

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Guía práctica para la elaboración de alimento experimental para camarones
desafiados en aguas claras

VIDA-373

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Acuicultura

Presentado por:

Kenny Mauricio Rivas Brito

Tutor:

Dr. Jorge Cuéllar-Anjel

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres Carlos y Margarita, mis hermanos Carlos y Nayelhi y a las mascotas de la casa, ya que todos ellos formaron parte del trayecto hasta este momento.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a mis compañeros Joan, Kenneth, Juan, entre otros, que formaron parte de mi trayecto en la carrera, también, a los profesores que contribuyeron a mi formación profesional.

De igual manera, agradezco a los profesores Jerry Landivar y Sonnia Guartatanga por permitirme el acceso al laboratorio para el desarrollo del proyecto.

Declaración Expresa

Yo, **KENNY MAURICIO RIVAS BRITO**, acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, **9 de octubre del 2024.**

Autor

Kenny Mauricio Rivas Brito

Evaluadores

Dr. Wilfrido Ernesto Arguello Guevara

Profesor de Materia

Dr. Jorge Cuéllar-Anjel

Tutor de proyecto

Resumen

La acuicultura de camarón es una industria clave en la seguridad alimentaria y economía global, donde la formulación de dietas balanceadas es crucial para optimizar costos y mejorar el rendimiento productivo. Sin embargo, la ausencia de protocolos estandarizados para la preparación de dietas experimentales en bioensayos dificulta la evaluación eficiente de aditivos y micronutrientes a pequeña escala. Este estudio tiene como objetivo diseñar una guía práctica para la elaboración de alimentos con aditivos experimentales de precisión para camarones en aguas claras. Se desarrollaron tres técnicas para la fabricación de dietas experimentales en laboratorio, considerando variaciones en el uso de aglutinantes y el proceso de peletización. Se evaluaron parámetros como la estabilidad en agua y el contenido de humedad, aplicando pruebas de Kruskal Wallis y Tukey. Los resultados mostraron que el proceso sin aglutinante y con aglutinante extra-pellet lograron una mayor estabilidad en agua, mientras que el contenido de humedad no presentó diferencias significativas entre tratamientos. El proceso sin aglutinante fue la más eficiente en términos de costo y funcionalidad. Se concluye que la dieta preparada a base de alimento núcleo -en polvo- sin aglutinante, fue la que presentó mejor hidroestabilidad y menores costos de producción.

Palabras Clave: acuicultura, dietas experimentales, bioensayos, hidroestabilidad

Abstract

Shrimp aquaculture requires balanced diets to optimize costs and improve productivity. However, the lack of standardized protocols in bioassays complicates the efficient evaluation of additives. This study aims to design a practical guide for preparing experimental shrimp feed with precision additives in clear-water conditions. Three feed manufacturing techniques were developed, varying the use of binders and the pelleting process. Water stability and moisture content were evaluated using statistical analysis. Results indicated that diets without binders and those with extra-pellet binders were more stable in water, with no significant differences in moisture content. The diet without binders proved to be the most cost-effective and functional. It is concluded that the diet prepared with a feed powder mix without agglutinant showed the best hydrostability and had the lower production costs.

Keywords: *aquaculture, experimental diets, bioassays, feed formulation.*

Índice del contenido

Resumen	6
Abstract	7
Índice general	8
Índice de tablas	9
Índice de figuras	10
Capítulo I	11
1. Introducción.....	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Descripción del problema	13
1.3. Justificación	14
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. Marco teórico.....	16
Capítulo II.....	20
2. Metodología.....	21
2.1. Procesos involucrados en el peletizado.....	23
2.2. Descripción del proceso de peletizado	23
2.3. Pruebas de funcionalidad	31
2.3.1 Prueba de hidroestabilidad	31
2.3.2 Prueba de humedad	32
Capítulo III	34
3. Características de los pellets.....	35
3.1. Características de los pellets	35
3.2. Análisis de resultados	35
3.2.1 Hidroestabilidad	36
3.2.2 Porcentaje de humedad	37
3.3. Inversión en equipos y materiales	39
Capítulo IV.....	41
4. Conclusiones	42
5. Recomendaciones	43
6. Bibliografía	44
7. Anexos	48

Índice de tablas

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de los camarones (Nesara & Paturi, 2018)	16
Tabla 2. Listado y concentración de los aditivos en cada dieta utilizada bajo el procedimiento # 2	25
Tabla 3. Listado y concentración de los aditivos en cada dieta utilizada bajo el procedimiento # 3	26
Tabla 4. Hidroestabilidad reportada en promedio (\pm desviación estándar) de las tres pruebas de cada dieta que conforman las técnicas	36
Tabla 5. Porcentaje de humedad reportada en promedio (\pm desviación estándar) de las tres pruebas de cada dieta que conforman las técnicas	37
Tabla 6. Inventario de materiales, equipos y reactivos para elaboración de dietas experimentales bajo los procedimientos descritos en esta experimentación	39
Tabla 7. Comparación de insumos no compartidos utilizados para la elaboración de alimento experimental mediante tres procesos	40
Tabla 8. Consumo y costos energéticos en la elaboración de un lote (400 g) y un kilogramo de alimento experimental mediante cada proceso	39

Índice de figuras

Figura 1. Flujograma de los procesos de elaboración de dietas experimentales	23
Figura 2. Proceso de pesaje, medición del agua y homogeneización	24
Figura 3. Pulverización del alimento y pesaje de aditivos	25
Figura 4. Amasado de la mezcla y compactación en esferas	27
Figura 5. Proceso de molienda y peletización	27
Figura 6. Programación e ingreso de los pellets en el horno	28
Figura 7. Tamizaje, pesaje final y rotulación del producto	29
Figura 8. Pesaje, disolución del alginato (aglutinante), aplicación extra-pellet y secado del alimento con aglutinante	29
Figura 9. Separación de la muestra e inmersión en el agua para las prueba de hidroestabilidad	31
Figura 10. Registro de la evolución del alimento bajo el agua	31
Figura 11. Preparación de la muestra para el secado de 24 horas	32
Figura 12. Pesaje inicial y final de la muestra posterior al secado	32
Figura 13. Dimensiones de longitud y grosor del producto final	34
Figura 14. Diagrama de barras de la hidroestabilidad de los pellets fabricados bajo diferentes procedimientos	36
Figura 15. Diagrama de barras del porcentaje de humedad presente en los pellets fabricados bajo diferentes procedimientos	38
Figura 16. Flujograma resumen de los tres proceso de peletizado diseñados	43

Capítulo 1

1.1. Introducción

La acuicultura se define como la producción de diversas especies acuáticas como vegetales (macroalgas) y animales (moluscos, peces, crustáceos) con la intervención del humano en medios artificiales (FAO, 2004). De forma específica, la acuicultura de camarones ha emergido como un sector estratégico en la industria alimentaria global por su significativo impacto económico y comercial. De acuerdo con el informe “El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2024” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ecuador alcanzó los 10 100 millones de USD hasta el año 2022 en su exportación total de camarones, representando un incremento del 42% con respecto al año anterior. Además, la industria camaronera juega un papel fundamental en la seguridad alimentaria, que fue definida en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación de la FAO (1996) como “cuando toda persona en todo momento tiene acceso económico y físico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y preferencias en cuanto alimentos a fin de llevar una vida sana y activa”. Este desarrollo continuo ha impulsado la necesidad de optimizar cada aspecto de la producción, siendo la nutrición un elemento fundamental para garantizar el éxito y la sostenibilidad de la industria.

