de la pasta seca y harina de subproductos de mango Ataulfo.



Figura 8. Procesamiento de fabricación de la HSMA en el CIBNOR.

6.1.2 Análisis químicos proximales

La harina experimental elaborada en la planta de alimentos del CIBNOR fue sometida a un análisis químico proximal y de energía en las instalaciones del CIBNOR. Se realizaron los análisis por triplicado, siguiendo la metodología de la AOAC (2005). Brevemente, la humedad se calculó por pérdida de peso calentando la muestra en una estufa Terlab a 105°C durante 4 horas. Las cenizas se determinaron por diferencia de peso calcinando las muestras a 600°C durante 5 horas en una Mufla (Thermolyne F6000). Para la cuantificación de proteína cruda se utilizó el Método de

Análisis por Combustión o método Dumas (AOAC 990.03) utilizando un analizador de nitrógeno/proteína sistematizado y automatizado (LECO FP 528). Para el extracto etéreo se utilizó el equipo Soxtec Avanti (modelo 2050, Foss Tecator), un sistema de auto extracción que utiliza éter de petróleo como solvente extractor (método 2003-05). Para la estimación de carbohidratos, estos se dividen en dos fracciones, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN). Para la determinación de la fibra cruda se utilizó un método de hidrólisis sucesiva (ácido-base) con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en un sistema de extracción para fibra (Fibertec 2010,1020, Foss Tecator). Para el Extracto Libre de Nitrógeno se calculó la diferencia entre 100 y la suma de las determinaciones anteriores (ELN= 100- (% de proteína + % Extracto etéreo + % Fibra cruda + % Cenizas).

Para determinar el contenido calórico de la harina se utilizó un Calorímetro Automático Isoperibólico (Parr Instrument Co., Modelo 1261, Moline) el cual mide el calor que desprende las sustancias biológicas al quemarse completamente (combustión u oxidación).

6.2 Objetivo particular 2. Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de *Litopenaeus vannamei*

6.2.1 Bioensayo de crecimiento

Se realizó un bioensayo de crecimiento en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR para evaluar el efecto del nivel de inclusión de la harina de subproductos de mango Ataulfo en el alimento para juveniles de camarón blanco del Pacífico.

6.2.2 Organismos experimentales

Poslarvas 13 de *Litopenaeus vannamei* fueron obtenidas del Laboratorio de Larvas Gran Mar, S.A. de C.V., Rosario, Sinaloa. Estos organismos fueron aclimatados en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR, dentro de tanques de fibra de vidrio con capacidad de 1,200 litros, con agua de mar a una temperatura de 28°C ± 0.5°C y salinidad de 35 UPS. Los camarones se alimentaron tres veces al día (9:00 13:00 y 15:00) con un alimento comercial (PURINA, Aquafeed) con 35% de proteína hasta alcanzar el peso necesario para el experimento.

6.2.3 Formulación y fabricación de alimentos experimentales

Los alimentos experimentales fueron formulados utilizando el programa Excel® de Office®, tomando en cuenta los requerimientos nutricionales reportados para camarón blanco *L. vannamei* (Boonyaratpalin, 1996; Jobling, 2012).

Se diseñaron 5 alimentos isoproteicos e isoenergéticos con diferente porcentaje de inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo: 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% en sustitución de la harina integral de trigo (Tabla 2).

6.2.4 Fabricación de alimentos

Los alimentos se fabricaron en la Planta de alimentos del CIBNOR (Fig. 9). Todos los macroingredientes sólidos fueron primeramente pulverizados y tamizados a 250µm, y posteriormente, se pesaron de acuerdo con su porcentaje de inclusión y a la cantidad de alimento requerido. Para cada uno de los alimentos se realizó el procedimiento descrito a continuación: por separado, se realizaron premezclas de los macroingredientes, de los microingredientes y de los ingredientes líquidos, como la lecitina de soya y el aceite de pescado, que se premezclaron hasta la formación de una emulsión. Se colocó una porción de la mezcla de los macroingredientes junto con la totalidad de los microingredientes y se homogenizó manualmente. Posteriormente, se colocó en una mezcladora Kitchen-Aid de 2L junto con el resto de la premezcla de los macroingredientes y se mezcló durante 8 minutos. Después se agregó la emulsión y se mezcló durante otros 8 minutos, cuidando que no se formaran grumos o se pegaran restos a las paredes del tazón de la mezcladora. A cada uno de los alimentos (por separado) se les agregó agua, aproximadamente al 40% del peso de la mezcla sólida, se mezcló durante 5 minutos y, posterior a esto, se extruyeron en un molino de carne Hobart de ¼ HP, se cortaron a ~0.5-1 cm de longitud y, por último, los pellets formados se secaron en un horno VWR® a 45°C durante 16 horas. Transcurrido ese tiempo, se embolsaron y almacenaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis y uso para el bioensayo de crecimiento. En la Tabla 2 se muestra la composición de los alimentos.

Tabla 2. Composición en ingredientes (%) de los alimentos para el bioensayo de crecimiento de juveniles de camarón blanco con cinco niveles de inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo.

Alimento Ingrediente	Control	HSMA 2.5	HSMA 5	HSMA 7.5	HSMA 10
Harina de subproducto de Mango Ataulfo (HSMA)	0.00	2.5	5.00	7.50	10.00
Harina subproductos ave	21.00	21.0	21.00	21.00	21.00
Harina subproductos res	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60
Pasta de soya	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Gluten de trigo	10.00	10.50	11.00	11.50	12.00
Harina Integral de trigo	33.70	30.70	27.70	24.70	21.70
Aceite de pescado (sardina)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Lecitina de soya	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Colesterol	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Ácido algínico (alginato de sodio)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Premezcla de vitaminas (crustáceos marinos) ¹	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Premezcla de minerales (crustáceos marinos) ¹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Cloruro de colina	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vitamina C (Rovimix Stay-C35)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Antioxidante BHT	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Fosfato dibásico de sodio (Na ₂ HPO ₄)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

¹ Toyes-Vargas *et al.* (2017).



Figura 9. Elaboración de los alimentos experimentales para el bioensayo de crecimiento en la Planta de alimentos del CIBNOR.

6.2.5 Diseño experimental y condiciones de cultivo

Se evaluaron 5 alimentos por cuadruplicado. El experimento tuvo una duración de 45 días, durante los cuales se realizaron biometrías al inicio, y a los días 15, 30 y 45 del experimento. Se colocaron 10 organismos con peso promedio inicial de 250 mg en tanques rectangulares de fibra de vidrio con capacidad de 60 L llenados con agua de mar filtrada a través de un filtro de arena, de cartuchos (10 y 5 μm) y luz ultravioleta. Cada tanque contenía un sistema individual para su llenado de agua y una piedra difusora para la aireación alimentada desde un soplador de 5 HP.

En cada tanque la temperatura se mantuvo a $28^{\circ}\text{C} \pm 0.2$ mediante calentadores sumergibles de 250 W con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. La iluminación se hizo mediante lámparas de 60W controladas con un temporizador para mantener un fotoperiodo artificial de 12 horas de luz: 12 horas oscuridad al día con fotofase a partir de las 07:30 am durante todo el experimento (Fig. 10). Los parámetros fisicoquímicos del agua temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, fueron monitoreados y registrados diariamente con un oxímetro portátil (YSI, modelo 550Am YSI Incorporated, YellowSpring, OH, EUA), mientras que el amonio se midió semanalmente, y a partir de la cuarta semana, se comenzó también a medir el pH semanalmente, ambos mediante kits colorimétricos (API-MARS FISHCARE, EUA). Los tanques se limpiaron diariamente mediante sifoneo, retirando las heces, restos de alimento, mudas y animales muertos, haciendo un recambio diario de agua comenzando en 10% y aumentando paulatinamente a manera de mantener los niveles de amonio por debajo de 1mg/L.



Figura 10. Sistema experimental en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR.

Al inicio del bioensayo, los alimentos se proporcionaron a razón del 10% de la biomasa en cada tanque y, posteriormente, se ajustaron conforme al consumo diario de manera que siempre existiera una cantidad de alimento residual, asegurando la disponibilidad para el consumo por parte de animales. El alimento se distribuyó en tres raciones al día (10:00, 13:00 y 17:00 horas). El consumo aparente se cuantificó por apreciación visual y se registró diariamente.

6.2.6 Criterios de evaluación

Los camarones fueron pesados individualmente en una balanza (OHAUS, QT200) eliminando el exceso de agua cuidadosamente con una franela absorbente. Se calcularon los parámetros zootécnicos y de utilización de alimento a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{Supervivencia (\%)} = (\text{No. final de organismos}) / (\text{No. inicial de organismos}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Alimento suministrado} - \text{Alimento aparente consumido (g)}^* \quad (2)$$

* Estimación visual del peso del alimento residual en los acuarios

$$\text{Factor de conversión alimenticia (FCA)} = \quad (3)$$

$$\text{Alimento aparente consumido (g)} - \text{Incremento de peso corregido (g)}$$

$$\text{Incremento de peso corregido} = \quad (4)$$

$$[\text{Biomasa final} + ((\text{Peso final} + \text{Peso inicial}) / 2) \times \text{No. de muertos}] - \text{Biomasa inicial}$$

$$\text{Eficiencia proteica} = \text{Incremento de peso corregido (g)} / \text{Proteína aparente consumida (g)} \quad (5)$$

6.3 Objetivo particular 3 Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de *Litopenaeus vannamei*.

6.3.1 Extracción de ADN

Al término del bioensayo de crecimiento, se disecaron 8 organismos por tratamiento, se colectaron los intestinos, mismos que, se colocaron en tubos Falcon con etanol al 90%, y se mantuvieron a -40°C hasta su análisis. La extracción de ADN de los intestinos se hizo mediante el

uso del Kit de extracción DNeasy UltraClean Microbial, de QIAGEN (No. Cat 12224, EUA) siguiendo las instrucciones del manual del fabricante.

La calidad del ADN extraído de las muestras se analizó empleando un espectrofotómetro NanoDrop 2000 para determinar su pureza; para cuantificar se utilizó un fluorómetro Qubit y para verificar su integridad un gel de agarosa (1%).

6.3.2 Preparación de librerías y la secuenciación del gen 16S ARN

La región V3-V4 del gen 16S rRNA bacteriano de las muestras fue amplificada utilizando los cebadores 341F (5'-CCTAYGGGRBGCASCAG-3') y 806R (5'-GGA CTA CNNGGTAT CTAAT-3') con el Phusion® High-Fidelity PCR Master Mix (New England Biolabs, EUA). Posteriormente, se prepararon las bibliotecas usando el TruSeq® DNA PCR-Free Sample Preparation Kit (Illumina, EUA) según las instrucciones del fabricante. Las bibliotecas fueron secuenciadas en la plataforma NovaSeq 6000 por la empresa Novogene (China) y se obtuvieron lecturas pareadas de 250pb.

6.3.3 Análisis de las comunidades bacterianas del intestino del camarón

Las lecturas se procesaron mediante el pipeline de análisis DADA2 (v1.13.5) y se visualizaron con Phyloseq (v1.29.0), ambos en el programa R (v.3.6.2). Las secuencias fueron depuradas y filtradas utilizando el paquete de Bioconductor DADA2. La clasificación de las secuencias se realizó usando la base de datos SILVA 132 (Quast *et al.*, 2013; McMurdie y Holmes, 2013; Callahan *et al.*, 2016).

6.4 Objetivo particular 4. Evaluar la digestibilidad aparente *in vivo* de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo.

6.4.1 Formulación de alimentos.

La formulación de los alimentos se realizó utilizando el programa Excel® de Office® tomando en cuenta los requerimientos nutricionales reportados para camarón blanco *L. vannamei* (Boonyaratpalin, 1996; Jobling, 2012). Se diseñaron 2 alimentos: una premezcla base o de Referencia y un alimento Prueba conteniendo 30% de harina de subproductos de mango Ataulfo y 70% de la premezcla de referencia (Tabla 3). Se utilizó óxido crómico al 1% como marcador inerte para medir la digestibilidad aparente según el método de Cho y Slinger (1979) y 2% de alginato de Sodio como aglutinante.

6.4.2 Fabricación de alimentos.

Los alimentos fueron fabricados en la Planta del CIBNOR, siguiendo el procedimiento descrito en la metodología para la fabricación de alimentos del bioensayo de crecimiento. Para ello, se usaron los ingredientes enlistados en la Tabla 3, los cuales primeramente fueron pulverizados y tamizados a 250 μ m, y posteriormente, se pesaron de acuerdo con su porcentaje de inclusión y la cantidad de alimento requerido. Primero se hizo una premezcla base o de referencia con los ingredientes, que después fue utilizada para la elaboración del Alimento de Referencia y para el Alimento Prueba; este último consistente en 70% de la premezcla de referencia y 30% de la harina de subproductos de mango Ataulfo (HSMA).

Tabla 3. Composición en ingredientes (%) del Alimento de Referencia y el Alimento Prueba, para medir la digestibilidad de la harina de subproductos de mango Ataulfo.

Ingrediente	Alimento de Referencia	Alimento Prueba
Harina subproductos ave	19.50	13.65
Harina subproductos res	9.60	6.72
Pasta de soya	15.00	10.5
Gluten de trigo	3.15	2.20
Harina Integral de trigo	41.05	28.73
Aceite de pescado (sardina)	2.65	1.85
Lecitina de soya	2.00	1.4
Colesterol	0.25	0.17
Ácido algínico (alginato de sodio)	2.00	1.4
Premezcla de vitaminas (crustáceos marinos)	1.80	1.26
Premezcla de minerales (crustáceos marinos)	0.50	0.35
Cloruro de colina	0.20	0.14
Vitamina C (Rovimix Stay-C35)	0.08	0.06
Antioxidante BHT	0.02	0.01
Óxido crómico (CR2O3)	1.00	0.7
Fosfato dibásico de sodio (Na ₂ HPO ₄)	1.20	0.84
Harina de subproductos de Mango Ataulfo (HSMA)	0	30
TOTAL	100	100

A cada uno de los alimentos (por separado) se les agregó agua, aproximadamente al 40% del peso de la mezcla sólida, se mezcló durante 5 minutos y, posterior a esto, se extruyeron en un molino

de carne Hobart de ¼ HP, se cortaron a ~0.5-1 cm de longitud y, por último, los pellets formados se secaron en un horno VWR® a 45°C durante 16 horas. Transcurrido ese tiempo, se embolsaron y almacenaron en refrigeración a 4°C hasta su uso para el bioensayo de digestibilidad (Fig. 11).



Figura 11. Preparación de los alimentos para el bioensayo de digestibilidad.

6.4.3 Sistemas experimentales

El bioensayo de digestibilidad *in vivo* se llevó a cabo en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR, dentro de dos sistemas experimentales: uno para el método de colecta de heces por sifoneo y otro para probar un método de obtención por medio de disección del intestino (Truong *et al.*, 2022). El primer sistema de cultivo consistió en tanques rectangulares de 60L y el segundo en tanques circulares de 700L de capacidad, ambos fueron llenados con agua de mar filtrada a través de un filtro de arena, de cartuchos (10 y 5 μm) y luz ultravioleta. Cada tanque contenía un sistema individual para su llenado de agua y una piedra difusora para la aireación alimentada desde un soplador de 5 HP.

En cada tanque la temperatura se mantuvo a $28^{\circ}\text{C} \pm 0.2$ mediante calentadores sumergibles de 250 W con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. La iluminación se hizo mediante lámparas de 60W controladas con un temporizador para mantener un fotoperiodo artificial de 12 horas de luz: 12 horas oscuridad al día con fotofase a partir de las 07:30 am durante todo el experimento.

6.4.4 Organismos experimentales

Poslarvas de *L. vannamei* fueron obtenidas del laboratorio de producción de Larvas GAM, S.A. de C.V., Mazatlán, Sinaloa. Estos organismos se aclimataron en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola del CIBNOR, dentro de tanques de fibra de vidrio con capacidad de 1,200 litros, con agua de mar a temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y salinidad de 35 UPS. Los camarones se alimentaron tres veces al día (10:00, 13:00 y 17:00) con un alimento comercial (PURINA, Aquafeed) con 35% de proteína hasta alcanzar el peso necesario para el experimento.

6.4.5 Diseño experimental y condiciones de cultivo

Se evaluaron dos alimentos por triplicado. Para la primera parte del bioensayo, se seleccionaron camarones con pesos entre 10 y 12 g, se distribuyeron en tanques rectangulares de fibra de vidrio con capacidad de 60 L a una densidad de 5 organismos/tanque (Fig. 12). Los tratamientos se distribuyeron al azar en las unidades experimentales.



Figura 12. Unidad experimental para los bioensayos de digestibilidad, incluyendo 5 organismos, un calentador de titanio y una piedra aireadora.

Diariamente, se monitorearon los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) con un oxímetro portátil (YSI, modelo 550A, YSI Incorporated, YellowSpring, OH, EUA), mientras que el amonio se midió semanalmente y a partir de la cuarta semana se comenzó también a medir el pH, ambos mediante kits colorimétricos (API-MARS FISHCARE, EUA). Diariamente se hacía una limpieza mediante sifoneo, retirando las heces, mudas o animales muertos, y se hicieron recambios de 60% del agua en los tanques. Estas acciones se realizaban en la mañana antes de la primera alimentación. Los organismos se alimentaron a saciedad aparente,

3 veces al día (9:00, 13:00 y 15:00 h). Los organismos tuvieron un periodo de aclimatación de 7 días a los alimentos con óxido crómico antes de iniciar la colecta de las heces. A lo largo de los bioensayos, no existieron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos del agua entre tratamientos de cada método.

Las heces de cada tanque se colectaron por sifoneo 3 veces al día, en un periodo no mayor a los 90 minutos después de alimentar, se enjuagaron con agua destilada y se mantuvieron en congelación a -50°C hasta juntar ~ 15 g de heces húmedas por tanque (Fig. 13).



Figura 13. Heces colectadas y enjuagadas con agua destilada.

Para la segunda parte del bioensayo, se utilizaron camarones con pesos entre 9 y 13 g, se distribuyeron en tanques circulares de 700L de capacidad a una densidad de 35 organismos/tanque y con 3 réplicas por tratamiento. Los tratamientos se distribuyeron al azar en las unidades experimentales.

De igual manera, diariamente se monitorearon los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, y se hacía una limpieza mediante sifoneo, retirando las heces, mudas o animales muertos, y haciendo un recambio de 50% del agua de los tanques. Estas acciones se realizaban en la mañana antes de la primera alimentación. Los organismos se alimentaron a saciedad aparente, 3 veces al día (10:00, 14:00 y 16:00 h) durante 30 días en que

no se realizaron colectas de heces, sino que la colecta se realizó pasado ese tiempo, por medio de disección del intestino de los organismos.

6.4.6 Colecta de heces por disección de los organismos experimentales

A los 30 días del bioensayo, se disecaron los intestinos de todos los organismos del segundo bioensayo. Para esto, se hizo un corte en la región posterior del cefalotórax y uno anterior al telson para poder separar la parte del abdomen del resto del cuerpo. Posteriormente, se procedió a realizar un corte paralelo al intestino por la parte muscular del abdomen (similar a un corte mariposa) para poder exhibir el intestino (Fig. 14). Con cuidado, se fue desprendiendo el intestino del abdomen del camarón, se retiró completamente, y una vez fuera, con la ayuda de pinzas de disección, se extrajo el contenido intestinal y se colocó en tubos Falcon. Debido a la poca cantidad de material intestinal obtenido, las heces de las tres réplicas de cada tratamiento fueron juntadas (pool) para posteriormente congelarlas a -50°C , liofilizarlas y realizar los análisis químicos.



Figura 14. Disección de los organismos experimentales para la extracción del intestino.

6.4.7 Cuantificación del óxido crómico en alimentos y heces.

La cuantificación del óxido crómico se realizó por medio de la técnica de Furukawa y Tsukahara (1966). Se pesaron, sobre un papel filtro Whatman, 50mg de las muestras de alimentos y heces finamente molidas, y se colocaron sobre un tubo de digestión aforado (100ml) A cada tubo se le agregaron 5ml de ácido nítrico al 90% y se colocaron en un monoblock de digestión (AMI 500, Scientific Pty Ltd., Australia, CA) a 120°C durante 90 minutos. El final de la reacción se percibe al

observar un color verde claro en la solución. Al completar el tiempo, se retiraron del digestor y se pusieron a enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Una vez fría la solución, se agregaron 3 ml de ácido perclórico, y se colocaron en el digestor a 202°C durante 120 minutos; el final de la reacción se percibe por un viraje de color verde a amarillo limón. Se retiran los tubos del digestor y se dejan enfriar a temperatura ambiente; una vez que la solución obtiene un color rojo se considera el final del proceso de digestión. Una vez observado esto se aforan los tubos a 100ml con agua destilada. Se agitaron los tubos y se colectó una muestra para llevarlo a una cubeta de espectrofotómetro (Brea, CA, EUA) y se registró la absorbancia de la solución a 350nm. Se hicieron tres réplicas por muestra de heces y alimento. En cada corrida se incluyeron muestras blanco y muestras estándar con cantidad de cromo conocido para poder obtener una curva de calibración (Nota: el método usa ácidos por lo que se requiere trabajar con equipo de protección y en una campana de extracción). Para calcular la cantidad de óxido de cromo presente en la muestra se parte de la fórmula usada por Furukawa y Tsukahara:

$$X= Y-0.0032/0.2089 \quad (6)$$

en dónde:

X= cantidad de óxido de cromo presente en la muestra

Y= absorbancia

(0.0032 y 0.2089 son constantes obtenidas por los autores, por lo que estos valores fueron sustituidos por valores propios obtenidos de las muestras estándar que se colocaron, es este caso los valores obtenidos fueron $Y= 0.1694x + 0.0098$).

6.4.8 Cuantificación de Carbohidratos

Las heces obtenidas del bioensayo de digestibilidad fueron liofilizadas y molidas para poder realizar la cuantificación de carbohidratos. 50 mg de las heces fueron colocados en microtubos, se hidrataron con 1 ml de agua destilada y fueron colocadas en un homogeneizador durante 30 segundos. En tubos Eppendorf de 0.65ml, se colocaron 100µl del homogenizado y se añadieron 100µl de Ácido tricloroacético (TCA) al 10% el cual precipita las proteínas que interfieren con la medición. Los tubos se centrifugaron a 3600 rpm (1376 Hz) por 10 minutos a 5°C en una centrífuga refrigerada (Eppendorf 5810R). Se recuperaron 25µl del sobrenadante y se colocaron en un

microtubo. Para determinar la concentración de carbohidratos totales se utilizó el método basado en Roe *et al.* (1956) y Carroll *et al.* (1956) y en el tubo con 25µl de sobrenadante se añadieron 250 µl de antrona (0.001g de antrona diluida en 1 ml de H₂SO₄ al 76%). Se agitó en un Vortex y se colocó en un baño María a 85°C durante 5 minutos, y después se enfrió en un baño de hielo. Se leyó su absorbancia en un espectrofotómetro (Thermo, Helios Omega) a 630 nm. A la par, se preparó una curva estándar; la solución estándar utilizada contenía 5mg/ml de carbohidratos y se prepararon diluciones en proporción de 5.0, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625 y 0.078125 mg/ml de carbohidratos. La cantidad de carbohidratos se calculó con la siguiente relación:

$$\text{Concentración de carbohidratos (mg/g)} = ((\text{Abs sol problema} * \text{FD})) / ((m * \text{peso de la muestra})) \quad (7)$$

Dónde:

m= es la pendiente de la curva y

FD= factor de dilución

6.4.9 Cuantificación de Lípidos

Para la cuantificación de lípidos se utilizó el método de la sulfafosfovainillina (Barnes y Blackstock, 1973). Al igual que para la cuantificación de carbohidratos, 50mg de las heces fueron colocadas en un microtubo, se hidrataron con 1 ml de agua destilada, y fueron colocadas en un homogeneizador durante 30 segundos. Posteriormente, se colectaron 250µl del homogenizado y se colocaron en un microtubo. A este homogeneizado se le adicionaron 250µl de H₂SO₄ concentrado y se agitó utilizando un Vortex. Se calentó en un baño María a 90°C durante 10 minutos y, posteriormente, se enfrió en un baño de hielo. Una vez frío, se agitaron utilizando un Vortex y se tomaron 20µl de sobrenadante en una microplaca (placa Elisa) y se agregó la solución reactiva para lípidos (fosfovainillina al 0.2% en ácido sulfúrico al 80%), dejándolo incubarse durante 40 minutos a temperatura ambiente y posteriormente se leyó en un espectrofotómetro de microplacas (Termo Miltiskan spectrum) a 540 nm. A la par que las muestras, se realizó una curva de calibración con la solución estándar de lípidos (Lin-Trol Sigma L2648) la cual contenía 20mg/ml de Lípidos. Se hicieron diluciones en proporción 1:2 en 1 ml de solución salina quedando con las concentraciones de 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125 y 0.15625mg/ml de lípidos, además de una solución salina como blanco. La cantidad de lípidos se calculó con la siguiente relación:

$$\text{Concentración de lípidos (mg/g)} = ((\text{Abs sol problema} * \text{FD})) / ((m * \text{peso de la muestra})) \quad (8)$$

Dónde:

m = pendiente de la curva de calibración

FD=Factor de dilución

6.4.10 Cálculo de los coeficientes de utilización digestiva aparente.

Los coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca y nutrientes se calcularon usando las ecuaciones propuestas por Cho y Slinger (1979) y por Bureau y Hua (2006):

$$\begin{aligned} & \text{\% Digestibilidad Aparente de Materia Seca (\%DAMS)} = \\ & 100 - 100 \left(\frac{\text{\%Cromo en alimento}}{\text{\%Cromo en heces}} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de Digestibilidad Aparente del Ingrediente (CDAI) de materia seca (\%)} = \\ & (100 * \text{\%CDA Materia seca en alimento}) - (70 * \text{\%CDA Materia seca en alimento control}) / 30 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \text{CDAI de nutrientes (\%)} = \\ & (100 * \text{\%CDA nutriente en alimento prueba}) - (70 * \text{\%CDA nutriente en alimento control}) / 30 \end{aligned} \quad (11)$$

6.5 Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett para conocer si estos presentaban distribución normal y homoscedasticidad, respectivamente. Los datos con normalidad y homoscedasticidad se trataron con estadística paramétrica (Prueba T), en el caso de que los datos no presentaron estos supuestos se empleó estadística no paramétrica para determinar diferencias significativas entre los tratamientos (Kolmogórov-Smirnov y Mann-Whitney U) (Sokal y Rohlf, 1986) con un nivel de probabilidad de 0.05.

Para estos análisis se utilizó el programa STATISTICA® (*data analysis software system*), versión 8.0 de StatSoft Inc.

7. RESULTADOS

7.1 Objetivo particular 1. Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta

7.1.1 Rendimientos del mango Ataulfo

Los resultados obtenidos de la biometría de 20 mangos Ataulfo se muestra en la Tabla 4. El peso promedio de los mangos utilizados fue de $223.5g \pm 26.9$, la pulpa total del fruto tuvo un peso de $158.0g \pm 18.9$, la mayor parte de esta, $135.1g \pm 17.9$, correspondía a la pulpa de las dos principales rebanadas, cuyo fin principal es el consumo en fresco, el resto, $22.9g \pm 4.4$, corresponde a la pulpa que se quedó adherida al hueso. Esta última pulpa, fue removida manualmente para poder obtener el peso del hueso (con semilla o almendra), el cual tuvo un peso de $21.8g \pm 5.8$. Por último, la cáscara total del mango tuvo un peso promedio de $43.5g \pm 8.8$; gran parte de esta ($37.8g \pm 8.2$) corresponde a la porción de las dos rebanadas principales, las cuales, para las pruebas de elaboración de las harinas, no fueron utilizadas en cuenta.

Tabla 4. Peso, rendimientos de los diferentes componentes y subproductos, y medidas del mango Ataulfo.

Componentes del fruto	Promedio (g)	Rendimiento/total (%)	Rendimiento/subproducto (%)
Mango entero	223.5 ± 26.9	100.0	-
Pulpa total	158.0 ± 18.9	70.7	-
Pulpa de las 2 rebanadas principales	135.1 ± 17.9	60.5	-
Pulpa adherida al hueso	22.9 ± 4.4	10.2	25.9
Hueso completo (con semilla o almendra)	21.8 ± 5.8	9.8	24.7
Cáscara total	43.5 ± 8.8	19.5	49.4
Cáscara de las 2 rebanadas principales	37.8 ± 8.2	16.9	-
Subproductos:			
Cáscara total, hueso completo y pulpa adherida al hueso	88.2	39.5	100
Medidas	(cm)		
Largo	10.9 ± 0.8		
Ancho mayor	6.8 ± 0.4		
Altura	5.5 ± 0.3		

Los subproductos del mango considerados en esta biometría fueron: la cáscara total, el hueso completo y la pulpa adherida a estas estructuras; en esta biometría, en conjunto, tuvieron un peso promedio de 88.2 g por mango.

En términos de porcentaje respecto al peso total del fruto, durante la biometría de los mangos se obtuvo que el 70.7% del mango correspondió a pulpa, mientras que el restante 29.3% correspondió a material no consumible (19.5% de cáscaras provenientes de las rebanadas y 9.8% al hueso; Fig. 15).

RENDIMIENTOS DEL MANGO ATAULFO

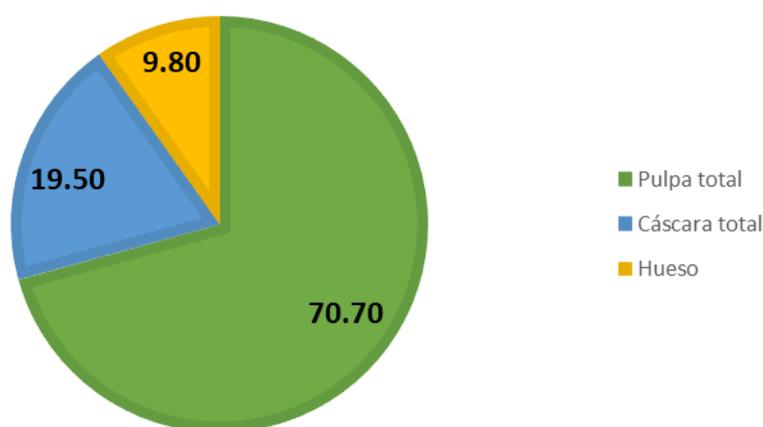


Figura 15. Componentes del mango Ataulfo y sus rendimientos.

Del total de los subproductos, la cáscara tuvo el mayor porcentaje (49.4%) le siguió la pulpa adherida al hueso (25.9%), y, por último, el hueso (24.7%). Los métodos probados para la fabricación de la harina fueron, el secado directo de los subproductos, y el licuado los subproductos con adición de agua para obtener una pasta húmeda. El rendimiento de obtención de harina con respecto a la materia húmeda del subproducto secado directamente fue de 14.92%, mientras que con el licuado fue de 13.97%, valores muy similares, sin embargo, con el método de secado directo se tenía mayor dificultad a la hora de la molienda y tamizado debido a la naturaleza de los subproductos secos, que quedaban muy duros por la cristalización de los carbohidratos durante el secado, por lo que se eligió el método de licuado para la obtención de la harina experimental, ya que el producto no era tan duro.

Posterior a esta prueba, se optó por dejar la pulpa adherida a la cáscara y al hueso después de los cortes de las dos rebanas principales, a fin de mejorar el rendimiento y simplificar el procesamiento, por lo que, los rendimientos de la materia usada (subproductos) para la fabricación de la harina variaron a los rendimientos de la biometría (Tabla 5). De un total de 260 mangos, con un peso promedio de $172.7\text{g} \pm 11.4$, se obtuvieron en promedio: $89.0\text{g} \pm 6.3$ de pulpa de las rebanadas principales (no usada para la harina) y $83.6\text{g} \pm 8.3$ de subproductos, correspondientes a la cáscara, el hueso y la pulpa adherida a estos dos, posterior a los cortes. Para la elaboración de la HSMA se siguió, por lo tanto, el procedimiento de licuado con adición de agua, incorporando esta pulpa residual o adherida a los subproductos, por lo que el rendimiento en fresco de estos fue de 48.4% respecto al peso total de la fruta, contra el 51.6% correspondiente a la pulpa no utilizada.

Tabla 5. Rendimientos de los componentes principales del mango Ataulfo.

Componente	Promedio/mango (g)	Rendimiento (%)
Mango completo¹	172.7 ± 11.4	100.0
Pulpa de rebanadas	89.0 ± 6.3	51.6
Subproductos²	83.6 ± 8.3	48.4

¹Total de mangos utilizados para fabricar la harina = 206.

²Cáscara total, hueso completo y pulpa adherida al hueso.

Es decir, por cada kilogramo de mango utilizado, se recuperaron 484 g de subproductos que fueron sometidos al procesamiento de fabricación de la HSMA. Una vez secos estos subproductos, por kilogramo de mango fresco, se recuperó el 26.5%. Finalmente, se molió, y se tamizó, al final de todo el procesamiento se recuperaron 123 gramos de HSMA por cada kilogramo de mango fresco (12.3% de rendimiento).

Es importante mencionar que, al momento de la molienda de la pasta seca, pequeños fragmentos de fibra no lograban atravesar el tamiz de 250mm. A fin de utilizar todo el subproducto y reducir la generación de desechos, se decidió dar una segunda molienda a estos fragmentos y volver a incorporarlos a la harina final. Se hizo un análisis de fibra cruda de esta harina sin la reincorporación de los fragmentos para tener idea de que porcentaje se estaba reincorporando. La harina de subproductos de mango, obtenida con una sola molienda, y a la cual no se le

reincorporó la fibra con tamaño >250um, tuvo un porcentaje de fibra cruda de 9.7%, que la harina final utilizada para la elaboración de alimentos, que presentó 13.7%, es decir, 4% más.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la composición proximal y contenido energético de la Harina de Subproductos de Mango Ataulfo (HSMA) utilizada para la formulación de los alimentos de los diferentes bioensayos realizados. El componente más abundante fue el extracto libre de nitrógeno (80.6%), seguido de la fibra cruda (13.7%), mientras que la proteína cruda y el extracto etéreo tuvieron valores más bajos (1.2% y 1.1%, respectivamente). La energía bruta de la harina fue de 4.0 kcal/g.