1.2. Antecedentes

En la actualidad, la producción de camarón depende principalmente del uso de alimentos balanceados, los cuales constituyen entre el 50-60% de los costos operativos totales (Sigüenza-Cordero & Domínguez, 2021) lo cual hace que la formulación de las dietas sea un factor determinante para la viabilidad económica del cultivo. De acuerdo con Salgado (1998), la formulación de dietas efectivas se ha fundamentado en el estudio de las necesidades nutricionales de las larvas, determinadas mediante el análisis químico tanto de su alimentación natural como de las dietas comerciales en condiciones controladas, procurando un balance

óptimo entre la rentabilidad económica, la salud de los organismos y la preservación del medio ambiente (Maldonado et al., 2024). Esta formulación es crucial por los desafíos nutricionales de los camarones debido a sus características fisiológicas, el desarrollo de dietas altamente estables en agua debido a su comportamiento bentónico y el requerimiento de niveles elevados de proteína (Cruz-Suárez, 2004 y Akiyama, 1991). Por ello, Mejía-López (2021) recalca que la hidroestabilidad de los pellets para camarones es clave para su efectividad y la salud de los organismos, dado que los camarones son alimentadores lentos, el alimento debe permanecer intacto en el agua el tiempo suficiente para su consumo, siendo que una baja hidroestabilidad provoca la desintegración de los pellets, liberando partículas que pueden contaminar el agua y favorecer el crecimiento de bacterias y algas.

Por ello, la formulación y el proceso de fabricación deben garantizar pellets resistentes al agua. Se recomienda que mantengan su integridad por al menos 2 a 3 horas, asegurando una ingesta eficiente y reduciendo la pérdida de nutrientes. No obstante, la nutrición no solo representa un pilar fundamental en las tasas de crecimiento y desarrollo, sino también en el fortalecimiento del sistema inmunológico y la capacidad de los organismos para resistir enfermedades (Molina & Villarreal, 2008). Al existir esta necesidad, surge la realización de bioensayos o pruebas que utilizan organismos vivos, como tejidos o individuos de una especie, o también agentes para evaluar la potencia o actividad de sustancias que puedan tener efectos fisiológicos (Vera-Aguilar, 2015). Sin embargo, dichas pruebas no se encuentran estandarizadas para el trabajo a nivel experimental debido a diversos factores técnicos que complican su elaboración y evaluación a pequeña escala como mantener la homogeneidad de los ingredientes, el control preciso de la temperatura durante el procesamiento (León-Tobaza, 2017) y para este caso, se suma el manejo de cantidades reducidas de aditivos y micronutrientes. Esta situación crea una brecha significativa entre la necesidad de realizar pruebas preliminares a nivel experimental y la

capacidad práctica para ejecutarlas de manera eficiente y reproducible a pequeña escala. Algunos de los factores

1.2. Descripción del Problema

Actualmente, existe una notable carencia de guías estandarizadas para la preparación de dietas experimentales para camarones en estudios nutricionales en sistemas de bioensayo (pruebas de aguas claras). Como consecuencia, tanto productores como investigadores se ven obligados a consultar la literatura de manera independiente y, por ende, a diseñar métodos bajo la modalidad "ensayo y error". Durante este proceso, hay pérdida de aditivos (algunos altamente costosos) y de alimento para camarones, como producto de desperdicios cuando se tienen resultados indeseados en el alimento experimental fabricado. Esta situación se vuelve especialmente crítica cuando se trabaja con compuestos orgánicos o aditivos novedosos, donde la ausencia de protocolos de evaluación a pequeña escala puede resultar en pérdidas significativas de recursos al realizar pruebas directamente a gran escala, sin conocer previamente su efectividad.

La falta de uniformidad en estos métodos dificulta la comparación de resultados entre diferentes estudios y también, puede dar lugar a inconsistencias significativas en la investigación y desarrollo de dietas para camarones. Esto obstaculiza el avance coherente y sistemático en el campo de la investigación con camarones, limitando potencialmente la eficacia y aplicabilidad de los hallazgos de investigación en la industria acuícola. La empresa con la cual se colabora en este trabajo es DINACUA S.A, bajo la gerencia del Ing. Luís Malavé.

1.3. Justificación del Problema

La preparación de una guía práctica para la elaboración de dietas experimentales para camarones es esencial para unificar criterios, metodologías y estandarización de resultados en la investigación acuícola. Esta herramienta proporcionará a productores e investigadores opciones

validadas para elaborar balanceados experimentales, asegurando la correcta incorporación y homogeneización de ingredientes intrapellet. Además, optimizará la inclusión de aditivos de precisión como enzimas, nanopartículas y micronutrientes. Este enfoque permitirá realizar evaluaciones preliminares con cantidades mínimas de ingredientes y aditivos, reduciendo significativamente los costos asociados a pruebas fallidas y permitiendo verificar la efectividad de nuevos componentes antes de escalar a producciones mayores. De cara a futuro, esta guía permitirá mejorar la ingestión por parte de los camarones, lo que permitirá una expresión más precisa de los resultados de crecimiento en estudios nutricionales. Esta estandarización no sólo elevará la calidad de la investigación, sino que también podría impulsar la productividad y sostenibilidad en la industria camaronera, facilitando avances significativos en la nutrición y en tratamientos vía alimento en estos crustáceos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar una guía práctica para la preparación en pequeña escala de alimentos con aditivos experimentales de precisión para camarones desafiados en aguas claras.

1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar múltiples técnicas para la preparación de dietas experimentales de camarones
- Estandarizar la incorporación de aditivos líquidos y en polvo en alimentos experimentales de precisión para camarones.

1.5. Marco teórico

Los camarones peneidos requieren una nutrición balanceada para alcanzar su máximo potencial en crecimiento y mantener un estado de salud óptimo que van variando acorde al grado de desarrollo que presenten, Nesara & Paturi (2018) destacan la composición de macronutrientes ideal del alimento balanceado en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Requerimiento nutricional de los camarones

Nutriente	Etapas de crecimiento	Requerimiento (%)
Proteína	Reproductores	38 – 40
	Juveniles	35 – 37
	Adultos	28 – 30
Carbohidratos	Todas las etapas	25 – 35
Lípidos	Todas las etapas	3 – 7

Fuente: (Nesara & Paturi, 2018)

El porcentaje restante es conformado por minerales, de los estos mismos autores mencionan que sus concentraciones no han sido completamente establecidas. Diversas investigaciones han confirmado que micronutrientes como el hierro (Fe), zinc (Zn), selenio (Se) y manganeso (Mn) se encuentran en bajas concentraciones en el medio marino (De Souza & Morrison, 2024). Figueiredo-Silva (2020) destaca que el zinc mejora la resistencia a enfermedades, mientras que Jiao et al. (2021) señala que el manganeso, como componente del Mn-SOD, mantiene funciones antioxidantes e inmunitarias. Sin embargo, Figueiredo-Silva (2020), Jiao et al. (2021) y Truong et al (2023) coinciden en que se requiere mayor investigación sobre la relación entre minerales y

enfermedades en camarones. Truong et al. (2023) enfatizan la importancia del calcio y magnesio en la osmorregulación y formación del exoesqueleto. El calcio, como carbonato de calcio, constituye aproximadamente el 30% del exoesqueleto, mientras que el magnesio contribuye a la adaptabilidad del camarón ante cambios ambientales. Los autores resaltan la necesidad de mantener un equilibrio entre ambos minerales para optimizar los procesos fisiológicos.

En cuanto al aspecto nutricional, Malcorps & Palmer (2019) señalan que la industria acuícola enfrenta desafíos con el suministro de harina de pescado, un ingrediente esencial cuyo precio ha aumentado significativamente debido a la sobreexplotación pesquera y la creciente demanda global. En relación a esto, Barba-Marino (2019) menciona que esta selección de ingredientes alternativos debe equilibrar cuidadosamente el aspecto económico con factores como la estacionalidad de la producción, la capacidad de almacenamiento y la vida útil de las materias primas, aspectos que pueden impactar significativamente en la viabilidad de su uso en investigación nutricional

Las materias primas utilizadas en la elaboración de alimentos balanceados para camarón presentan diferentes propiedades funcionales que afectan tanto su procesamiento como el producto final. Según Córdova-Murueta & García-Carreño (2002), ingredientes de origen vegetal como cereales y leguminosas poseen un alto contenido de almidón, los cuales pueden mejorar la estabilidad del pellet, mientras que materias primas ricas en proteínas como la harina de pescado influyen en la textura y densidad del alimento. Por lo tanto, es fundamental comprender cómo las características inherentes de cada ingrediente interactúan durante el proceso de fabricación para optimizar tanto la calidad nutricional como las propiedades físicas del alimento balanceado.

El proceso de peletización, que comienza con la selección y almacenamiento de los componentes del alimento, involucra una serie de etapas críticas, como detalla Moncada (s.f.), desde la dosificación precisa de los ingredientes, la molienda (proceso donde los ingredientes alcanzan un

tamaño de partícula uniforme, típicamente entre 250-400 micras), el mezclado (en ocasiones, la adición de aditivos o premezclas con un tiempo óptimo de 4-6 minutos), el acondicionamiento de la mezcla (integración del agua para formar una masa homogénea, manteniendo una temperatura de 80-85°C), la cocción (gelatinización de almidones que requiere temperaturas entre 85-90°C), el pelletizado o extrusión (formación de pellets por medio de un rodillo con orificios, bajo presiones de 30-40 bar), el secado y enfriamiento del producto (reducción de su humedad del 16-18% inicial hasta 10-12% y aumento en su estabilidad), zarandeo (remoción de finos, que no deben exceder el 1% del total), recubrimiento con aceite (protección de los nutrientes y mejora de la palatabilidad, aplicando 2-3% de aceite), hasta su empaquetamiento en sacos de polipropileno. Este proceso debe cumplir con estándares internacionales como la Norma ISO 22000 de seguridad alimentaria (AENOR, 2005) y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). No obstante dentro de este proceso, la insuficiente hidratación durante la peletización (cuando no se alcanza el óptimo de 10-12% de humedad) impide una gelatinización óptima del almidón, lo que resulta en pellets de menor estabilidad y mayor fragilidad como indica Devresse (2019). Las limitaciones en la hidratación durante este proceso afectan directamente la gelatinización del almidón y, por ende, la estabilidad del pellet, pudiendo reducir la durabilidad en agua hasta en un 40%. Para mitigar este problema, se pueden implementar sistemas de pre-acondicionamiento de doble eje o aumentar el tiempo de retención en el acondicionador a 90-120 segundos. El grado de gelatinización puede medirse mediante análisis de viscosidad rápida (RVA) o calorimetría diferencial de barrido (DSC), siendo óptimo un porcentaje superior al 75%.

A pesar de estas limitaciones, es necesario evaluar el impacto de estos alimentos en los camarones. Sin embargo, la eficacia de estas formulaciones no se limita al proceso productivo. Cruz-Suárez menciona que el desarrollo exitoso de dietas acuícolas depende fundamentalmente de la evaluación sistemática de múltiples factores relacionados entre sí que incluyen tanto las respuestas conductuales de los camarones hacia el alimento (incluyendo índices de consumo,

preferencias alimentarias medidas mediante pruebas de selectividad y respuestas quimiotácticas evaluadas en laberintos en Y), los parámetros de aprovechamiento nutricional (abarcando tasas de digestión medidas por métodos in vivo e in vitro, asimilación de nutrientes determinada por análisis proximal y características de los desechos producidos), las propiedades físicas del alimento como su integridad en agua (medida por pérdida de materia seca, que debe ser menor al 10% en 2 horas), capacidad de hidratación (evaluada mediante índices de absorción de agua) y características estructurales (modificables por la selección de materias primas, técnicas de procesamiento como extrusión o peletizado, y agentes ligantes como almidones modificados o hidrocoloides) tienen un papel crucial en su efectividad. Estudios de costo-beneficio indican que optimizar estas características puede mejorar la conversión alimenticia hasta en un 20%, justificando la inversión en tecnología y control de calidad.

Capítulo 2

2. Metodología

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Salud Animal de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, durante el período comprendido entre septiembre y diciembre de 2024. Se desarrollaron diversas dietas para bioensayos con base en tres técnicas. El número de dietas por cada técnica fue establecido por el tutor, siendo que la primera contó con siete, la segunda incluyó quince y la tercera completó dieciocho dietas. Por último, se realizaron pruebas de hidroestabilidad y humedad en cada dieta de las técnicas mencionadas, con la finalidad de validar la calidad y estabilidad de las dietas experimentales. Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Alimento núcleo
- Alimento balanceado FEEDPAC 22%
- Molino para alimento de camarón
- Vasos de precipitación de 1000 mL
- Probeta de 100 mL
- Agua destilada
- Tamizador
- Aditivos nutricionales para camarón
- Balanza gramera digital OHAUS
- Fundas con cierre hermético (Ziploc)
- Bandeja plástica
- Guantes de nitrilo
- Horno eléctrico Emeril Lagasse
- Balanza analítica
- Alginato (Aglutinante en polvo)



Aspectos considerados para el trabajo experimental

- Para determinar el porcentaje de agua aplicada en los diferentes alimentos, se implementó un método de adición gradual de agua destilada que permitió evaluar sistemáticamente la cantidad óptima de líquido para lograr la cohesión y consistencia adecuada de la mezcla de ingredientes antes de ser sometida a la molienda y peletizado.
- La dosificación de los aditivos fue basada en resultados anteriores del tutor, a escala de bioensayo por parte de los fabricantes de dichos aditivos.
- En ciertos aditivos, la temperatura de deshidratación fue establecida en 30°C debido a su termo-sensibilidad y en la mayoría de los casos fue a 50°C basados en la termorresistencia de los productos, lo cual redujo a la mitad su tiempo de secado.
- La cantidad de aglutinante añadido se estimó a partir de varias pruebas preliminares, teniendo en cuenta los resultados de la prueba de hidroestabilidad.