Tabla 6. Composición proximal (%) y contenido de energía (Kcal/g) de la Harina de Subproductos de Mango Ataulfo (HSMA).

	HSMA
Humedad	6.1 ± 0.03
Proteína cruda	1.2 ± 0.06
Extracto Etéreo	1.1 ± 0.03
Fibra cruda	13.7 ± 0.00
Cenizas	3.4 ± 0.03
E.L.N.¹	80.6
Energía bruta	4.0 ± 0.26

Valores promedio ± desviación estándar, expresados en peso seco, excepto humedad;

¹ Extracto Libre de Nitrógeno.

7.2 Objetivo particular 2. Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de *Litopenaeus vannamei*

7.2.1 Composición de los alimentos

La composición de los alimentos utilizados en el bioensayo de crecimiento se muestra en la Tabla 7. Los alimentos contuvieron en promedio 38.5% de proteína cruda, 7.6% de extracto etéreo, 11.2% de cenizas y 4.5 Kcal/g de energía. La fibra cruda aumentó de 0.9% a 1.9% y el ELN disminuyó de 42.0% a 40.2% a medida que los alimentos contenían más HSMA.

Tabla 7. Composición proximal (%) y de energía (Kcal/g) de los alimentos experimentales para el bioensayo de crecimiento.

Alimento	Humedad	Proteína cruda	Extracto Etéreo	Fibra cruda	Cenizas	E.L.N. ¹	Energía bruta
Control	10.0±0.03	38.4±0.09	7.8±0.03	0.9±0.06	11.0±0.06	42.0	4.5±0.7
HSMA 2.5%	10.0±0.02	38.7±0.05	7.4±0.03	1.0±0.00	11.2±0.03	41.7	4.5±0.4
HSMA 5%	9.3±0.03	38.3±0.03	7.6±0.00	1.5±0.00	11.2±0.03	41.3	4.5±0.2
HSMA 7.5%	9.8±0.03	38.1±0.04	7.6±0.03	1.6±0.06	11.3±0.00	41.4	4.5±0.3
HSMA 10%	9.4±0.00	38.9±0.05	7.7±0.03	1.9±0.06	11.4±0.03	40.2	4.5±0.5

Valores promedio ± desviación estándar, expresados en peso seco, excepto humedad; ¹ Extracto Libre de Nitrógeno.

7.2.2 Parámetros fisicoquímicos del agua, zootécnicos y de utilización del alimento

Los parámetros fisicoquímicos del agua no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos durante el bioensayo de crecimiento (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del agua durante el bioensayo de crecimiento.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto ¹	Amonio ¹	Salinidad (UPS)	pH
Control	28.0±0.02 ^a	5.6±0.09 ^a	0.4±0.02 ^a	35.3 ^a	8.05 ^a
HSMA2.5	28.0±0.01 ^a	5.6±0.04 ^a	0.4±0.02 ^a	35.3 ^a	8.05 ^a
HSMA5	27.9±0.06 ^a	5.6±0.05 ^a	0.4±0.02 ^a	35.3 ^a	8.05 ^a
HSMA7.5	28.0±0.06 ^a	5.6±0.01 ^a	0.4±0.02 ^a	35.3 ^a	8.05 ^a
HSMA10	28.0±0.05 ^a	5.6±0.07 ^a	0.4±0.02 ^a	35.3 ^a	8.05 ^a

Valores promedio ± desviación estándar con el mismo literal no son significativamente diferentes ($p>0.05$); ¹mg/L.

Los resultados de supervivencia, peso final, tasa de crecimiento, consumo diario de alimento, factor de conversión alimenticia y eficiencia proteica de los organismos después de 45 días se muestran en la Tabla 9. En los tratamientos con 5%, 7.5% y 10% de inclusión de HSMA no hubo mortalidad después de 45 días de bioensayo, mientras que en los tratamientos Control y 2.5% de inclusión de HSMA tuvieron sobrevivencias de $97.5 \pm 5.0\%$ y $95.0 \pm 5.7\%$, respectivamente ($p>0.05$). Los organismos del tratamiento Control tuvieron el mayor peso promedio final (3.0 ± 0.2 g), mientras que los organismos de los tratamientos con inclusiones de 5% y 7.5% de HSMA tuvieron un menor peso promedio (2.6 ± 0.2 y 2.6 ± 0.4 g) para ambos casos. Esto coincide con la tasa de crecimiento, teniendo el mismo comportamiento, siendo el Control el de mayor valor ($1,089 \pm 60\%$) y los tratamientos HSMA5 y HSMA7.5 los de menor tasa de crecimiento. En todos los tratamientos el consumo de alimento promedio por día fue de 0.1g por organismo. En cuanto al

Factor de Conversión Alimenticia (FCA), la diferencia más grande entre tratamientos fue de 0.1, teniendo valores de 1.7 en los tratamientos HSMA 2.5, HSMA7.5 y HSMA 10, y de 1.6 en los tratamientos Control y HSMA5. Por último, la eficiencia proteica fue mayor en el tratamiento Control (1.8 ± 0.06), teniendo únicamente una diferencia de 0.1 con el resto de los tratamientos que obtuvieron una eficiencia de 1.7. En la Fig. 16 se observa el crecimiento a lo largo del bioensayo, este crecimiento siguió el mismo comportamiento en todos los tratamientos. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros entre los diferentes tratamientos evaluados ($p > 0.05$).

Tabla 9. Parámetros zootécnicos al final del bioensayo de crecimiento.

Tratamiento	Supervivencia (%)	Peso final (g)	Crecimiento (%)	Consumo diario ¹	FCA ²	Eficiencia proteica
Control	97.5±5.0 ^a	3.0±0.2 ^a	1,089±60 ^a	0.1±0.01 ^a	1.6±0.1 ^a	1.8±0.06 ^a
HSMA2.5	95.0±5.7 ^a	2.8±0.3 ^a	1,010±12 ^a	0.1±0.01 ^a	1.7±0.1 ^a	1.7±0.15 ^a
HSMA5	100.0±0.0 ^a	2.6±0.2 ^a	950±62 ^a	0.1±0.01 ^a	1.6±0.1 ^a	1.7±0.08 ^a
HSMA7.5	100.0±0.0 ^a	2.6±0.4 ^a	952±16 ^a	0.1±0.00 ^a	1.7±0.1 ^a	1.7±0.12 ^a
HSMA10	100.0±0.0 ^a	2.7±0.2 ^a	997±80 ^a	0.1±0.00 ^a	1.7±0.1 ^a	1.7±0.08 ^a

Valores promedio \pm desviación estándar con el mismo literal no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

¹Alimento/organismo/día (g); ²Factor de Conversión Alimenticia.

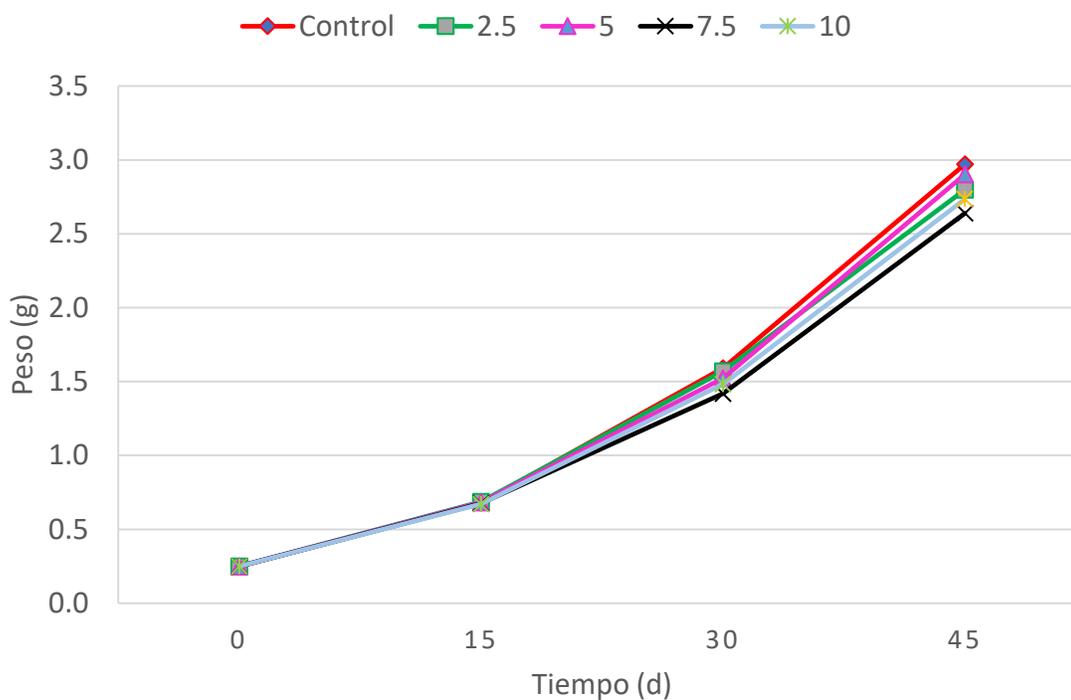


Figura 16. Crecimiento en peso de los organismos de los diferentes tratamientos durante los 45 días del bioensayo de crecimiento.

7.3 Objetivo particular 3. Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de *Litopenaeus*

Tras el análisis de las comunidades bacterianas, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la diversidad alfa en los índices Shannon y Simpson ($p > 0.05$), mientras que la diferencias entre tratamientos para la diversidad beta sí presentaron diferencias significativas en el análisis a nivel de Phyla (Actinobacteria, Firmicutes y Verrucomicrotiota), familia (Microbacteriaceae y Demequinaceae), siendo los tratamientos con HSMA2.5 y HSMA5 los más distantes respecto al control ($p < 0.05$)(Fig. 17).

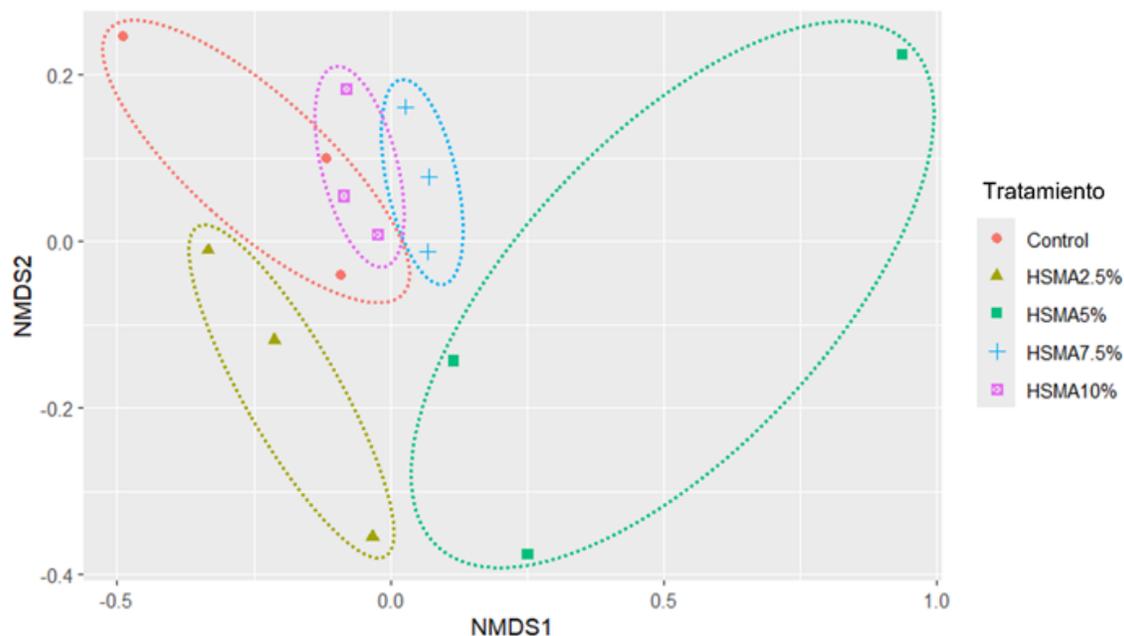


Figura 17. Diversidad beta de comunidades bacterianas presentes en el intestino de *L. vannamei* bajo los diferentes niveles de inclusión de HSMA.

Los Phyla más abundantes dentro de los 5 tratamientos fueron Actinobacteria, Bacteroidota, Patescibacteria, Planctomycetota, Proteobacteria y Verrucomicrobiota. La abundancia relativa de estos Phyla se puede observar ordenada de mayor a menor porcentaje en la Tabla 10. Proteobacteria fue el Phylum más abundante en los 5 tratamientos, seguido por Bacteroidota. Proteobacteria presentó abundancias relativas por encima del 50% en todos los tratamientos, sin embargo, a medida que la abundancia de Bacteroidota aumentó, Proteobacteria disminuyó. Las mayores abundancias de Proteobacteria se observaron con los tratamientos Control y HSMA10 (63 y 62%, respectivamente), en cuyos tratamientos los porcentajes de Bacteroidota fueron de 31 y 34, respectivamente, mientras que en el tratamiento HSMA5 se observó el menor porcentaje de Proteobacteria y el mayor de Bacteroidota (51 y 46%, respectivamente). Para el Phylum Actinobacteriota, se observó que en el tratamiento Control y HSMA2.5 es el tercer Phylum más abundante con 2.7 y 3% respectivamente, mientras que en los tratamientos HSMA5, HSMA7.5 y HSMA10 tiene abundancias de 0.6%, 0.95% y 1.2% por lo cual estos últimos estarían superados por el Phylum Verrucomicrobiota con valores de 1.9%, 5.2% y 2.2% para los mismos tratamientos. Verrucomicrobiota si ocupa por tanto el cuarto lugar de abundancia en los tratamientos Control y HSMA2.5.

Tabla 10. Abundancia relativa (%) de los principales Phyla bacterianos en el intestino de camarones alimentados con diferentes niveles de inclusión de la HSMA en el alimento.

Phylum	Control	HSMA 2.5	HSMA 5	HSMA 7.5	HSMA 10
Proteobacteria	63.64 ± 9.31	59.49 ± 11.30	51.29 ± 7.44	53.36 ± 3.12	62.05 ± 2.35
Bacteroidota	31.60 ± 10.52	36.68 ± 9.06	46.03 ± 8.30	40.30 ± 5.69	34.36 ± 2.64
Actinobacteriota	2.79 ± 1.93	3.01 ± 2.41	0.61 ± 0.49	0.95 ± 0.29	1.18 ± 0.28
Verrucomicrobiota	1.77 ± 0.81	0.57 ± 0.43	1.90 ± 1.03	5.20 ± 2.79	2.21 ± 0.56
Patescibacteria	0.02 ± 0.01	0.14 ± 0.14	0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.07 ± 0.01
Planctomycetota	0.04 ± 0.03	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.12 ± 0.05	0.03 ± 0.01
Firmicutes	0.03 ± 0.03	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
WPS-2	0.02 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.03 ± 0.01
Total	99.89	99.93	99.94	99.97	99.92

En la Tabla 11 se muestra a las familias con mayor representación; se encontró a Rhodobacteraceae (Control: 51.5%, HSMA2.5: 29.2%, HSMA5: 23.97%, HSMA7.5: 31.62% y HSMA10: 44.9%) y Flavobacteriaceae (C: 31.1%, HSMA2.5: 236.3%, HSMA5: 45.6%, HSMA7.5: 39.03% y HSMA10: 33.78%) que, independientemente del tratamiento, son las familias con mayor abundancia relativa para los Phyla Proteobacteria y Bacteroidota, respectivamente. Además, se observó el mismo comportamiento entre estas familias como ocurría a nivel de Phylum; mientras Rhodobacteraceae disminuye, Flavobacteriaceae tiende a subir.

El Phylum proteobacteria tiene otras familias con amplia representación, como Vibrionaceae, que ocupa el tercer lugar de abundancia a nivel de familia, siendo el tratamiento Control el de menor porcentaje y HSMA5 el de mayor (7.4% y 15.9%), respectivamente. La familia Rubritaleaceae tiene una elevada abundancia en los tratamientos HSMA7.5 y HSMA10 con abundancias de 5.19% y 2.2%, respectivamente. Las familias Pseudoalteromonadaceae y Psychromonadaceae, también pertenecientes al Phylum Proteobacteria, tienen abundancias importantes en los tratamientos HSMA2.5, HSMA5, HSMA7.5, siendo en el tratamiento HSMA2.5 donde se observaron las mayores abundancias (3.9 % y 8.9%, respectivamente).

Tabla 11. Abundancia relativa (%) de las principales familias dentro del Phylum al cual pertenecen, para los tratamientos experimentales.