2.1. Procesos involucrados en el peletizado.

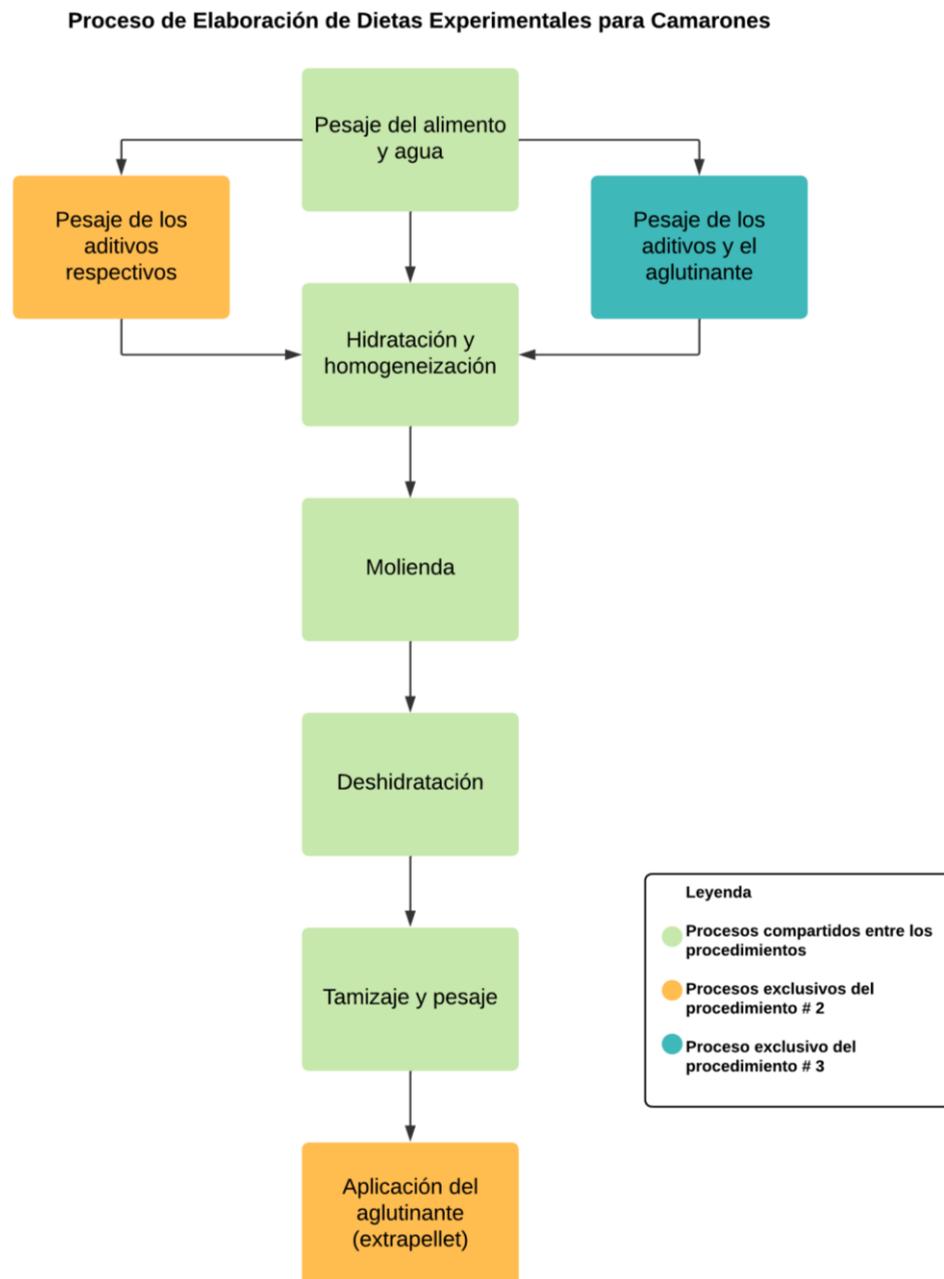


Figura 1. Flujograma de los procesos de elaboración de dietas experimentales.

Como mostró la Figura 1, los tres procedimientos compartieron la mayoría de las etapas, incluyendo el pesaje del alimento y agua, la hidratación y homogeneización, la molienda, la deshidratación, y el tamizaje con pesaje final. No obstante, hubo ciertos pasos específicos que difirieron según los requerimientos particulares de cada tratamiento. Por ejemplo, el segundo

procedimiento incluyó el pesaje adicional de aditivos y la aplicación del aglutinante como un proceso separado y el tercer proceso, el cual adicionó el aglutinante al pesaje de los aditivos

2.2. Descripción del proceso de peletizado

El proceso inició con el pesaje de 400 g del alimento en la balanza gramera OHAUS (Figura 2a). Para el primer procedimiento, se trabajó con el 40% del peso en seco del alimento en forma de agua destilada (Figura 2b). El proceso de homogeneización comenzó con la adición gradual del agua destilada a la mezcla, la cual se incorporó en pequeñas cantidades mientras se amasa constantemente (Figura 2c).

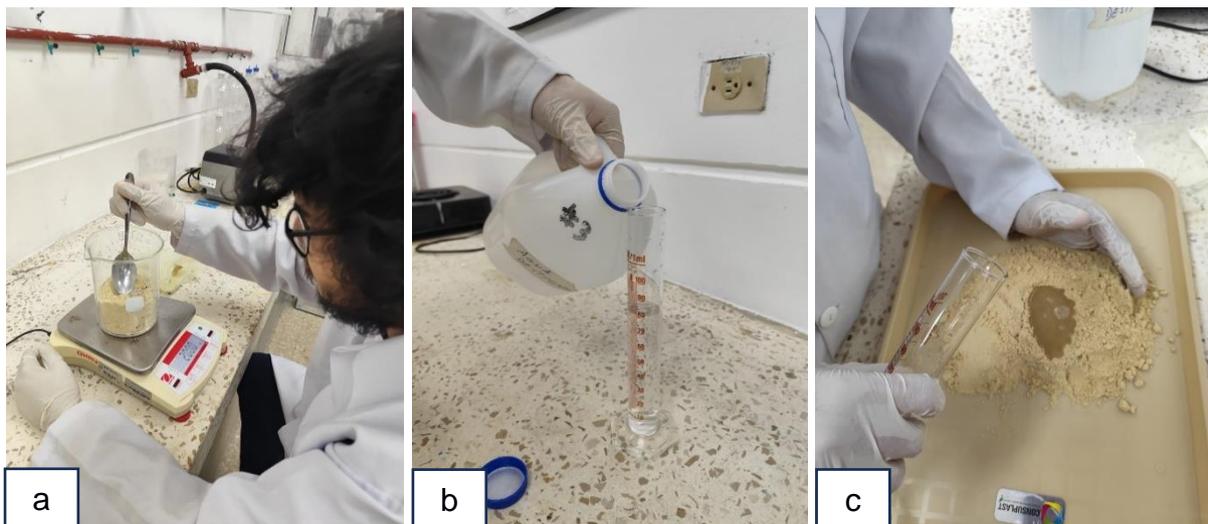


Figura 2-a. Pesaje en seco del alimento; b. Medición del agua destilada; c. Homogeneización del alimento.

Sin embargo, al utilizar otro tipo de alimento en diferente presentación en el segundo y tercer procedimiento, se tuvo que pulverizar para su uso (Figura 3a). También, se utilizó un 90% del peso en seco del alimento en agua destilada en ambos procedimientos. Por último, se pesó los aditivos respectivos para cada procedimiento (Figura 3b), la lista de aditivos y su peso se encuentran en la Tabla 2 y 3 respectivamente.



Figura 3-a. Pulverización del alimento; b. Pesaje de los aditivos.

Tabla 2.

Listado y concentración de los aditivos en cada dieta utilizada bajo el procedimiento # 2

Aditivos	Cantidad añadida (g/kg de alimento triturado)
Bacteriofagos	10
Bacteriovorus	10
Lisozima	0.5
Nano-Siligranada	0.054
Nano-granada	0.04
Nano-aurina	0.4
Nano-triptófano	0.05
Mix	*
Nano-ascorbato	0.02
Nano-lisina	0.22
Nano-arginina	0.04
Nano-metionina	0.07

Plasma	10
Nano-selenito	0.00012
Nano-glutamina	2

***MIX** = mezcla de nanometionina, nanoarginina, nanotriptófano, nanolisina, nanoglutamina, nanotaurina, siligranada y nanogranada en las mismas cantidades usadas de manera individual en los otros tratamientos.

*La nanoglutamina se presenta de forma líquida, por lo que su adición se dio en mL.

Tabla 3.

Listado y concentración de los aditivos en cada dieta utilizada bajo el procedimiento # 3.

Tratamiento	Aditivos	Cantidad añadida (g o mL/kg de alimento triturado)
TT01		1
TT02	Glutamina	2
TT03		4
TT04		1 / 0.00004 / 0.011 / 0.006
TT05	Glutamina / Nano-selenio /	2 / 0.00004 / 0.011 / 0.006
TT06	Nano-triptófano / Nano-granada	4 / 0.00004 / 0.011 / 0.006
TT07		2 / 0.00012 / 0.05 / 0.04
TT08	Lentejilla	300
TT09	Plasma	10
TT10	Proteína Purificada	10
TT11	Glutation	10
TT12	Lisozima	2
TT13	Bacteriófagos	10
TT14	Bacteriovorus	10
TT15		2
TT16	ECO-MOLT	4
TT17	ECO-BOOSTER	4
TT18	Control	-

Nota: en los tratamientos 4, 5, 6 y 7 se utilizaron los mismos 4 aditivos, pero cambió su concentración.

Posteriormente, la mezcla se realizó de forma manual durante 5 minutos para garantizar la homogeneidad de la integración y la correcta integración de todos los componentes (Figura 4a). Una vez alcanzada la consistencia adecuada, se procedió a formar esferas de 10 cm de diámetro aproximadamente con la masa, para facilitar su molienda (Figura 4b).



Figura 4-a. Amasado de la mezcla; b. Formación de las esferas compactadas.

Las esferas de masa homogénea se introdujeron cuidadosamente en la tolva del molino. A medida que el equipo se operó, la masa fue forzada a través de una matriz con orificios de tamaño específico (Figura 5a). Los pellets iban cayendo en una bandeja receptora colocada estratégicamente bajo la salida del molino (Figura 5b). El proceso continuó hasta que toda la masa fue procesada, resultando en una bandeja llena de pellets uniformes y recién formados, listos para la siguiente etapa del proceso: el secado.

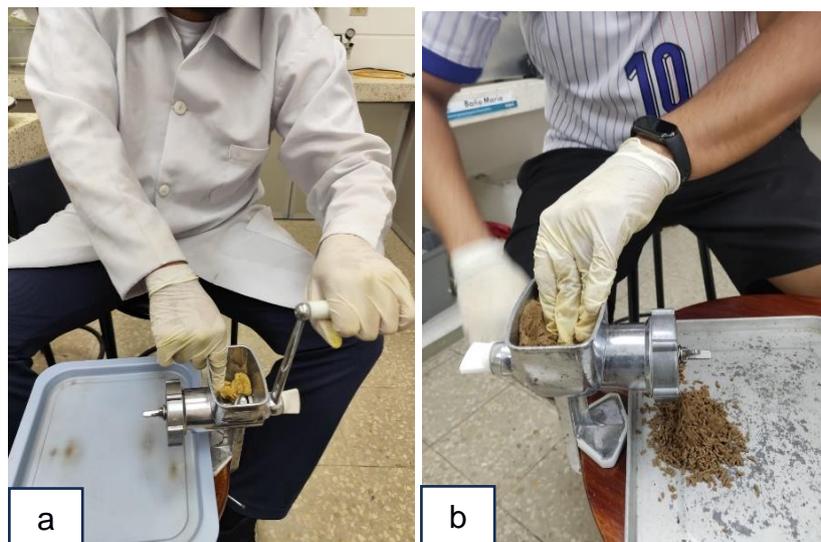
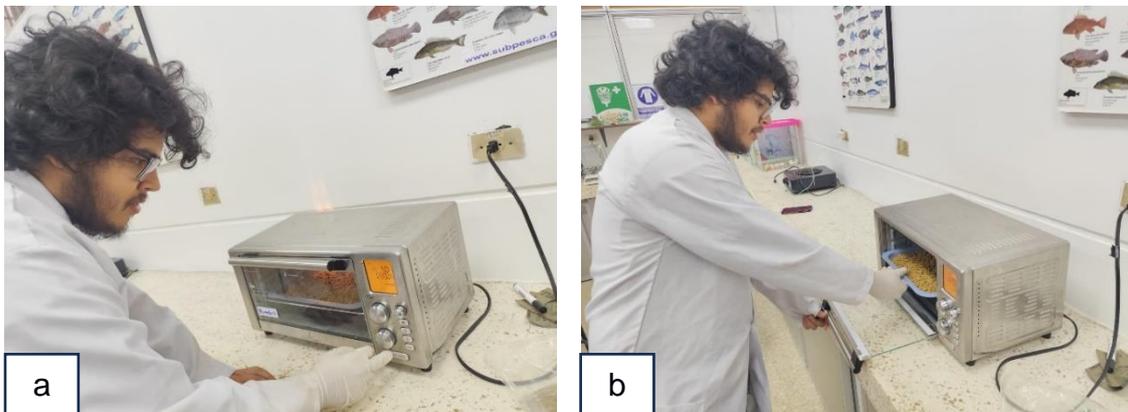


Figura 5-a: Proceso de molienda; b. Peletización de la masa.

Para el proceso de secado, se programó el horno a una temperatura constante de 50°C (Figura 6a). Los pellets recién formados se distribuyen uniformemente en bandejas y se introdujeron en el horno (Figura 6b). Para el primer procedimiento, el proceso de secado se mantuvo durante 3 horas, permitiendo reducir el contenido de humedad hasta el nivel deseado, asegurando así una humedad deseada. En el caso del segundo y tercer procedimiento, ya que tuvieron el uso de aditivos termosensibles, los aditivos secados a 30°C por 10 horas fueron; Bacteriófagos, *Bdellovibrio bacteriovorus*, Lisozima, Proteína purificada y Glutacion (el resto fue secado en 50°C a 6 horas).



Figuras 6a-b. 6a: Programación de la temperatura de secado; 6b: ingreso de los pellets al horno.