Phylum	Familia	Control	HSMA 2.5	HSMA 5	HSMA 7.5	HSMA 10
Proteobacteria	Rhodobacteraceae	51.7 ± 10.0	29.2 ± 11.4	23.9 ± 6.3	31.5 ± 10.2	45.0 ± 7.1
Bacteroidota	Flavobacteriaceae	31.1 ± 10.2	36.3 ± 9.2	45.7 ± 8.4	39.1 ± 5.3	33.8 ± 2.6
Proteobacteria	Vibrionaceae	7.4 ± 0.6	14.8 ± 5.5	15.9 ± 3.6	12.4 ± 4.9	11.1 ± 1.9
Actinobacteriota	Demequinaceae	2.6 ± 1.9	2.9 ± 2.4	0.6 ± 0.5	0.9 ± 0.3	1.1 ± 0.2
Verrucomicrobiota	Rubritaleaceae	1.8 ± 0.8	0.6 ± 0.4	1.9 ± 1.0	5.2 ± 2.8	2.2 ± 0.6
Proteobacteria	Pseudoalteromonadaceae	1.4 ± 0.3	3.9 ± 4.4	3.7 ± 1.5	3.7 ± 1.5	1.9 ± 0.6
Proteobacteria	Psychromonadaceae	0.6 ± 0.2	8.9 ± 12.1	3.0 ± 2.1	2.4 ± 1.9	0.7 ± 0.3

7.4 Objetivo particular 4. Evaluar la digestibilidad aparente *in vivo* de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo

En la Tabla 12 se muestra la composición proximal y de energía bruta de los alimentos evaluados en los bioensayos de digestibilidad.

Al utilizar 30% de la HSMA en el alimento Prueba, por el diseño de los alimentos para este tipo de bioensayos, se provocaron cambios en su composición química con respecto al alimento de Referencia. En el caso de la proteína, el alimento de Referencia tuvo 32.1% mientras que el alimento Prueba tuvo 22.5%, es decir, una disminución de ~30%.

El extracto etéreo fue de 5.9%, siendo 1.4 puntos porcentuales menor al alimento de Referencia. El extracto libre de nitrógeno fue de 57% en el alimento Prueba, mientras que fue de 46% en el alimento de Referencia. La fibra cruda tuvo una diferencia importante ya que en el alimento de Referencia se obtuvo 1.7% en comparación con 4.7% del alimento Prueba. En cuanto a energía, ambos alimentos tuvieron, en promedio, 4.3 Kcal/g.

En el método de colecta de heces por disección aparente tuvo valores significativamente mayores ($p < 0.05$) de digestibilidad del alimento control en materia seca, proteínas y lípidos en comparación con el alimento Prueba, con porcentajes de 52.5%, 66.7% y 66.5% respectivamente contra los 44.9%, 43.1% y 59.1% de materia seca, proteína y lípidos obtenidos en el alimento Prueba con la inclusión de HSMA (Tabla 13). Únicamente los carbohidratos totales tuvieron una mayor digestibilidad en el alimento prueba con 93.0% contra el 62.7% de absorción del alimento control.

Tabla 12. Composición proximal (%) y contenido de energía (Kcal/g) de los alimentos del bioensayo de digestibilidad.

	Humedad	Proteína	E.E.	Fibra cruda	Ceniza	ELN ¹	Energía bruta
Alimento de Referencia	11.2±0.0	32.1±0.1	7.3±0.0	1.7±0.1	13.0±0.0	46.0	4.3±0.3
Alimento Prueba	12.8±0.0	22.5±0.0	5.9±0.0	4.7±0.1	9.9±0.0	57.0	4.2±0.2

Valores promedio ± desviación estándar, expresados en peso seco, excepto humedad; ¹ Extracto Libre de Nitrógeno.

Con el método de colecta de heces por sifoneo, la tendencia de los resultados fue muy similar para los parámetros medidos, donde el alimento Control presentó valores significativamente más altos ($p < 0.05$) de digestibilidad de materia seca, proteína y lípidos totales (66.7%, 75.7% y 74.3%) respectivamente, en comparación con los obtenidos con el alimento Prueba (62.4%, 63.4% y 66.1%) respectivamente, mientras que la digestibilidad de carbohidratos fue mayor en el alimento Prueba (95.5%) que en el alimento Control (84.2%).

Tabla 13. Coeficientes de utilización digestiva aparente (%) de materia seca (DAMS), proteína (DAP), lípidos totales (DALT) y carbohidratos (DACHO) de los alimentos utilizados en el bioensayo de digestibilidad, en función del método de colecta de heces.

Método de colecta	Alimento	DAMS	DAP	DALT	DACHO
Sifoneo	Control	66.7 ± 1.3 ^a	75.7 ± 1.1 ^a	74.3 ± 2.5 ^a	84.2 ± 0.5 ^a
	Prueba	62.4 ± 0.7 ^b	63.4 ± 0.7 ^b	66.1 ± 2.1 ^b	95.5 ± 0.3 ^b
Disección	Control	52.5 ± 1.7 ^a	66.7 ± 1.2 ^a	66.5 ± 1.2 ^a	62.7 ± 1.3 ^a
	Prueba	44.9 ± 4.8 ^b	43.1 ± 5.0 ^b	59.1 ± 3.6 ^b	93.0 ± 0.6 ^b

Valores promedio ± desviación estándar con diferentes literal son significativamente diferentes ($p < 0.05$) dentro de cada método de colecta de heces.

La digestibilidad del ingrediente (Tabla 14), medida con el método de colecta de heces por sifoneo, fue mayor para materia seca y lípidos totales (52.8% y 51.8%), respectivamente, que cuando fue medida con el método de colecta por disección, donde se obtuvieron valores de 29% y 46.8%, mientras que la utilización digestiva de carbohidratos fue similar entre ambos métodos (96.7% - 97.9%). La digestibilidad aparente de proteína medida por ambos métodos resultó en valores negativos.

Tabla 14. Coeficientes de utilización digestiva aparente (%) de materia seca (DAMS), proteína (DAP), lípidos totales (DALT) y carbohidratos (DACHO) de la harina de subproductos de mango Ataulfo, en función del método de colecta de heces.

Método de colecta	DAMS	DAP	DALT	DACHO
Sifoneo	52.8	-666.4	51.8	97.9
Disección	29.0	-1,341.6	46.8	96.7

8. DISCUSIÓN

En la acuicultura, la búsqueda de ingredientes alternativos o nuevos que promuevan un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales se ha tornado de vital importancia, especialmente ante las presiones que sufren algunos ingredientes y el impacto del uso indiscriminado de estos recursos. Por lo tanto, el uso de ingredientes vinculados a la economía circular se perfila como un elemento esencial para el futuro de la producción de alimentos.

8.1 Caracterizar la harina de subproductos de mango Ataulfo con base en su composición proximal y energía bruta

En el presente trabajo se evaluó los subproductos del mango Ataulfo como un potencial nuevo ingrediente en alimentos para juveniles de *L. vannamei*. En acuicultura se han realizado pocos trabajos utilizando el mango como ingrediente y, por lo general, estos utilizan, o bien una parte comestible para el humano, o no utilizan en su totalidad los subproductos. Por ejemplo, Lizárraga-Velázquez *et al.* (2019) utilizaron únicamente la cáscara del mango Ataulfo, del cual hicieron una extracción de los compuestos fenólicos y fueron estos los que se incorporaron en un alimento para pez Zebra (*Danio rerio*). Por su parte, Cruz Neto *et al.* (2024) obtuvieron un extracto de mango para adicionar a el alimento del pez Cachama (*Colossoma macropomum*). En estos estudios. se busca extraer compuestos y ambos autores reportan valores positivos en crecimiento, sin embargo, la extracción de compuestos activos conlleva a procesos más complejos y tardados o costos. También existen ejemplos donde los subproductos son parcialmente aprovechados. Omoregie, (2001) utilizó las semillas del mango directamente para fabricar una harina experimental en bioensayos con el Ciprínido *Labeo senegalensis*, mientras que Souza *et al.* (2021), utilizaron únicamente la pulpa de mangos no apta para el consumo humano, ambos reportan con éxito la integración de subproductos en alimentos acuícolas.

Es de nuestro conocimiento únicamente un trabajo dónde se utilizaron los mismos subproductos que en el presente estudio; se trata del realizado por Concepción Brindis *et al.* (2022) que utilizaron la cáscara, la semilla y la pulpa adherida a ambos, de mango Ataulfo para la elaboración de una harina experimental para la alimentación de la Tilapia *Oreochromis niloticus*, sin embargo, el proceso de fabricación se diferenció en que los investigadores utilizaron el método de secado directo, el cual nosotros decidimos no utilizar debido a la dificultad para su molienda y tamizaje.

La producción de nuestra harina experimental se enfoca en el aprovechamiento de todos los subproductos del mango, y la idea de que esta pueda ser replicada sin necesidad de equipo especial o que incremente los costos de la obtención de otros compuestos o extractos.

Los rendimientos de los componentes obtenidos del mango Ataulfo durante la prueba de elaboración de harina fueron similares a los reportados por Rivas-Robles *et al.* (2020) quienes reportaron porcentajes similares en su análisis sobre mangos de calidad (71.5% de pulpa, 20.3% de cáscara y 8.2% de semilla) comparados con 70.7%, 19.5% y 9.7%, respectivamente, en el presente trabajo. Para la elaboración de la harina se utilizó la pulpa pegada a los subproductos, por lo que en esta fase representaron 48.4% del peso total de la fruta en fresco, coincidiendo con lo reportado por diversos autores que mencionan desperdicios desde 40 y hasta 60% del peso total del fruto (Larrauri *et al.*, 1996; Evans *et al.*, 2017; Oliver-Simancas *et al.*, 2021). De los subproductos obtenidos aquí al momento de la fabricación de harinas, se perdió peso en el proceso de secado y de la molienda, por lo que, del total del peso de la fruta, en seco, se obtuvo un rendimiento de 12.3% de Harina de Subproductos de Mango Ataulfo. En este sentido, son pocos los autores que reportan el rendimiento de estos subproductos, por lo que este valor es difícil de comparar con otros trabajos. Como se mencionó anteriormente, Concepción Brindis *et al.* (2022) elaboraron una harina de mango Ataulfo con los mismos subproductos que en nuestro trabajo. La HSMA en el presente estudio tuvo una humedad de 6.1% mientras que Concepción Brindis *et al.* (2022) obtuvieron más del doble en su harina (15.2%); para el caso de proteína cruda se obtuvo un escaso 1.2% y 1.1% respectivamente en comparación con el 6.2% y 2.15% obtenido en ese estudio. Las cenizas presentaron un valor bastante similar en ambas harinas, con 3.4% y 3.6% respectivamente. La diferencia en composición puede ser explicada por el tipo de materia prima utilizada para la elaboración de la harina, ya que estos investigadores utilizaron productos de “segunda”, no aptos para el consumo humano, mientras que en la presente investigación se utilizó producto fresco, comprado directamente en una tienda de auto servicio.

Diversos autores mencionan que la variedad nutricional de los productos puede ser significativamente diferente dependiendo el estado de madurez del fruto, esto provocado por la degradación enzimática de polisacáridos estructurales de la pared celular mientras el fruto madura (Cárdenas-Coronel *et al.*, 2012; Maldonado-Celis *et al.*, 2019). Por el contrario, algunas

investigaciones se han centrado en utilizar los subproductos por separado o a realizar los análisis de los subproductos en fresco. Por ejemplo, investigadores de la FES Zaragoza, UNAM, fabricaron una harina a base del pericarpio o cáscara del mango Ataulfo (Quintana-Obregón *et al.*, 2019). Los resultados de dicha investigación dieron valores de proteína, extracto etéreo, humedad y ELN mayores a los obtenidos en nuestra investigación, únicamente siendo el contenido de cenizas mayor en nuestra harina experimental. Aunque en el estudio de Quintana-Obregón *et al.* (2019) se analizó la harina proveniente únicamente de las cáscaras, las diferencias pueden deberse a la región de colecta (Sinaloa) o La Paz (los mangos obtenidos para el presente estudio se compraron en este Estado, pero se desconoce su origen), el secado del producto, pues ellos lo hicieron a 80°C vs 45°C aquí, y, probablemente, a la diferencia en el tamizado, ya que en nuestro caso fue a 250µm comparado con 2mm de tamaño de partícula reportado en dicho trabajo. De igual manera, otros estudios realizados sobre la cáscara de mango Ataulfo colectadas en una despulpadora y de mercados locales, demostraron valores mayores de proteína de 2 y 5 veces mayor a la encontrada aquí, y de extracto etéreo similares (Torres-León *et al.*, 2018; Pacheco-Jiménez *et al.*, 2024), en ambos casos las cáscaras fueron obtenidas de mangos maduros. Para generar una harina de su pulpa y la cáscara, Patiño-Rodríguez *et al.* (2020) utilizaron mangos Ataulfo sin semilla, estenospermocárpicos, los cuales son de tamaño pequeño y considerados de segunda, pues no cumplen con la calidad para consumo humano. Los valores promedio de humedad obtenidos por estos investigadores son inferiores a los nuestros, sin embargo, la cantidad de proteína y de cenizas fue mayor a la nuestra, siendo la proteína cuatro veces mayor y las cenizas casi el doble, mientras que se obtuvieron valores similares de extracto etéreo.

Es importante resaltar que en los estudios de Torres-León *et al.* (2018); Patiño-Rodríguez *et al.* (2020) y Pacheco-Jiménez *et al.* (2024) no se utilizó la semilla para la elaboración de las harinas, y dado que este componente puede representar un tercio de los subproductos, al momento de la elaboración de la harina puede generar cambios en la composición química de ésta, debido al alto contenido de fibra de la semilla. Además, para el caso de los mangos estenospermocárpicos, el no tener semilla puede provocar cambios en el crecimiento y la maduración del fruto, lo cual, puede afectar la biosíntesis de macromoléculas (Patiño-Rodríguez *et al.*, 2020). De manera general, en la mayoría de los estudios sobre mango Ataulfo los niveles de proteína son mayores a los reportados en el presente trabajo, lo cual como hemos mencionado, puede deberse a

factores como el grado de maduración, la reducción en carbohidratos y, por lo tanto, al aumento proporcional de otros nutrientes, además del lugar de cultivo (Villanueva Rodríguez *et al.*, 2016), las lesiones sufridas en la cadena de comercialización, las condiciones de almacenamiento (humedad relativa, temperatura y tiempo de almacenamiento), etc. (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2016).

8.2 Determinar el efecto del uso de harina de subproductos de mango Ataulfo a diferentes niveles de inclusión (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%) en el alimento sobre la supervivencia, el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en juveniles de *Litopenaeus vannamei*

Diversas investigaciones tienen como objetivo desarrollar tecnologías de producción más amigables con el ambiente, y esto incluye el aprovechamiento de potenciales fuentes de ingredientes provenientes de los desechos agrícolas locales, en orden de lograr una acuicultura sostenible (Aya, 2017). Aunque la mayoría de los estudios se han enfocado en buscar sustitutos a la harina y aceite de pescado, por ser los ingredientes más costosos, la realidad es que se deben enfocar esfuerzos también en las fuentes alternativas de ingredientes que estén disponibles y sean asequibles, tales como los subproductos de la industria agrícola (Forster *et al.*, 2010; Aya *et al.*, 2021). En el presente estudio, no se detectaron diferencias significativas en los parámetros zootécnicos de los organismos entre los diferentes tratamientos. Estos resultados son similares a los obtenidos por Concepción Brindis *et al.* (2022) quienes utilizaron una harina con los mismos subproductos de mango a una inclusión del 10%, además de la incorporación de un extracto de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), en alimentos para la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*). En ese mismo sentido, Melo *et al.* (2012) y Lima *et al.* (2011) sustituyeron, de manera completa y parcial, respectivamente, el salvado de maíz con la inclusión de harina de mango; los primeros con un porcentaje del 30% de la harina en el alimento y los segundos con un 15%, y, en ambos casos sin que afectara el crecimiento de las tilapias. Por otro lado, Marchão *et al.* (2024) concluyeron que a inclusión de 16% de una harina de mango entero (pulpa, cáscara y semilla de mangos de segunda) puede sustituir de buena manera la función energética de la inclusión de harina de maíz en los alimentos acuícolas sin afectar los parámetros zootécnicos o metabólicos del pez Cachama. Un estudio similar fue desarrollado por Silva *et al.* (2022) para el mismo pez, *Colossoma macropomum*, donde incorporaron mangos frescos de segunda a su alimentación. En este caso, encontraron que niveles de inclusión de hasta el 36% no afectaron los parámetros

zootécnicos ni la salud de los ejemplares. Otros autores han realizado estudios con solo una porción de los subproductos, por ejemplo, el uso de una harina de semilla de mango (Omoregie, 2001) dio buenos resultados al incluirla al 10% en el alimento del ciprínido *Labeo senegalensis*, que al ser comparado con un alimento Control, no mostró diferencias significativas en el crecimiento, el FCA y la eficiencia proteica. Otro ciprínido, *Labeo rohita*, conocido como Rohu, fue estudiado por Sahu *et al.* (2007), donde, de igual manera, utilizaron semilla de mango, incluida al 5% en el alimento, sin afectar el crecimiento y que, además, mejoró de manera significativa la supervivencia de los organismos al ser desafiados contra la bacteria *Aeromonas hydrophila*. Estos resultados refuerzan los reportados por Souza *et al.* (2013; 2015), quienes elaboraron una harina de pulpa de mango y al incluirla en alimentos para tilapia reportaron limitantes de inclusión de 10% y hasta de 15%, respectivamente, para el pez *Lophiosilurus alexandri*, pues niveles de inclusión por encima de estos valores provocaban reducción en el peso de los organismos, además de sugerir no usar la harina por tiempo prolongado.