Posterior a la deshidratación, los pellets pasaron a través de la malla de tamizaje para garantizar la uniformidad del tamaño (Figura 7). Este proceso inevitablemente resultó en algunas pérdidas de material cercana al 25% del peso en seco original, debido a la formación de “finos” (alimento micropulverizado) durante la molienda, secado y manipulación. Finalmente, se pesó el producto final (Figura 7b) y se rotuló de acuerdo con la dieta respectiva (Figura 7c).

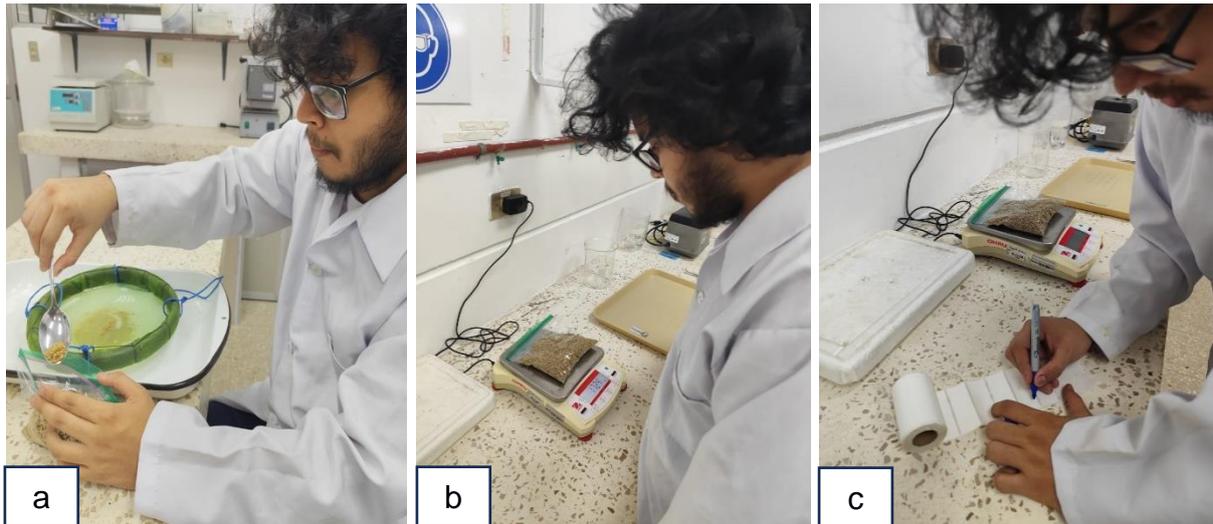


Figura 7-a. Tamizaje para la remoción de finos; b. Pesaje del producto final; c. Rotulación del producto

Como parte del segundo procedimiento, se preparó 1 g de aglutinante en 80 mL de agua destilada (Figura 8a), se mezcló y se dejó en reposo durante toda la noche (Figura 8b). Al día siguiente, se incorporó el aglutinante sin sumergir los pellets en él (Figura 8c). Finalmente, se dejó secar por otra noche los pellets con aglutinante (Figura 8d).

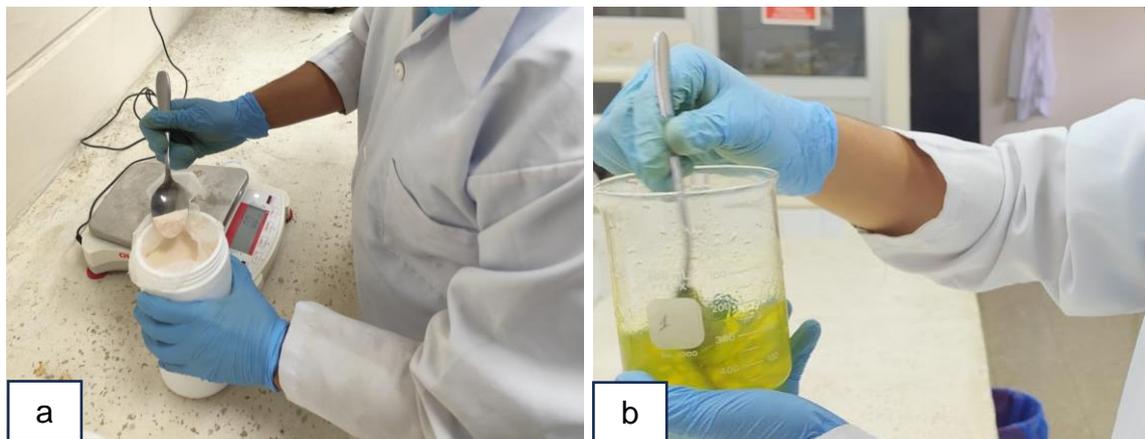


Figura 8-a. Pesaje del alginato; b. Disolución del aglutinante.

Nota: La primera relación utilizada fue 100 mL, pero al no obtener una consistencia adecuada, se rebajó gradualmente hasta los 80 mL de agua.

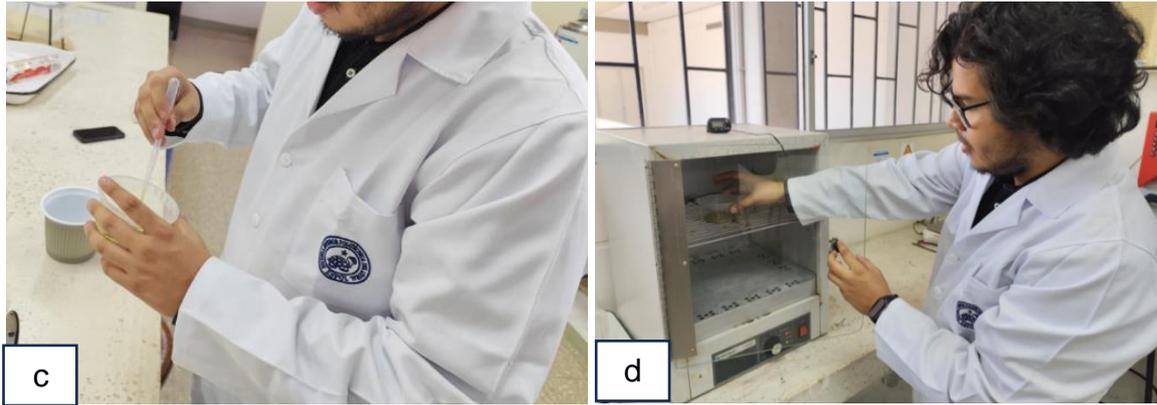


Figura 8-c. Aplicación del aglutinante en los pellets; d. Reposo del alimento con aglutinante

2.3. Pruebas de funcionalidad en los procedimientos

2.3.1. Pruebas de hidroestabilidad

Para la evaluación de la hidroestabilidad del producto, se utilizaron 100 mL de agua de mar por cada réplica, en cada dieta, se realizaron las pruebas por triplicado. Para esto, se utilizó 10 pellets de cada dieta elaborada para una observación precisa del comportamiento del alimento en el agua (Figura 9a). Durante cada prueba, el medio acuático mantuvo condiciones estáticas debido a que generalmente son utilizadas en los bioensayos (Figura 9b). Siguiendo lo mencionado por Bortone et al. (2017), se consideraron exitosas aquellas muestras que lograron mantener su integridad estructural por un mínimo de 2 horas de inmersión continua, estas pruebas fueron cronometradas y registradas cada 20 minutos hasta el tiempo mínimo establecido (Figura 10) y se dio por finalizada aquellas que tenían el 50% del alimento desintegrado.