Los trabajos en crustáceos utilizando harinas de mango son limitados. Belsare y Singh (2007) elaboraron una pasta de la semilla del mango para incluirla en la alimentación del langostino *Macrobrachium rosenbergii*, y aunque los autores no mencionan su contenido nutricional, la usaron como sustituto parcial de la harina de pescado, obteniendo como límite solo el 5% de inclusión, esto probablemente debido a la baja cantidad de proteína del ingrediente. Fuera de dicho trabajo, no es de nuestro conocimiento la existencia de otro trabajo que evaluara la inclusión de mango, en alguna de las formas previamente reportadas, pero sí de otros ingredientes similares. Forster *et al.* (2010) realizaron pruebas de crecimiento y digestibilidad en *L. vannamei* con diferentes subproductos agrícolas. Entre ellos, subproductos de papaya, que fueron incluidos en el alimento como componente energético en sustitución de la harina integral de trigo. Los resultados mostraron diferencias significativas a favor del peso final de los camarones alimentados con inclusiones de harina de papaya completa (10%) y harina de pulpa de papaya (5%), en comparación con un alimento comercial; no reportaron diferencias significativas en el FCA. Rattanavichai *et al.* (2017), utilizaron pieles de banana para obtener una harina e incorporarla en alimentos para *M. rosenbergii*, con inclusiones de hasta 6g kg⁻¹, encontrando diferencias significativas en el crecimiento y el aprovechamiento del alimento en los animales con mayor porcentaje de inclusión. El crecimiento en los organismos que fueron

alimentados con una alta inclusión de carbohidratos puede deberse a varios factores. Según lo reportado por los autores antes mencionados, el uso de los carbohidratos para las funciones de mantenimiento puede provocar que las proteínas sean destinadas específicamente para funciones de crecimiento fisiológico. Rattanavichai *et al.* (2017) sugieren que en *M. rosenbergii* alimentados con extracto de banana, el mayor crecimiento se dio debido a un “apagado” en el uso de las proteínas para la muda, tomando en su lugar la energía proveniente de los carbohidratos de este ingrediente para cumplir esa función.

8.3 Evaluar el efecto de la inclusión de harina de subproductos de mango Ataulfo sobre las comunidades bacterianas del intestino de *Litopenaeus vannamei*

Los principales phyla encontrados en todos los tratamientos fueron Proteobacteria, Bacteroidota, Actinobacteria y Verrucomicrobiota con abundancias relativas promedio de 57.6%, 37.7%, 1.7% y 2.3% respectivamente. Fan *et al.* (2019) realizaron un estudio de las comunidades bacterianas en el intestino de *L. vannamei* y su relación con el alimento (harina de pescado y krill) y el peso corporal del organismo. Aunque no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, los autores reportaron similitudes en los Phyla obtenidos en sus análisis siendo los principales Proteobacteria (40.8%), Bacteroidetes (19.9%), Verrucomicrobiota (8.26) y Actinobacteria (1.6%), lo cual podría indicar que los principales phyla, encontrados en el intestino de los camarones peneidos, se mantienen a pesar de recibir diferentes alimentos. Sin embargo, algunos otros pueden ser altamente susceptibles al alimento, por ejemplo, otro phylum reportado por estos autores fue Firmicutes (6.17%, en nuestro caso este phylum solo obtuvo una abundancia relativa de 0.01% en promedio. Zhang *et al.* (2022) utilizaron un extracto de hoja de bambú en la inclusión de un alimento para *L. vannamei*, y sus resultados mostraron de igual manera los principales phyla mencionados Proteobacteria, Bacteroidota, Actinobacteria, y al igual que otras investigaciones, Firmicutes.

Proteobacteria es considerado el Phylum más estable en el intestino de *L. vannamei*, inclusive con variaciones de salinidad del medio y de composición del alimento (lípidos y carbohidratos) (Zhang *et al.*, 2014, 2016; Qiao *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2018). Este phylum puede realizar funciones clave para los camarones, tales como la degradación de celulosa y la fijación de nitrógeno (Zhou *et al.*, 2024).

De acuerdo con Zhang *et al.* (2014), Bacteroidetes está relacionado con la degradación de fibra en vertebrados, sin embargo, en el caso de organismos acuáticos, que son menos eficientes en la degradación de carbohidratos, es común encontrarlo en baja abundancia. Este phylum juega un papel sumamente importante en la fermentación de carbohidratos, la utilización del nitrógeno y la biotransformación de esteroides (Zhou *et al.*, 2024), por lo tanto, es posible que un aumento de carbohidratos en el alimento incremente la abundancia relativa de este phylum, como lo observamos en el tratamiento HSMA5. Además, de acuerdo con estudios en humanos, bacterias de este phylum podrían generar cierto grado de protección contra bacterias patógenas (Xu *et al.*, 2003).

Por otro lado, Actinobacteria se ha reportado en crustáceos de agua dulce, se considera que su presencia en el intestino es parte de un mecanismo de adaptación a cambios de salinidad en el ambiente (Ni *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018). Este phylum disminuye a partir del tratamiento HSMA5 y hasta HSMA10, mostrando un efecto inverso a la inclusión de HSMA. Esta disminución de la abundancia relativa pudiera estar influenciada, no por un cambio de salinidad, sino por la sustitución de la harina de trigo con la HSMA, ya que se ha visto que este phylum es favorecido por la presencia de harina de trigo en el cultivo de camarón (Kim *et al.*, 2021).

De acuerdo con Qiao *et al.* (2017), Firmicutes es sumamente sensible a la fuente de carbohidratos del alimento, siendo beneficiado principalmente por glucosa y sacarosa, además, está inversamente relacionado con la abundancia de Actinobacteria, tanto en crustáceos como en mamíferos (Tachon *et al.*, 2013). Ley *et al.* (2006) mencionan que, en humanos, una relación inversa entre la abundancia de Firmicutes respecto de Bacteroidota resulta en una mejor digestibilidad de nutrientes y, por lo tanto, un mayor crecimiento. Los resultados del presente estudio mostraron una mayor cantidad de Actinobacteria y una muy baja abundancia de Firmicutes, lo cual podría indicar que este último es afectado por la fructosa del mango. Aún con ello, la digestibilidad de carbohidratos de la HSMA fue excelente, lo que puede indicar que esta disminución de Firmicutes no se reflejó en el crecimiento de los organismos.

Durante el crecimiento de los crustáceos, Proteobacteria, Bacteroidetes y Actinobacteria dominan la comunidad bacteriana intestinal, y dentro de estos, las principales familias con mayor abundancia son Rhodobacteraceae y Flavobacteriaceae (Li *et al.*, 2018). Esta información coincide

con nuestros resultados, pues estas familias fueron las dominantes en todos los tratamientos de nuestro bioensayo, teniendo una relación estrecha en su abundancia, dado que a medida que disminuía Rhodobacteracea aumentaba la abundancia de Flavobacteriaceae, principalmente en el tratamiento de HSMA5. Las Rhodobacteracea se caracterizan por su alta resistencia al tránsito gastrointestinal (Li *et al.*, 2018), lo cual explicaría porque a medida que aumenta la inclusión de HSMA, un ingrediente rico en fibra, otras familias van disminuyendo, mientras que Rhodobacteracea se mantiene, incluso en una inclusión del 10%. Estas bacterias contienen compuestos funcionales (inhibidores de *Vibrio*) por lo que se ha propuesto su uso como probiótico (Sharifah y Eguchi, 2011; Mata *et al.*, 2017). Por otro lado, la familia Flavobacteriaceae ha sido encontrada de forma predominante en camarones cultivados en aguas eutróficas, debido a su alta versatilidad para usar fuentes de carbono y energía de polisacáridos principalmente, lo cual, podría estar relacionado con la inclusión de HSMA en el alimento (Hu *et al.*, 2022). Por otra parte, la inclusión de HSMA en el alimento resultó en un aumento en la abundancia relativa de Vibrionaceae, que es representado en su mayoría por bacterias del género *Vibrio*. Esto podría indicar que los azúcares o la fibra presente en la HSMA funcionan como prebiótico o sustrato para las poblaciones de *Vibrio*. En un estudio en larvas de *Scophthalmus maximus*, se observó un incremento de *Vibrio* sp. con la inclusión de inulina (fibra soluble de plantas como el agave) en la dieta (Mahious *et al.*, 2006). Aunque típicamente no son deseables las altas poblaciones de *Vibrio* en los sistemas acuícolas, debido a su potencial patogénico (Novriadi, 2016) muchas especies de este género son parte de la microbiota natural de los organismos acuícolas (Alagappan *et al.*, 2010), teniendo algunas propiedades probióticas, por lo que es necesario profundizar en este hallazgo.

El tratamiento HSMA5 presentó diferencias significativas en la abundancia relativa de phyla y familias, marcando el centro de ciertos cambios que vuelven a la “normalidad” a medida que se aumenta la inclusión de HSMA, es decir, un 5% de inclusión parece generar un cambio en la diversidad bacteriana en el intestino, pero un 10% revierte estos cambios, viéndose reflejado en resultados más similares al tratamiento Control. Posiblemente, un aumento en los días del bioensayo generaría cambios más marcados para interpretar de mejor manera los resultados en cuanto a diversidad bacteriana.

8.4 Evaluar la digestibilidad aparente *in vivo* de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos de la harina de subproductos de mango Ataulfo.

Los resultados obtenidos en el bioensayo de digestibilidad por el método de disección de los organismos presentaron, en todos los casos, valores menores que los obtenidos por el método de sifoneo. Debido a la poca cantidad de organismos presentes en el bioensayo de disección, no se pudieron realizar análisis por triplicado, sin embargo, se analizaron bajo estadística no paramétrica. En el caso de la DAMS de los alimentos, la diferencia entre el método de sifoneo contra el de disección es de casi 24%; para DALT es de 5%, y en menor o nula medida en el caso de DACHO, que es de 1.2%, a favor del método por sifoneo. En la mayor parte de los casos, con excepción de los carbohidratos, el alimento Control tuvo mayor digestibilidad que el alimento prueba; esto puede sugerir un efecto negativo en la digestibilidad debido a la incorporación de la HSMA. Carvalho *et al.* (2016) dividen a los ingredientes en dos tipos: los que tienen un valor nutritivo positivo y los que tienen un valor nutritivo negativo. Este último grupo se caracteriza por que la inclusión del ingrediente afecta negativamente la digestibilidad del alimento, es decir, los Coeficientes de Utilización Digestiva de Alimentos (CUDA), en el alimento Control es mayor que los CUDA del alimento prueba, como ocurrió en el presente estudio, aunque existen otros factores que considerar antes de etiquetar a la HSMA en este grupo. De manera general, las digestibilidades de nutrientes analizados y de materia seca de los alimentos y del ingrediente analizado, fueron bajas en ambos métodos, con excepción de los carbohidratos, en comparación con otros ingredientes de origen terrestre utilizados en camarón, por ejemplo, la harina de trigo (89.4% DAMS, 100% DAP), la harina de sorgo (82.4% DAMS), o la pasta de soya (85.4% DAMS, 100 DAP%) (Terrazas-Fierro *et al.*, 2010a). Terrazas-Fierro *et al.* (2010a) mencionan “buenas digestibilidades” de alimentos por encima del 84%. Para el presente estudio, con la excepción de DACHO, todos los valores de digestibilidad aparente están por debajo del 80%. Marchão *et al.* (2024) midieron la digestibilidad de un alimento con inclusión de harina de mango entero para el pez *Colossoma macropumum*, obteniendo valores significativamente mayores de digestibilidad aparente de materia seca y carbohidratos, comparado con un alimento de referencia.

Los resultados en ambos casos fueron superiores al 96% de digestibilidad, mientras que en el presente estudio el alimento con inclusión de mango presentó valores menores, pues en el mejor de los casos, la DAMS con el método de sifoneo fue de 66.7% y para el caso de DACHO coincide

con lo reportado por estos autores, pues se obtuvieron valores por encima del 90%. Omoregie (2001) reportó las digestibilidades de sus alimentos con inclusión de harina de semilla de mango para *Labeo senegalensis*, de 86% de DAP, sin embargo, la DACHO solo estuvo por encima de 45% lo cual, según los autores, se puede considerar como una digestibilidad aceptable para ser incorporada en el alimento de esta especie. En contraste, en el presente trabajo la mejor DAP se obtuvo con el método de sifoneo con un 63.4% y una DACHO de 95.5%, una diferencia considerable.

Lima *et al.* (2011) midieron la digestibilidad de un alimento con diferentes niveles de inclusión de harina de subproductos de mango (cáscara y bagazo fibroso) en la tilapia gris del Nilo, y encontraron que, a medida que se aumenta la inclusión de este ingrediente, hay una baja significativa en la DAP y DAMS del alimento, por ejemplo, la DAP baja de 88.8%, en el alimento Control, a 87.8% en el alimento con 15% de inclusión (significativamente diferente), y en el caso de la DAMS, en los mismos tratamientos, pasa de 79.8% a 78.0%. Sin embargo, los autores resaltan que, las digestibilidades aparentes del alimento con 15% de inclusión de harina de residuos de mango, estuvieron siempre por encima de 77.5% (incluyendo digestibilidad aparente de energía bruta).

Los alimentos en el presente estudio contenían diferentes niveles de fibra cruda: el alimento Control un 1.7% y el alimento prueba 4.7%, respecto a esto Lima *et al.* (2011) mencionan que al aumentar la cantidad de fibra en un alimento los valores de digestibilidad de los nutrientes pueden bajar debido a factores tales como el aumento de viscosidad, que interfiere con la superficie de contacto de las enzimas sobre el sustrato, o a que los alimentos ricos en fibras tienen una baja retención en el tracto digestivo. A esto, además, se debe a sumar que de manera general los animales jóvenes son más susceptibles a los efectos negativos de la fibra en los alimentos (Meurer y Hayashi, 2003).

Con el objetivo de incrementar los valores nutricionales de los ingredientes o aumentar su digestibilidad mediante la reducción de la fibra cruda, diversos autores han utilizado la fermentación como método para lograrlo. Obasa *et al.* (2013) fermentaron la semilla de mango para incluirla en un alimento como sustituto del maíz amarillo, y reportaron un incremento en los aminoácidos esenciales a medida que la inclusión de mango aumentaba, especialmente la de

metionina, lo cual podría significar una ventaja. En ese mismo trabajo, los autores mencionan que, a medida que aumenta la inclusión de harina fermentada de mango de 0% a 34% las digestibilidades de carbohidratos aumentan paulatinamente de 65% a 78%, mientras que, en ese mismo incremento de inclusión, sucede un efecto contrario en la digestibilidad de proteínas, que pasan de 72% a 49%. Por último, los autores mencionan un límite en la inclusión de 16%, pues sobrepasando éste, los parámetros zootécnicos de los animales comienzan a verse afectados negativamente. Existe una relación entre la cantidad de carbohidratos y proteínas en un alimento, la cual, influye en la manera en cómo estos nutrientes se absorben y aprovechan por el organismo; esta relación va de la mano con la naturaleza del alimento y los hábitos alimenticios de la especie (Jobling, 2012). Silva *et al.* (2022), probaron la inclusión de mango *in natura*, en diferentes concentraciones, y con diferentes proporciones de Carbohidratos: Proteína, y en sus resultados, la mayor inclusión de mango fue 36% con 28% de PC, posterior a este nivel de mango (y con una reducción de proteína de 24%), se generó un desbalance hematológico. Niveles de inclusión de 42% y 48% aumentaban los niveles de aminoácidos en el plasma en *Colossoma macropomum*, sugiriendo una compensación metabólica, pues debido a la reducción en el crecimiento de los peces, los autores sugieren, estos aminoácidos se usaron para la gluconeogénesis, por parte de los peces para cubrir la deficiencia nutricional provocada por el alimento.

Akiyama *et al.* (1989), mencionan que los valores de digestibilidad se ven afectados de manera diferente por los efectos asociativos de los constituyentes del alimento. Los alimentos con altos niveles de proteína suelen ser mejor digeridos que los alimentos con altos niveles de carbohidratos. En el presente trabajo, la baja digestibilidad de materia seca se puede atribuirse a varios factores, tales como la baja digestibilidad de proteína y lípidos de los alimentos, pues incluso el alimento Control presenta valores por debajo del 70%, esto muy posiblemente por tratarse de una formulación basada en derivados de plantas y en subproductos de otras industrias, además de la ausencia de harina de pescado. Estos resultados debemos compararlos también con la digestibilidad de los carbohidratos que tienen un muy buen aprovechamiento por parte del organismo con ambos alimentos, y con ambos métodos de colecta de heces (>90%).