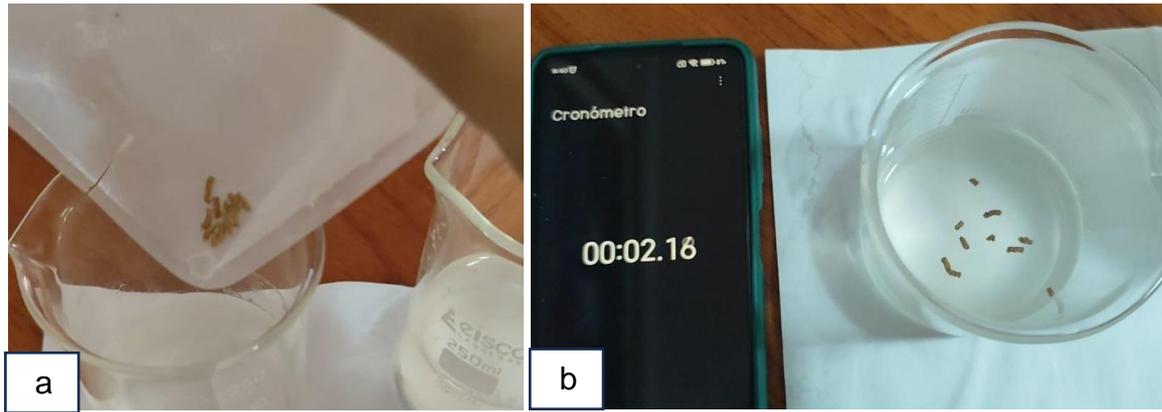


Figura 9-a. Separación de la muestra; b. Inicio de la inmersión del alimento.



Figura 10. Registro de la evolución del alimento en el agua hasta el tiempo establecido.

2.3.2. Pruebas de humedad

Se utilizó la desecación en una estufa BINDER ED-23 a 60°C (Figura 11a) durante 24 horas en una muestra de cada dieta elaborada (Figura 11b) como método para determinar el grado de humedad de cada dieta fabricada descrita por Masson (s.f.). Este valor se obtuvo como

resultado de la diferencia entre el peso inicial registrado en una balanza analítica KERN ALT 310-4M (Figura 12a) y su peso final luego de las 24 horas (Figura 12b).

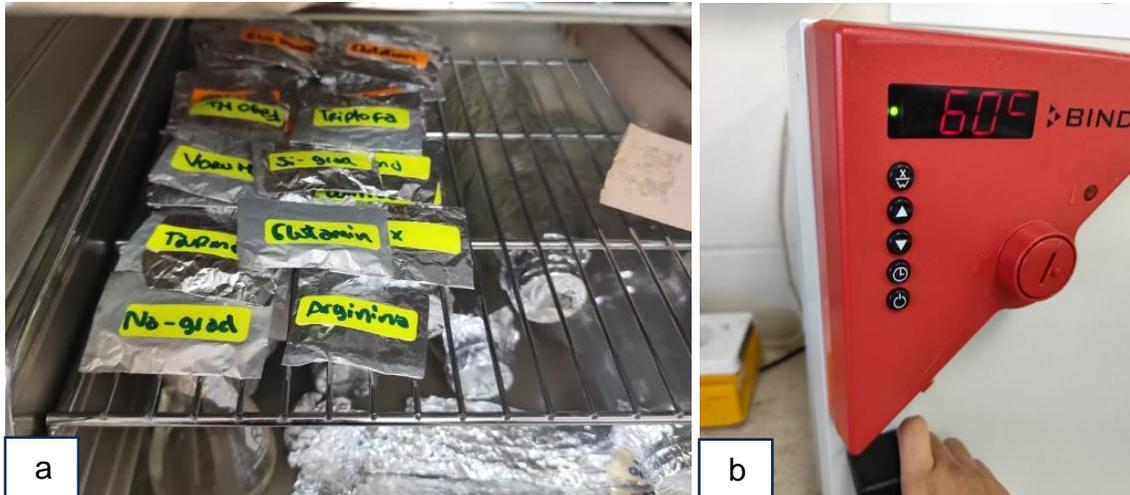


Figura 11-a. Preparación de las muestras para el secado; b. Configuración de la estufa.

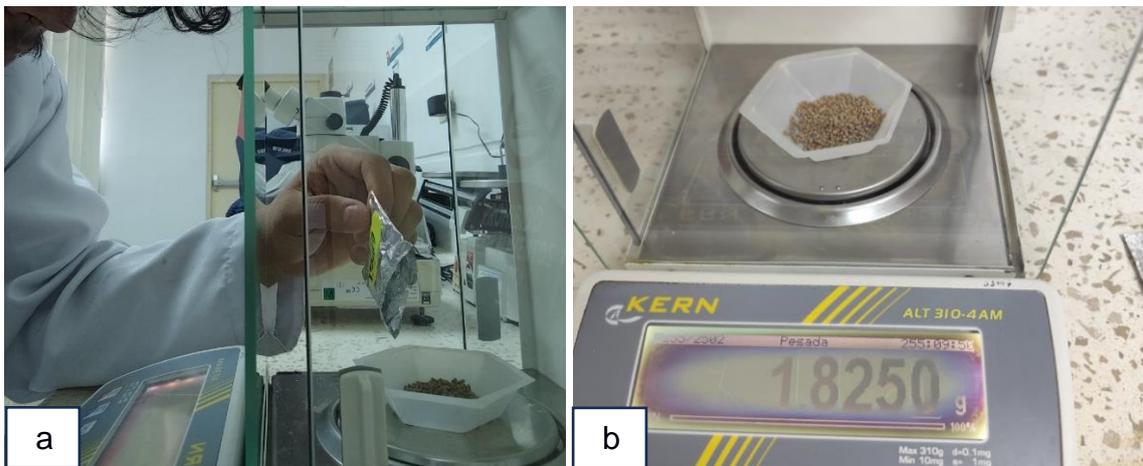


Figura 12-a. Registro del peso inicial; b. Registro de peso final de las muestras.

Capítulo 3

3. Resultados

3.1. Características del alimento

Al finalizar el proceso de elaboración bajo cada procedimiento, el alimento experimental presentó pellets uniformes con dimensiones estables, dichos pellets mostraron una longitud promedio de 8.0 ± 1.0 mm y un grosor de 1 ± 0.1 mm (Figura 13) manteniendo una forma cilíndrica.

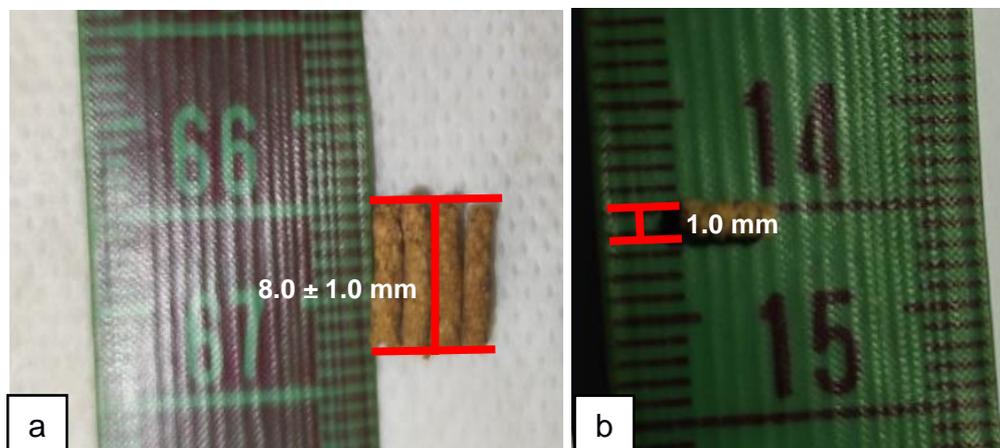


Figura 13-a. Longitud promedio de los pellets en cm; b. Grosor promedio de los pellets en cm.