Este último nutriente fue el mejor aprovechado por los camarones, con valores de Digestibilidad Aparente de Carbohidratos del Ingrediente (DACHOI) por encima de 96% con ambos métodos. De manera general, las digestibilidades aparentes del ingrediente fueron mayores con el método de sifoneo que con el de disección, coincidiendo con los resultados reportados por Truong *et al.* (2022) los cuales compararon métodos de colecta de heces, demostrando una diferencia significativa a favor de la digestibilidad de ingredientes con el método de sifoneo. Estas diferencias están influenciadas por la forma en la que se colecta la materia fecal, pues en el método de disección no se permite que esta recorra todo el intestino del animal y, por ende, no todos los nutrientes son absorbidos. La digestibilidad aparente de lípidos (DALI) fueron menores a 53% con ambos métodos de colecta lo cual sugiere que estos nutrientes no son bien asimilados por el camarón, reduciendo, por lo tanto, la digestibilidad de la materia seca. Por otro lado, lo que llamo más la atención fue la digestibilidad aparente de proteína del ingrediente (DAPI), la cual tuvo valores negativos. Aunque la digestibilidad de cualquier nutriente normalmente debe estar en valores entre 0 y 100%, diversos autores mencionan valores por encima o por debajo de este rango cuando se mide la digestibilidad aparente de los ingredientes (Akiyama *et al.*, 1989; Divakaran *et al.*, 2000; Cruz-Suarez *et al.*, 2001). Existen diferentes factores que pueden afectar la medición de la digestibilidad aparente *in vivo* de un ingrediente, dentro los que destacan: a) la fuente y el procesamiento del ingrediente; b) la formulación del alimento; c) el lixiviado del alimento y las heces; d) el método de colecta y análisis e) las interacciones entre los componentes del alimento; f) las pérdidas endógenas; g) los errores analíticos; h) el error en el cálculo de los coeficientes de digestibilidad (Akiyama *et al.*, 1989; Divakaran *et al.*, 2000; Omoregie, 2001; Bureau y Hua, 2006; Yang *et al.*, 2009; Forster *et al.*, 2010; b; Terrazas-Fierro *et al.*, 2010a; Terrazas-Fierro *et al.*, 2010b; Carvalho *et al.*, 2016).

Akiyama *et al.* (1989) comentan respecto a los valores negativos de digestibilidad, que estos representan pérdidas endógenas del animal debido a procesos como la secreción de enzimas, la descamación de células intestinales e incluso la secreción de la membrana peritrófica quitinosa de los crustáceos que, incluso con ciertos materiales, puede llegar a ser de mayor grosor interfiriendo con la medición de la digestibilidad. Por otro lado, Divakaran *et al.* (2000) mencionan que la harina de soya, que forma parte de la formulación de los alimentos experimentales en este estudio, puede tener una interferencia con el óxido crómico, llevando a sub y sobreestimaciones

en la digestibilidad, sobre todo cuando el paso del alimento por el intestino es rápido, lo que sucede con los ingredientes altos en fibra, dándonos a conocer las limitantes que este método puede tener.

Debido a la poca cantidad de proteína en la HSMA, podemos deducir, que este fue el factor más importante para no poder determinar correctamente, la digestibilidad de este nutriente. En segundo lugar, la gran cantidad de fibra del ingrediente y, por lo tanto, del alimento prueba, disminuía el tiempo de estancia del alimento en el intestino.

En los resultados reportados por Forster *et al.* (2010), utilizaron tres subproductos de papaya: harina de papaya completa, harina de pulpa de papaya y harina de semilla de papaya, con resultados de digestibilidad promedio de los ingredientes en cuanto a materia seca de 65% y de lípidos de 76%. Además, reportaron valores de proteína como N/A, lo mismo que para la DAL de la harina de pulpa de papaya, esto al no poder ser medidos. Qiu *et al.* (2018) reportaron valores de 49% y 70% para la DAMSI y DAPI, respectivamente, de una harina de pescado, y de 30% y 15% en la DAMSI y DAPI de una harina de *Ulva* (sp) en alimentos de *L. vannamei*, por lo que los valores bajos de digestibilidad no se limitan únicamente a ingredientes vegetales terrestres, sino también a diferentes tipos de peces utilizados en las harinas de pescado y de materia vegetal marina. Además, en el mismo estudio se analizó la inclusión biomasa bacteriana, donde se obtuvieron valores de DAMSI negativos.

De acuerdo con el estudio de Forster *et al.* (2010), los ingredientes que contienen menos de 10% de proteína cruda, al ser utilizados en estudios de digestibilidad, el 30% de inclusión, tradicionalmente utilizado, es insuficiente para medir la digestibilidad aparente. Los autores atribuyen a esto sus resultados de DAPI pues este nutriente contenía un porcentaje menor a 1% en el ingrediente, similar a la HSMA. Carvahlo *et al.* (2016) complementan esto al mencionar que un sesgo en la fórmula puede provocar que, para medir mejor la digestibilidad de estos ingredientes, se necesitaría una mayor inclusión para comprender mejor su aprovechamiento por los organismos.

Otros autores mencionan la posibilidad de que el procesamiento de los alimentos a nivel de investigación tenga sus limitaciones al momento de simular procesos industriales. Por ejemplo,

que no se logre la adecuada gelatinización de los ingredientes vegetales y esto pueda afectar la digestibilidad de estos (Terrazas-Fierro *et al.*, 2010a; Carvalho *et al.*, 2016). Davis y Arnold (1993) evaluaron diferentes fuentes de carbohidratos, tales como almidón de trigo, trigo entero, sorgo, maíz partido al vapor y un sorgo procesado industrialmente, obteniendo valores de DAMSI menores a 57% (50, 52, 38, 23 y 56%, respectivamente). Mencionan que los carbohidratos parecen variar su aprovechamiento según la fuente y el grado de gelatinización; como el sorgo procesado comercialmente, que tuvo mejor digestibilidad debido a su alta gelatinización.

Respecto al ingrediente se pueden mencionar algunos aspectos, como su alto contenido de fibra, que se ha descrito limita la digestibilidad de los ingredientes, además de considerar que los mangos contienen factores antinutricionales en la cáscara y la semilla tales como los taninos y los fitatos (Larrauri *et al.*, 1996; Marçal y Pintado, 2021).

Algunos autores sugieren que los taninos presentes en las semillas vegetales pueden producir complejos con la vitamina B, que tienen efectos antitripsina y antiamilasa y, por lo tanto, interferir con la absorción de proteínas. Sin embargo, Pereira *et al.* (2024), han sugerido que el proceso de extrusión arriba de 60°C es suficiente para inactivar estos compuestos. En la fabricación de nuestros alimentos se usaron temperaturas de 65°C, por lo que sería probable que ello haya ocurrido.

Bolívar-Ramírez *et al.* (2022) probaron la incorporación de taninos en pequeñas cantidades en el alimento y reportaron que no se afectaron los parámetros zootécnicos de *L. vannamei*, demostrando además que, en bajas cantidades, pueden funcionar como un estimulante del crecimiento de los camarones. Cruz-Suarez *et al.* (2001) también mencionan que los camarones pueden ser más tolerantes a factores antinutricionales que otras especies. En el presente trabajo no se realizó la cuantificación de taninos presentes en la HSMA, sin embargo, en un futuro podría realizarse para descartar que la presencia de estos interfiera en la digestibilidad del ingrediente. La digestibilidad de lípidos es influenciada por diversos factores, entre los que podemos destacar la longitud de cadena de ácidos grasos, el grado de insaturación y la interacción con otros nutrientes. El aceite de semilla de mango tiene entre 42 y 56% de ácidos grasos saturados y 45% de insaturados; el principal ácido graso es el oleico, con cerca del 45%, seguido del esteárico, y

también se ha reportado ácido palmítico y linoleico (Jahurul *et al.*, 2015; Villanueva Rodríguez *et al.*, 2016).

Los ácidos grasos saturados, como el ácido oleico, que no tienen un carácter esencial para los camarones, tienden a ser menos aprovechados y, por lo tanto, se requieren en pequeñas cantidades en el alimento (Forrellat-Barrios *et al.*, 2004). Aunque los ácidos grasos reportados en el mango no son esenciales para el camarón blanco, ácidos grasos saturados y monoinsaturados son encontrados normalmente en su alimento, por lo que estos son aprovechables por éste (González-Félix *et al.*, 2002; González-Félix *et al.*, 2010). Omorregie (2001) menciona que los alimentos ricos en lípidos aumentan la digestibilidad de estos, sin embargo, en la HSMA los niveles de extracto etéreo son muy bajos, lo cual puede estar afectando la medición de la digestibilidad de este nutriente.

De lo referente a los carbohidratos en la madurez del mango, los dominantes son sacarosa, fructosa y glucosa, mientras que el nivel de almidón puede ser de aproximadamente 0.3% (Villanueva Rodríguez *et al.*, 2016). Lazzari *et al.* (2015) mencionan que las fuentes y niveles de inclusión de los carbohidratos suelen ser complicados de definir pues la digestibilidad, absorción y posterior metabolismo de estos dependen del estado físico del ingrediente y la composición o complejidad de las moléculas. Los carbohidratos del mango son simples, lo cual pudiera ser una explicación a su alta digestibilidad en los camarones.

9. CONCLUSIONES

La harina de subproductos de mango variedad Ataulfo (HSMA), se fabricó más eficientemente utilizando el método de licuado con adición de agua que por el método de secado directo, y su rendimiento fue de 12.3% con respecto al mango fresco completo.

La inclusión de la harina de subproductos de mango Ataulfo a niveles de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% en el alimento permitió obtener parámetros zootécnicos y de utilización del alimento similares a los del alimento Control, por lo que puede ser considerada un ingrediente práctico adecuado en alimentos para juveniles del camarón blanco del Pacífico, hasta al menos 10% de inclusión.

Los niveles de inclusión de la HSMA utilizados en el alimento no generaron un cambio significativo en la diversidad alfa, pero sí en la diversidad beta de la comunidad bacteriana del intestino *de L. vannamei*, principalmente en los phyla sensibles a la fuente de carbohidratos; un aumento en los niveles de inclusión de HSMA probablemente marcaría cambios más notables para determinar si el ingrediente puede ser considerado o no como prebiótico.

Los coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca y nutrientes de los alimentos Control y con HSMA fueron mayores cuando fueron determinados por el método de colecta de heces por sifoneo que por el método por disección.

La utilización digestiva de proteína de la harina de subproductos de mango Ataulfo no pudo ser determinada, obteniéndose valores negativos, muy probablemente debido al bajo nivel de proteína en la harina (1.2%, en base seca) y otros factores que limitan la sensibilidad del método de medición de la digestibilidad aparente.

La utilización digestiva aparente de lípidos totales de la HSMA fue baja (<52%), independientemente del método de colecta (sifoneo o disección), probablemente debido al bajo contenido de lípidos en la harina (1.1% en base seca) y limitantes en el método de medición de la digestibilidad, mientras que la utilización digestiva de los carbohidratos fue elevada con ambos métodos (>96%), demostrando que el camarón los utilizó como fuente de energía, permitiendo obtener un buen crecimiento.

Aunque la digestibilidad de la HSMA resultó ser baja para proteínas y lípidos, los carbohidratos presentaron una excelente digestibilidad por parte de los organismos, cumpliendo con su rol de fuente de energía.

9.1 Recomendaciones

Dados los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda aumentar la duración de los bioensayos con el objetivo de que las eventuales diferencias entre tratamientos sean más perceptibles.

Sería deseable evaluar niveles de inclusión de la HSMA mayores a 10% y hasta en un 30% en el alimento para determinar el nivel óptimo para camarón *L. vannamei*.

La comparación de métodos de colecta debe de realizarse con un número mayor de organismos, a fin de poder contar con replicados, particularmente para el método de colecta por disección, y poder hacer análisis estadísticos robustos.

Es conveniente realizar posteriores investigaciones a nivel de estanquería a cielo abierto y en cultivos intensivos a mayor escala para establecer el nivel óptimo de inclusión de la HSMA en condiciones de cultivo comercial, y con ello determinar si, desde un punto de vista nutricional y económico, puede incorporarse esta harina en alimentos comerciales para camarón *Litopenaeus vannamei*.

Estudios de resistencia a estrés o patógenos, serían recomendados para determinar, con mayor precisión, el efecto del alimento sobre comunidades bacterianas benéficas en el intestino de *L. vannamei*.

Asimismo, se recomienda llevar a cabo estudios económicos y ecológicos para determinar el beneficio socioambiental del aprovechamiento de subproductos del mango en la acuicultura.

10. LITERATURA CITADA

- Ahmadifar, E., Fallah, H.P., Yousefi, M., Dawood, M.A.O., Hoseinifar, S.H., Adineh, H., Yilmaz, S., Paolucci, M. y Van Doan, H. (2021). The gene regulatory roles of herbal extracts on the growth, immune system, and reproduction of fish. *Animals*, 11(8):2167.
- Akiyama, D.M., Coelho, S.R., Lawrence, A.L. y Robinson, E.H. (1989). Apparent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vannamei* BOONE. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(1): 91-98.
- Alagappan, K.M., Deivasigamani, B., Somasundaram, S.T. y Kumaran, S. (2010). Occurrence of *Vibrio parahaemolyticus* and its specific phages from shrimp ponds in East Coast of India. *Current Microbiology*, 61(4): 235-240. doi: 10.1007/s00284-010-9599-0.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed, *AOAC International*. ISBN: 9780935584752.
- Ashifat, A.A., Omotubga, S.K., Kehinde, A.S., Olayinka, O.O. y Edugbola, G.O. (2012). Proximate evaluation of nutritional value of mango (*Mangifera indica*). *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 2(4), pp. 244-245.
- Ashoush, I. y Gadallah, M. (2011). Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 6: 35-42.
- Aya, F.A. (2017). Utilizing alternative ingredients in aquafeeds for sustainable aquaculture. *Fish for the People*, 15(3): 37-44.
- Aya, F.A., Unida, C.J.L., Sayco, J.M.P., Romana-Eguia, R.M. y Salayo, N.D. (2021). Potential use of agricultural wastes in aquafeed production. En: Aya, F.A., de la Peña, L.D., Salayo, N.D. y Tendencia, E.A. (eds) *Promotion of sustainable aquaculture, aquatic animal health and resource enhancement in Southeast Asia*. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Tigbauan, Iloilo, pp. 88-96.
- Badee, A.Z.M., Moawad, R.K., Elnoketi, M.M. y Gouda, M.M. (2020). Prevention of quality loss and melanosis of white shrimp (*Penaeus* spp.) during cold storage by mango seed kernel extract. *Plant Archives*, 20(2): 7639-7649.
- Barnes, H. y Blackstock, J. (1973). Estimation of lipids in marine animals and tissues: Detailed investigation of the sulphophosphovanilun method for 'total' lipids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 12(1): 103-118. doi: 10.1016/0022-0981(73)90040-3.
- Bello-Armenta, M.A. y Cuello Marín, R.R. (2023). Evaluación del rendimiento productivo y coeficiente de digestibilidad aparente en *Colossoma macropomum*, de un alimento formulado con *Lemna minor*. *Revista EIA*, 20(40). doi: 10.24050/reia.v20i40.1655.
- Belsare, S. y Singh, H. (2007). Effect of diets containing different levels of mango seed kernel on growth and survival of post-larvae of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *The Asian Journal of Animal Science*, 2(2): 59-63.
- Bolívar-Ramírez, N.C., Mallmann, A.S., Schleder, D.D., Machado, C., Seiffert, W.Q. y do Nascimento Vieira, F. (2022). Tannins as a food additive in Pacific white shrimp diet. *Aquaculture*, 556. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738232.
- Boonyaratpalin, M. (1996). Nutritional requirements of commercially important shrimps in the tropics. En: Santiago, C.B., Coloso, R.M., Millamena, O.M. y Borlongan, I.G. (eds) *Feeds for Small-Scale Aquaculture. Proceedings of the National Seminar-Workshop on Fish Nutrition and Feeds*. SEAFDEC Aquaculture Department, Iloilo, Philippines.

- Bou, G., Fernández-Olmos, A., García, C., Sáez-Nieto, J.A. y Valdezate, S. (2011). Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(8): 601-608. doi: 10.1016/j.eimc.2011.03.012.
- Bureau, D.P. y Hua, K. (2006). Letter to the editor of *Aquaculture*. *Aquaculture*, 252: 103-105.
- Callahan, B.J., McMurdie, P.J., Rosen, M.J., Han, A.W., Johnson, A.J.A. y Holmes, S.P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods*, 13(7): 581-583. doi: 10.1038/nmeth.3869.
- Cárdenas-Coronel, W.G., Velez-de la Rocha, R., Siller-Cepeda, J.H., Osuna-Enciso, T., Muy-Rangel, M.D. y Sañudo-Barajas, J.A. (2012). Changes in the composition of starch, pectins and hemicelluloses during the ripening stage of mango (*Mangifera indica* cv. Kent). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1): 5-19.
- Carroll, N.V., Longley, R.W. y Roe, J.H. (1956). The determination of glycogen in liver and muscle by use of anthrone reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 220(2): 583-593. doi: 10.1016/S0021-9258(18)65284-6.
- Carvalho, R.A.P.L.F. de, Ota, R.H., Kadry, V.O., Tacon, A.G.J. y Lemos, D. (2016). Apparent digestibility of protein, energy and amino acids of six protein sources included at three levels in diets for juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in high performance conditions. *Aquaculture*, 465: 223-234. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.09.010.
- Chien, A., Chou, C.Y., Cheng, Y.C., Sheen, S.S. y Kirby, R. (2023). The optimal dietary level of dry grape extract and its effect on the growth performance and antioxidant activity of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 29. doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101527.
- Cho, C.Y. y Slinger, S.J. (1978). Nutritional value of fish meal in the diets of fish. *Aquaculture*, 14(3): 173-182.
- CONAPESCA. (2024). *Se posiciona México como el segundo mejor productor de camarón en Latinoamérica*. En: *Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura*. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/se-posiciona-mexico-como-el-segundo-mejor-productor-de-camaron-en-latinoamerica?idiom=es-MX>. [Consulta: 12 septiembre 2024].
- Concepción Brindis, A., Jiménez Ruiz, E.I., Sumaya Martínez, M.T., Rincones López, J.E., Sánchez Herrera, L.M., Peraza Gómez, V., Medina Carrillo, R.E. y Spanopoulos Hernández, M. (2022). Evaluación de una dieta antioxidante para tilapia *Oreochromis niloticus* con inclusión de subproducto de mango y jamaica. *Biotecnia*, 24(2): 69-76. doi: 10.18633/biotecnia.v24i2.1583.
- Cornejo-Granados, F., Gallardo-Becerra, L., Leonardo-Reza, M., Ochoa-Romo, J.P. y Ochoa-Leyva, A. (2018). A meta-analysis reveals the environmental and host factors shaping the structure and function of the shrimp microbiota. *PeerJ*, 6: e5382. doi: 10.7717/peerj.5382.
- Cornejo-Granados, F., Lopez-Zavala, A.A., Gallardo-Becerra, L., Mendoza-Vargas, A., Sánchez, F., Vichido, R., Briebe, L.G., Viana, M.T., Sotelo-Mundo, R.R. y Ochoa-Leyva, A. (2017). Microbiome of Pacific whiteleg shrimp reveals differential bacterial community composition between wild, aquacultured and AHPND/EMS outbreak conditions. *Scientific Reports*, 7(1): 11783. doi: 10.1038/s41598-017-11805-w.
- Cruz Neto, M.A., de Souza, A.M., de Melo, F.V.S.T., da Rocha, D.R., da Silva Rocha, A., Dos Santos Macedo, J., da Silva Camargo, A.C. y Melo, J.F.B. (2024). Mango extract in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diet: An *in vitro* and *in vivo* study. *Journal of Applied Aquaculture*, 36(1): 151-169. doi: 10.1080/10454438.2022.2129542.
- Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Marín-Zaldivar, L.F., Guajardo-Barbosa, C., Nieto-López, M. y Salinas-Miller, A. (2019). Historia y estatus actual de la digestibilidad y algunas

- características físico-químicas de los alimentos comerciales para camarón usados en México. *Avances en Nutrición Acuícola*, 0(0). Disponible en: <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/224>.
- Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., McCallum, I.M. y Hickling, D. (2001). Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* sp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture*, 196(1-2): 87-104. doi: 10.1016/S0044-8486(00)00572-X
- Davis, D.A. y Arnold, C.R. (1993). Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 114(3-4): 285-292. doi: 10.1016/0044-8486(93)90303-G.
- D'Abramo, L.R. (2019). Nutrition and Feeds, in Lucas, J.S., Southgate, P.C. y Tucker, C.S. (eds.), *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*, 3ª ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, pp. 157-182.
- Divakaran, S., Velasco Ramírez, M., Beyer, E., Forster, I. y Tacon, A. (2000). Soybean meal apparent digestibility for *Litopenaeus vannamei*, including a critique of methodology. En: *Avances en Nutrición Acuícola V*, Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, pp. 267-276.
- Egerton, S., Culloty, S., Whooley, J., Stanton, C. y Ross, R.P. (2018). The gut microbiota of marine fish. *Frontiers in Microbiology*, 9. doi: 10.3389/fmicb.2018.00873.
- Emerenciano, M.G.C., Rombenso, A.N., Vieira, F.D.N., Martins, M.A., Coman, G.J., Truong, H.H., Noble, T.H. y Simon, C.J. (2022). Intensification of penaeid shrimp culture: an applied review of advances in production systems, nutrition and breeding. *Animals*, 12(3). doi: 10.3390/ani12030236.
- Escobar-Briones, L., Olvera-Novoa, M.A. y Puerto-Castillo, C. (2006). Avances sobre la ecología microbiana del tracto digestivo de la tilapia y sus potenciales implicaciones. En: Cruz Suárez, E., Ricque Marie, D., Tapia Salazar, M., Nieto López, M.G., Villarreal Cavazos, D.A., Puello Cruz, A.C., y García Ortega, A. (eds) *Avances en Nutrición Acuícola VIII*, VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.
- Evans, E.A., Ballen, F.H. y Siddiq, M. (2017). Mango production, global trade, consumption trends, and postharvest processing and nutrition. En: *Handbook of Mango Fruit*. Wiley, pp. 1-16.
- Fan, J., Chen, L., Mai, G., Zhang, H., Yang, J., Deng, D. y Ma, Y. (2019). Dynamics of the gut microbiota in developmental stages of *Litopenaeus vannamei* reveal its association with body weight. *Scientific Reports*, 9(1). doi: 10.1038/s41598-018-37042-3.
- FAO. (2024a). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024*. FAO. ISBN: 978-92-5-138817-4. doi: 10.4060/cd0683es.
- FAO. (2024b). *Datos sobre producción de pesca y acuicultura*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data> [Consulta: 30 octubre 2024].
- FAO. (2023). *Major Tropical Fruits Market Review. Preliminary Results 2023*. Rome.
- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022*. Hacia la transformación azul. Roma: FAO. Disponible en <https://doi.org/10.4060/cc0461es> [Accedido el: 6 noviembre 2024].
- Fawole, F.J., Sahu, N.P., Pal, A.K. y Ravindran, A. (2016). Haemato-immunological response of *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings fed leaf extracts and challenged by *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 47(12): 3788-3799. doi: 10.1111/are.12829.
- Fawole, F.J., Yisa, R.O., Jayeoba, O.O., Adeshina, I., Ahmed, A.O. y Emikpe, B.O. (2022). Effect of dietary polyherbal mixture on growth performance, haemato-immunological indices, antioxidant

- responses, and intestinal morphometry of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Nutrition*, 2022. doi: 10.1155/2022/5502796.
- Forrellat-Barrios, A., Del, A., del Monte-Martínez, A., Lao, T., Boburg, B., Nolasco, H. y Farnés, O. (2004). Caracterización de lipasas en tres especies de camarones peneidos: su importancia en la digestión. *III Congreso Iberoamericano de Acuicultura*, pp.767-776.
- Forster, I.P., Dominy, W.G., Conquest, L.D., Ju, Y.Z. y Grey, M. (2010). Use of agricultural byproducts in diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Avances en Nutrición Acuicola*, 0(0). Disponible en: <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/114>.
- Furukawa, A.W. y Tsukahara, H. (1966). On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 32: pp. 502–506. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85152363>.
- Garibay-Valdez, E., Martínez-Porchas, M., Calderón, K., Gollas-Galván, T., Martínez-Córdova, L.R., Vargas-Albores, F. y Arvayo, M.A. (2018). La microbiota del tracto digestivo de camarones peneidos: una perspectiva histórica y estado del arte. Disponible en: <http://biotecnia.unison.mx>.
- Ghanbari, M., Kneifel, W. y Domig, K.J. (2015). A new view of the fish gut microbiome: Advances from next-generation sequencing. *Aquaculture*, 448: 464–475. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.06.033.
- Goh, J.X.H., Tan, L.T., Law, J.W., Ser, H., Khaw, K., Letchumanan, V., Lee, L. y Goh, B. (2022). Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Reviews in Aquaculture*, 14(3): 1478–1557. doi: 10.1111/raq.12659.
- González-Félix, M.L., da Silva, F.S.D., Davis, D.A., Samocha, T.M., Morris, T.C., Wilkenfeld, J.S. y Pérez-Velázquez, M. (2010). Replacement of fish oil in plant-based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 309(1-4): 152-158. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.08.028.
- González-Félix, M.L., Gatlin, D.M., Lawrence, A.L. y Pérez-Velázquez, M. (2002). Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3): 330-340. doi: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00509.x.
- Hernández, M., Quijada, N.M., Rodríguez-Lázaro, D. y Eiros, J.M. (2020). Aplicación de la secuenciación masiva y la bioinformática al diagnóstico microbiológico clínico. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(2): 150–161. doi: 10.1016/J.RAM.2019.06.003.
- Holt, C.C., Bass, D., Stentiford, G.D. y van der Giezen, M. (2021). Understanding the role of the shrimp gut microbiome in health and disease. *Journal of Invertebrate Pathology*, 186: 107387. doi: 10.1016/j.jip.2020.107387.
- Hoseinifar, S.H., Zare, P. y Kolangi Miandare, H. (2015). The effects of different routes of inulin administration on gut microbiota and survival rate of Indian white shrimp post-larvae (*Fenneropenaeus indicus*). *Veterinary Research Forum*, 6(4): 331–335.
- Hou, K., Wu, Z.X., Chen, X.Y., Wang, J.Q., Zhang, D., Xiao, C., Zhu, D., Koya, J.B., Wei, L., Li, J. y Chen, Z.S. (2022). Microbiota in health and diseases. *Signal Transduct Target Ther*, 7.
- Hu, D., Wang, L., Zhao, R., Zeng, J. y Shao, Z. (2022). Core microbiome involved in nitrite removal in shrimp culture ponds. *Aquaculture Research*, 53(5): 1663-1675. doi: 10.1111/are.15698.
- Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F.Y., Nyam, K.L., Norulaini, N.A.N., Sahena, F. y Mohd Omar, A.K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry*, 183: 173-180.

- Jobling, M. (2012). *National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. Aquaculture International*, 20(3): 601-602. doi: 10.1007/s10499-011-9480-6.
- Kaur, B., Panesar, P.S., Anal, A.K. y Chu-Ky, S. (2023). Recent trends in the management of mango by-products. *Food Reviews International*, 39: 4159-4179.
- Kim, Y., Lounds-Singleton, A.J. y Talcott, S.T. (2009). Antioxidant phytochemical and quality changes associated with hot water immersion treatment of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 115(3): 989-993. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.019.
- Kim, Y.S., Kim, S.E., Kim, S.J., Jung, H.K., Park, J., Jeon, Y.J., Kim, D.H., Kang, J.H. y Kim, K.H. (2021). Effects of wheat flour and culture period on bacterial community composition in digestive tracts of *Litopenaeus vannamei* and rearing water in biofloc aquaculture system. *Aquaculture*, 531: 735908. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735908.
- Kozich, J.J., Westcott, S.L., Baxter, N.T., Highlander, S.K. y Schloss, P.D. (2013). Development of a dual-index sequencing strategy and curation pipeline for analyzing amplicon sequence data on the MiSeq Illumina sequencing platform. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(17): 5112–5120. doi: 10.1128/AEM.01043-13.
- Kumar, S., Konwar, J., Purkayastha, M.D., Kalita, S., Mukherjee, A. y Dutta, J. (2023). Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124332.
- Landsman, A., St-Pierre, B., Rosales-Leija, M., Brown, M. y Gibbons, W. (2019). Investigation of the potential effects of host genetics and probiotic treatment on the gut bacterial community composition of aquaculture-raised Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Microorganisms*, 7(8): 217. doi: 10.3390/microorganisms7080217.
- Larrauri, J.A., Rupérez, P., Borroto, B. y Saura-Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 29(8): 729-733. doi: 10.1006/FSTL.1996.0113.
- Lazzari, R., Batista Rodrigues, R., Pianesso, D., Adorian, T. y Mombach, P. (2015). Utilização de resíduos de frutas em dietas para piava. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(2): pp.227-237.
- Lemos, D., Coelho, R. y Carvalho, R. (2022). Apparent amino acid digestibility of feed ingredients for juvenile shrimp (*Litopenaeus vannamei*): a new method of determination using soybean meal as an example. doi: 10.21203/rs.3.rs-2194417/v1.
- Lemos, D., Lawrence, A.L. y Siccardi, A.J. (2009). Prediction of apparent protein digestibility of ingredients and diets by *in vitro* pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 295(1-2): 89-98. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.06.011.
- Ley, R.E., Turnbaugh, P.J., Klein, S. y Gordon, J.I. (2006). Human gut microbes associated with obesity. *Nature*, 444(7122): 1022-1023. doi: 10.1038/4441022a.
- Li, E., Xu, C., Wang, X., Wang, S., Zhao, Q., Zhang, M., Qin, J.G. y Chen, L. (2018). Gut microbiota and its modulation for healthy farming of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 26: 381-399.
- Li, X., Chen, Y., Zheng, C., Chi, S., Zhang, S., Tan, B. y Xie, S. (2022). Evaluation of six novel protein sources on apparent digestibility in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 2022. doi: 10.1155/2022/8225273.
- Lima, M.R. de., Ludke, M.D.C.M.M., Porto Neto, F.D.F., Pinto, B.W.C., Torres, T.R. y Souza, E.J.O. de. (2011). Farelo de resíduo de manga para tilápia do Nilo. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 33(1). doi: 10.4025/actascianimsci.v33i1.10247.

- Lizárraga-Velázquez, C.E., Hernández, C., González-Aguilar, G.A. y Heredia, J.B. (2019). Effect of dietary intake of phenolic compounds from mango peel extract on growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in zebrafish (*Danio rerio*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(4): 602-611. doi: 10.3856/vol47-issue4-fulltext-3.
- Llewellyn, M.S., Boutin, S., Hoseinifar, S.H. y Derome, N. (2014). Teleost microbiomes: The state of the art in their characterization, manipulation and importance in aquaculture and fisheries. *Frontiers in Microbiology*, 5: 1-1. doi: 10.3389/fmicb.2014.00207.
- López-Ceseña, J.A. (2024). *Subproductos agroindustriales de mango (Mangifera indica L.), var. Ataulfo, en dietas para juveniles de tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758) y su efecto sobre parámetros de crecimiento y bioquímica sanguínea. Tesis de maestría.* Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Sinaloa.
- Low, A.G. (1980). Nutrient absorption in pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(11): 1087-1130. doi: 10.1002/jsfa.2740311102.
- Lucas, J. y Southgate, P. (2019). *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*, 3ª ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. ISBN: 9781119230861.
- Lyra, M.L., Bletz, M.C., Haddad, C.F.B. y Vences, M. (2018). The intestinal microbiota of tadpoles differs from those of syntopic aquatic invertebrates. *Microbial Ecology*, 76(1): 121-124. doi: 10.1007/s00248-017-1109-5.
- Ma, X., Wu, H., Liu, L., Yao, Q., Wang, S., Zhan, R., Xing, S. y Zhou, Y. (2011). Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 129(1): 102-107. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.015.
- Mahious, A.S., Gatesoupe, F.J., Hervi, M., Metailler, R. y Ollevier, F. (2006). Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima* (Linnaeus, C. 1758). *Aquaculture International*, 14(3): 219-229. doi: 10.1007/s10499-005-9003-4.
- Maldonado-Astudillo, Y.I., Navarrete-García, H.A., Ortiz-Morales, Ó.D., Jiménez-Hernández, J., Salazar-López, R., Alia-Tejacal, I. y Álvarez-Fitz, P. (2016). Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de Guerrero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39: 207-214.
- Maldonado-Celis, M.E., Yahia, E.M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B. y Guerrero Ospina, J.C. (2019). Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: nutritional and phytochemical compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi: 10.3389/fpls.2019.01073.
- Marçal, S. y Pintado, M. (2021). Mango peels as food ingredient / additive: nutritional value, processing, safety and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 114: 472-489. doi: 10.1016/j.tifs.2021.06.012.
- Marchão, R.S., Copatti, C.E., Oliveira, E.P. De., Rocha, A.S., Souza, A.M De., Rocha, D.R Da., Camargo, A.C.S. y Melo, J.F.B. (2024). Effects of the replacement corn meal by whole mango meal on tambaqui (*Colossoma macropomum*) diet: Digestibility, growth performance, biochemical, and hematological responses. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 96(3). doi: 10.1590/0001-3765202420230662.
- Marchesi, J.R. y Ravel, J. (2015). The vocabulary of microbiome research: a proposal. *Microbiome*, 3(1). doi: 10.1186/s40168-015-0094-5.
- Marić, M., Grassino, A.N., Zhu, Z., Barba, F.J., Brnčić, M. y Rimac Brnčić, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-

- products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science and Technology*, 76: 28-37.
- Mata, M.T., Luza, M.F. y Riquelme, C.E. (2017). Production of diatom-bacteria biofilm isolated from *Seriola lalandi* cultures for aquaculture application. *Aquaculture Research*, 48(8): 4308-4320. doi: 10.1111/are.13253.
- McLean, E., Barrows, F.T., Craig, S.R., Alfrey, K. y Tran, L. (2020). Complete replacement of fishmeal by soybean and poultry meals in Pacific whiteleg shrimp feeds: growth and tolerance to EMS/AHPND and WSSV challenge. *Aquaculture*, 527. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735383.
- McMurdie, P.J. y Holmes, S. (2013). phyloseq: An R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PLoS ONE*, 8(4): e61217. doi: 10.1371/journal.pone.0061217.
- Melo, J.F.B., Seabra, A.G.L., Souza, S.A., Souza, R.C. y Figueiredo, R.A.C.R. (2012). Substituição do farelo de milho pela farinha de manga no desempenho da tilápia-do-nylo. [Replacement of corn meal by mango in the dietary performance of fingerlings of Nile-tilapia]. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64: 177–182.
- Meurer, F. y Hayashi, C. (2003). Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de peixes - revisão. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 6(2). Disponible en: <https://www.revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/805> [consulta: 1 de septiembre de 2024].
- Ni, J., Yan, Q., Yu, Y. y Zhang, T. (2014). Factors influencing the grass carp gut microbiome and its effect on metabolism. *FEMS Microbiology Ecology*, 87(3): 704-714. doi: 10.1111/1574-6941.12256.
- Novriadi, R. (2016). Vibriosis in aquaculture. *Omni-Akuatika*, 12(1). doi: 10.20884/1.oa.2016.12.1.24.
- Obasa, S.O., Alatise, S.P., Omoniyi, I.T., Alegbeleye, W.O. y George, F.A. (2013). Evaluation of fermented mango (*Mangifera indica*) seed meal in the practical diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Croatian Journal of Fisheries*, 71(3): 116-123. doi: 10.14798/71.3.660.
- Ojha, P., Raut, S., Subedi, U. y Upadhaya, N. (2019). Study of nutritional, phytochemicals and functional properties of mango kernel powder. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 11(0): 32-38. doi: 10.3126/jfstn.v11i0.29708.
- Oliver-Simancas, R., Labrador-Fernández, L., Díaz-Maroto, M.C., Pérez-Coello, M.S. y Alañón, M.E. (2021). Comprehensive research on mango by-products applications in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 118: 179-188. doi: 10.1016/J.TIFS.2021.09.024.
- Omoriege, E. (2001). Utilization and nutrient digestibility of mango seeds and palm kernel meal by juvenile *Labeo senegalensis* (Antheriniformes: Cyprinidae). *Aquaculture Research*, 32(9): 681-687. doi: 10.1046/j.1365-2109.2001.00575.x.
- Omoriege, E., Ufodike, B.B.B. y Umaru, M.S. (1991). Growth and feed utilization of *Oreochromis niloticus* fingerlings fed with diets containing cassava peelings and mango seeds. *Aquabyte*, 4(2): 6-7.
- Pacheco-Jiménez, A.A., Lizardi-Mendoza, J., Heredia, J.B., Gutiérrez-Grijalva, E.P., Quintana-Obregón, E.A. y Muy-Rangel, M.D. (2024). Physicochemical characterization of pectin and mango peel (*Mangifera indica* L.) from Mexican cultivars. *Heliyon*, 10(15): e35184. doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E35184.
- Patiño-Rodríguez, O., Bello-Pérez, L.A., Agama-Acevedo, E. y Pacheco-Vargas, G. (2020). Pulp and peel of unripe stenopermocarpic mango (*Mangifera indica* L. cv Ataulfo) as an alternative source

- of starch, polyphenols and dietary fibre. *Food Research International*, 138: 109719. doi: 10.1016/J.FOODRES.2020.109719.
- Pereira, R., Velasco, C., Gómez-García, R., Dias, J., Pintado, M. y Valente, L.M.P. (2024). Unravelling the effects of extrusion and drying temperatures on the radical scavenging capacity of aquafeeds supplemented with mango and pineapple by-products. *Animal Feed Science and Technology*. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116061.
- Qiao, F., Liu, Y. K., Sun, Y. H., Wang, X. D., Chen, K., Li, T. Y., Li, E. C., y Zhang, M. L. (2017). Influence of different dietary carbohydrate sources on the growth and intestinal microbiota of *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Aquaculture Nutrition*, 23(3): 444-452. doi: 10.1111/anu.12412
- Qiu, X., Nguyen, L., y Davis, D. A. (2018). Apparent digestibility of animal, plant and microbial ingredients for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 24(3): 930-939. doi: 10.1111/anu.12629
- Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., Peplies, J., y Glöckner, F. O. (2013). The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Research*, 41(Database issue), D590-6. doi: 10.1093/nar/gks1219
- Quintana-Obregón, E., San Martín-Hernández, C., Muy-Rangel, M., y Vargas-Ortiz, M. (2019). Valoración de polvos de cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) como una alternativa para la generación de alimentos funcionales. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22. doi: 10.22201/fesz.23958723e.2019.0.178
- Rattanavichai, W., Cheng, W., y Chang, C. C. (2017). Simplified processing method of banana (*Musa acuminata*) peels possess the improvement in immunological responses of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Research*, 48(10): 5202-5213. doi: 10.1111/are.13332
- Ringø, E., Harikrishnan, R., Soltani, M., y Ghosh, K. (2022). The effect of gut microbiota and probiotics on metabolism in fish and shrimp. *Animals*, 12.
- Ringø, E., Zhou, Z., Vecino, J. L. G., Wadsworth, S., Romero, J., Krogdahl, Å., Olsen, R. E., Dimitroglou, A., Foey, A., Davies, S., Owen, M., Lauzon, H. L., Martinsen, L. L., De Schryver, P., Bossier, P., Sperstad, S., y Merrifield, D. L. (2016). Effect of dietary components on the gut microbiota of aquatic animals. A never-ending story? *Aquaculture Nutrition*, 22(2): 219–282. doi: 10.1111/anu.12346
- Rivas-Robles, E., Posada-Toledo, A., Vela-Gutiérrez, G., y Vargas-Ortiz, M. A. (2020). Evaluación fisicoquímica y determinación sensorial de frutos descartados de *Mangifera indica* L. variedad Ataulfo en Acapetahua, Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(1). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81363356004>
- Rodicio, M. R., y Mendoza, M. C. (2004). Identificación bacteriana mediante secuenciación del ARNr 16S: fundamento, metodología y aplicaciones en microbiología clínica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 22(4): 238-245. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-articulo-identificacion-bacteriana-mediante-secuenciacion-del-13059055>
- Roe, J. H., Bailey, J. M., Gray, R. R., y Robinson, J. N. (1961). Complete removal of glycogen from tissues by extraction with cold trichloroacetic acid solution. *Journal of Biological Chemistry*, 236(5): 1244-1246. doi: 10.1016/S0021-9258(18)64157-2
- SADER. (2020). El rey de las frutas tropicales: Mango. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-rey-de-las-frutas-tropicales-mango>. [consulta: 12 septiembre 2024]

- SAGARPA. (2017). Mango mexicano planeación agrícola nacional 2017-2030. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf>. [consulta: 5 de septiembre de 2024]
- Sahu, S., Das, B. K., Pradhan, J., Mohapatra, B. C., Mishra, B. K., y Sarangi, N. (2007). Effect of *Magnifera indica* kernel as a feed additive on immunity and resistance to *Aeromonas hydrophila* in *Labeo rohita* fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*, 23(1): 109-118. doi: 10.1016/j.fsi.2006.09.009
- Sándor, Z. J., Banjac, V., Vidosavljević, S., Káldy, J., Egessa, R., Lengyel-Kónya, É., Tömösközi-Farkas, R., Zalán, Z., Adányi, N., Libisch, B., y Biró, J. (2022). Apparent digestibility coefficients of black soldier fly (*Hermetia illucens*), yellow mealworm (*Tenebrio molitor*), and blue bottle fly (*Calliphora vicina*) insects for juvenile African catfish hybrids (*Clarias gariepinus* × *Heterobranchus longifilis*). *Aquaculture Nutrition*, 2022. doi: 10.1155/2022/4717014
- Schleder, D. D., Blank, M., Peruch, L. G. B., Poli, M. A., Gonçalves, P., Rosa, K. V., Fracalossi, D. M., Vieira, F. do N., Andreatta, E. R., y Hayashi, L. (2020). Impact of combinations of brown seaweeds on shrimp gut microbiota and response to thermal shock and white spot disease. *Aquaculture*, 519, 734779. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734779
- Shah, K., Patel, M., Patel, R., y Parmar, P. (2010). *Mangifera Indica* (Mango). *Pharmacognosy Reviews*, 4(7): 42-48. doi: 10.4103/0973-7847.65325.
- Shapira, M. (2016). Gut microbiotas and host evolution: scaling up symbiosis. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(7): 539-549. doi: 10.1016/j.tree.2016.03.006
- Sharifah, E. N., y Eguchi, M. (2011). The phytoplankton *Nannochloropsis oculata* enhances the ability of *Roseobacter* clade bacteria to inhibit the growth of fish pathogen *Vibrio anguillarum*. *PLoS ONE*, 6(10): e26756. doi: 10.1371/journal.pone.0026756
- SIAP. (2024). Avance de siembras y cosechas, resumen nacional por estado. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/AvanceNacionalCultivo.do>. [consulta: 12 septiembre 2024]
- Silva, A., Melo, B., Souza, M., Melo, T., Pereira, G., Copatti, C. E., Silva, C., y Tavares, B. (2022). Different concentrations of protein and fresh mango as a carbohydrate source in the tambaqui diet (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture & Fisheries*, 6(1): 1-9. doi: 10.24966/AAF-5523/100045
- Silva, C. M., Evangelista-Barreto, N. S., Vieira, R. H. S. dos F., Mendonça, K. V., y Sousa, O. V. de. (2014). Population dynamics and antimicrobial susceptibility of *Aeromonas* spp. along a salinity gradient in an urban estuary in Northeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 89(1-2): 96-101. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.10.012
- Simões, N., Jones, D. A., Soto-Rodríguez, S. P., Roque, A. M., y Gómez-Gil, B. (2002). Las bacterias en el inicio de la alimentación exógena en larvas de camarones peneidos: efectos de la calidad del agua, tasas de ingestión y rutas de colonización del tracto digestivo. In: Cruz-Suárez, L. E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simões, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
- Sokal, R. R., y Rohlf, F. J. (1986). *Introducción a la bioestadística*. Reverté. ISBN: 9788429118629.
- Souza, A. M., Melo, J. F. B., Moreira, E. M. S., y Souza, E. M. (2015). The effect of mango waste meal in the protein: carbohydrate ratio on performance and body composition of pacamã fish (*Lophiosilurus alexandri*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67(2): 527-534. doi: 10.1590/1678-7170.

- Souza, A. M. de, Campeche, D. F. B., Moraes, G., Melo, F. V. S. T. de, Neto, M. A. da C., y Melo, J. F. B. (2018). Substituição do farelo de milho por farinha de manga em dietas para tambaqui (*Colossoma macropomum*) juvenil: crescimento e parâmetros metabólicos. *Boletim do Instituto de Pesca*, 44(3): 341-353. doi: 10.20950/1678-2305.2018.248.
- Souza, S. A. de, Souza Souza, A. M. de, Souza Souza, R. C. de, Melo, J. F. B., y Vidal, L. V. O. (2021). Mango pulp meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): digestibility, growth performance, biochemical analysis, digestive enzyme activity, hematological variables. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 21: 1-21. doi: 10.1590/S1519-99402121402020.
- Souza, R. C., Melo, J. F. B., Filho, N., Campeche, D. F. B., y Figueiredo, E. (2013). Influencia da farinha de manga no crescimento e composição corporal da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Archivos de Zootecnia*, 62(238): 217-225. doi.org: 10.21071/az.v62i238.664.
- Stickney, R., y Gatlin, D. (2022). Understanding and maintaining water quality. En: *Aquaculture*. CABI, GB, pp. 122-163.
- Sumaya-Martínez, M. T., Sánchez Herrera, L. M., Torres García, G., y García Paredes, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30: 826-833. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14123097005>.
- Sumaya-Martínez, M. T., Medina-Carrillo, R. E., González-Ocegueda, E., Jiménez-Ruíz, E. I., Balois-Morales, R., Sánchez-Herrera, L. M., y López-Nahuatt, G. (2019). Subproductos del despulpado de mango (*Mangifera indica* L.): actividad antioxidante y compuestos bioactivos de tres cultivares de mango. *Revista BioCiencias*, 6. doi: 10.15741/revbio.06.e560.
- Tachon, S., Zhou, J., Keenan, M., Martin, R., y Marco, M. L. (2013). The intestinal microbiota in aged mice is modulated by dietary resistant starch and correlated with improvements in host responses. *FEMS Microbiology Ecology*, 83(2): 299-309. doi: 10.1111/j.1574-6941.2012.01475.x.
- Talcott, S. T., Moore, J. P., Lounds-Singleton, A. J., y Percival, S. S. (2005). Ripening associated phytochemical changes in mangos (*Mangifera indica*) following thermal quarantine and low-temperature storage. *Journal of Food Science*, 70(5). doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09963.x.
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., y Thomsen, M. (2020). Towards transparent valorization of food surplus, waste and loss: Clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. *Science of The Total Environment*, 706, 136033. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.136033.
- Terrazas-Fierro, M., Civera, R., Ibarra, L., y Goytortúa, E. (2010a). Coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca, proteína y aminoácidos esenciales de ingredientes terrestres para el camarón del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 1561-1576.
- Terrazas-Fierro, M., Civera-Cerecedo, R., Ibarra-Martínez, L., Goytortúa-Bores, E., Herrera-Andrade, M., y Reyes-Becerra, A. (2010b). Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 308(3-4): 166-173. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.08.021.
- Torrecillas, S., Makol, A., Benítez-Santana, T., Caballero, M. J., Montero, D., Sweetman, J., y Izquierdo, M. (2011). Reduced gut bacterial translocation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed mannan oligosaccharides (MOS). *Fish & Shellfish Immunology*, 30(2): 674-681. doi: 10.1016/j.fsi.2010.12.020.

- Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O. B., y Aguilar, C. N. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *LWT*, 97: 624-631. doi: 10.1016/J.LWT.2018.07.057.
- Toyes-Vargas, E., Calderón-de la Barca, A. M., Duran-Encinas, Y., Palacios, E., y Civera-Cerecedo, R. (2017). Marine co-product meals as a substitute of fishmeal in diets for white shrimp *Litopenaeus vannamei* improve growth, feed intake and muscle HUFA composition. *Aquaculture Research*, 48(7): 3782-3800. doi: 10.1111/are.13205.
- Truong, H., Blyth, D., Habilay, N., Bourne, N., Wade, N., Hines, B., Rombenso, A., y Simon, C. (2022). Faecal collection methods result in different estimates of nutrient apparent digestibility in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 551, 737957. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.737957.
- Tzuc, J. T., Escalante, D. R., Rojas Herrera, R., Gaxiola Cortés, G., y Ortiz, M. L. A. (2014). Microbiota from *Litopenaeus vannamei*: digestive tract microbial community of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *SpringerPlus*, 3(1), 280. doi: 10.1186/2193-1801-3-280.
- Vilariño, M. V., Franco, C., y Quarrington, C. (2017). Food loss and waste reduction as an integral part of a circular economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5. doi: 10.3389/fenvs.2017.00021.
- Villanueva Rodríguez, S. J., Larios Medrano, I., De Jesús Karina Campos Serrano, M. J., y Padilla Sahagún, M. C. (2016). Introducción a la tecnología del mango. 1ª ed. Disponible en: <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/388>. [consulta: 2 de septiembre de 2024].
- Wang, Y. B. (2007). Effect of probiotics on growth performance and digestive enzyme activity of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 269(1-4): 259-264. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.035.
- Wanvimonsuk, S., y Somboonwiwat, K. (2023). Peroxiredoxin-4 supplementation modulates the immune response, shapes the intestinal microbiome, and enhances AHPND resistance in *Penaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 139. 108915. doi: 10.1016/J.FSI.2023.108915.
- Woese, C. R., Stackebrandt, E., Macke, T. J., y Fox, G. E. (1985). A phylogenetic definition of the major eubacterial taxa. *Systematic and Applied Microbiology*, 6(2): 143-151. doi: 10.1016/S0723-2020(85)80047-3.
- Xu, J., Bjursell, M. K., Himrod, J., Deng, S., Carmichael, L. K., Chiang, H. C., Hooper, L. V., y Gordon, J. I. (2003). A genomic view of the human-*Bacteroides thetaiotaomicron* symbiosis. *Science*, 299(5615): 2074-2076. doi: 10.1126/science.1080029.
- Yang, Q., Zhou, X., Zhou, Q., Tan, B., Chi, S., y Dong, X. (2009). Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. *Aquaculture Research*, 41(1): 78-86. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02307.x.
- Zhang, M., Sun, Y., Chen, K., Yu, N., Zhou, Z., Chen, L., Du, Z., y Li, E. (2014). Characterization of the intestinal microbiota in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with different lipid sources. *Aquaculture*, 434: 449-455. doi: 10.1016/J.AQUACULTURE.2014.09.008.
- Zhang, M., Sun, Y., Liu, Y., Qiao, F., Chen, L., Liu, W. T., Du, Z., y Li, E. (2016). Response of gut microbiota to salinity change in two euryhaline aquatic animals with reverse salinity preference. *Aquaculture*, 454: 72-80. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.12.014.
- Zhang, Q., Dhir, A., y Kaur, P. (2022). Circular economy and the food sector: A systematic literature review. *Sustainable Production and Consumption*, 32: 655-668. doi: 10.1016/J.SPC.2022.05.010.
- Zhang, R., Shi, X., Liu, J., Jiang, Y., Wu, Y., Xu, Y., y Yang, C. (2022). The effects of bamboo leaf flavonoids on growth performance, immunity, antioxidant status, and intestinal microflora of

Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*). *Animal Feed Science and Technology*, 288. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2022.115297.

Zhou, Z., Wen, M., Xiang, L., Shen, H., Jiang, G., Cheng, J., Hu, Y., y Qian, J. (2024). Segmental variations in intestinal microbiota composition and functional capacity along the digestive tract of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 34, 101922. doi: 10.1016/j.aqrep.2024.101922.