3.2. Análisis de resultados

Se realizaron tres pruebas de hidroestabilidad en las dietas que conforman cada una de las técnicas evaluadas (T1 = alimento núcleo sin aglutinante, T2 = alimento pulverizado con aglutinante extra-pellet y T3V1 = alimento pulverizado con aglutinante con aglutinante intra-pellet), en el caso de la tercera, se evaluó con concentraciones diferente a la recomendada por el tutor (T3V2 = aglutinante al 3% y T3V3 = aglutinante al 5%) adicionada con tres réplicas para las pruebas de humedad. Todas las pruebas fueron realizadas durante el mes de noviembre y diciembre. En ambas variables, se comprobó únicamente la asunción de

normalidad mediante la prueba de Levene ya que las dos variables no obtuvieron resultados en la homogeneidad de varianzas. Por esta razón, se aplicó un análisis de varianza de una vía no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis) y la prueba honesta de Tukey, donde letras distintas indican diferencias significativas al 95% de confianza ($P < 0.05$). La versión del software para el análisis de datos fue RStudio en su versión 4.3.1.

3.2.1 Hidroestabilidad

El análisis de varianza no paramétrico de esta variable reveló diferencias significativas entre las técnicas empleadas ($P \leq 0.05$). La prueba post-hoc de Tukey demostró que T1 y T2 son estadísticamente más hidroestables en comparación con todas las variantes de T3, aunque no presentaron diferencias significativas entre sí ($P \leq 0.99$). Entre las variantes de T3, se observaron diferencias significativas con T3V3 ($P \leq 0.002$ con T3V1 y $P \leq 0.3111$ con T3V2). En resumen, T1, T2, T3V2 y T3V3 demostraron ser las opciones más efectivas, garantizando una estabilidad superior a 60 minutos. Los resultados de la hidroestabilidad se reflejan en la Tabla 4 y Figura 14.

Tabla 4.

Hidroestabilidad reportada en promedio (\pm desviación estándar) de las tres pruebas de cada dieta que conforman las técnicas.

Técnica empleada	Tiempo de hidroestabilidad (min)
T1	120.57 \pm 0.74 a
T2	120.38 \pm 0.63 a
T3-V1	26.30 \pm 22.99 c
T3-V2	41.50 \pm 1.17 bc
T3-V3	70.67 \pm 0.02 b

Nota: Para cada factor de la tabla, letras distintas indican diferencias significativas entre sus niveles a una confianza del 95% ($P < 0.05$).

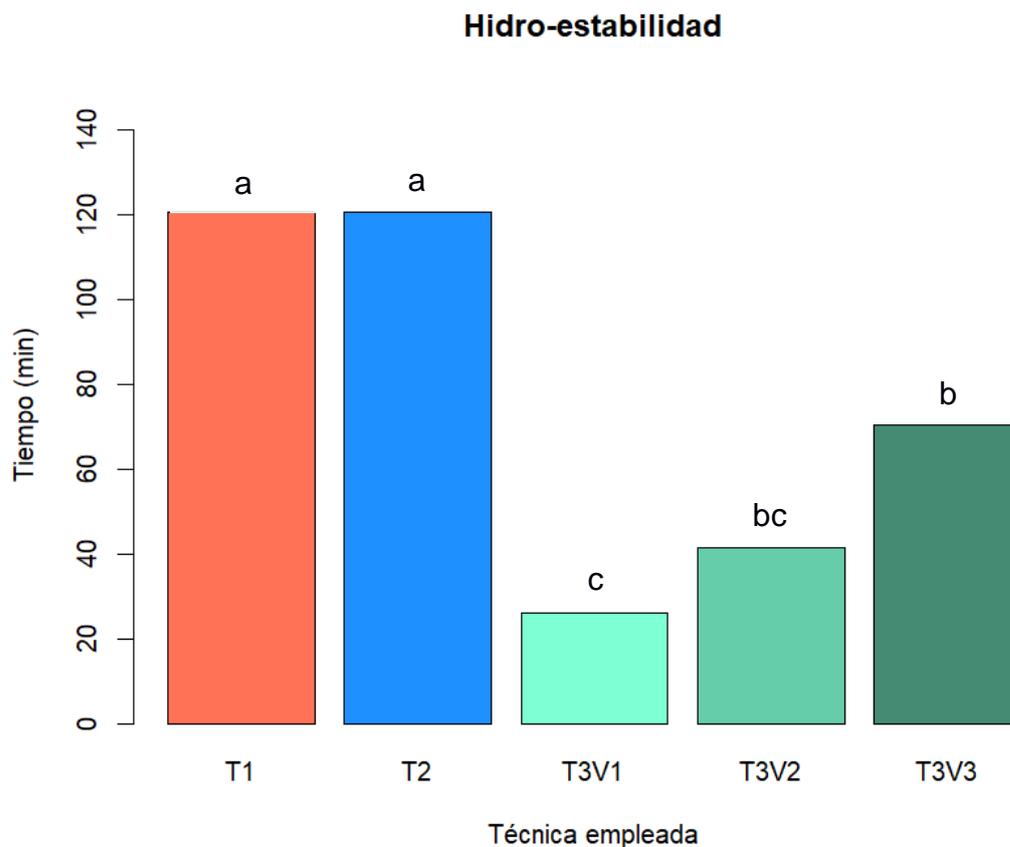


Figura 14. Diagrama de barras de la hidroestabilidad de los pellets fabricados bajo diferentes técnicas letras distintas indican diferencias significativas entre sus niveles

3.2.2. Contenido de humedad

El análisis de varianza no paramétrico reveló que no existen diferencias significativas en la humedad de las técnicas empleadas ($P = 0.08$) la cual fue corroborada por prueba post-hoc de Tukey. En resumen, las técnicas evaluadas no muestran un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de humedad, lo que sugiere que los métodos aplicados generan resultados similares en esta variable bajo las condiciones del estudio. Los resultados de la humedad se reflejan en la Tabla 5 y Figura 15.

Tabla 5.

Porcentaje de humedad reportada en promedio (\pm desviación estándar) de las tres pruebas de cada dieta que conforman las técnicas.

Técnica empleada	Porcentaje de humedad (%)
T1	10.07 \pm 0.20 ^{a}
T2	10.01 \pm 0.11 ^{a}
T3V1	9.85 \pm 0.73 ^{a}
T3V2	10.22 \pm 0.31 ^{a}
T3V3	10.10 \pm 0.13 ^{a}

Nota: Para cada factor de la tabla, letras distintas indican diferencias significativas entre sus niveles a una confianza del 95% ($P < 0.05$).

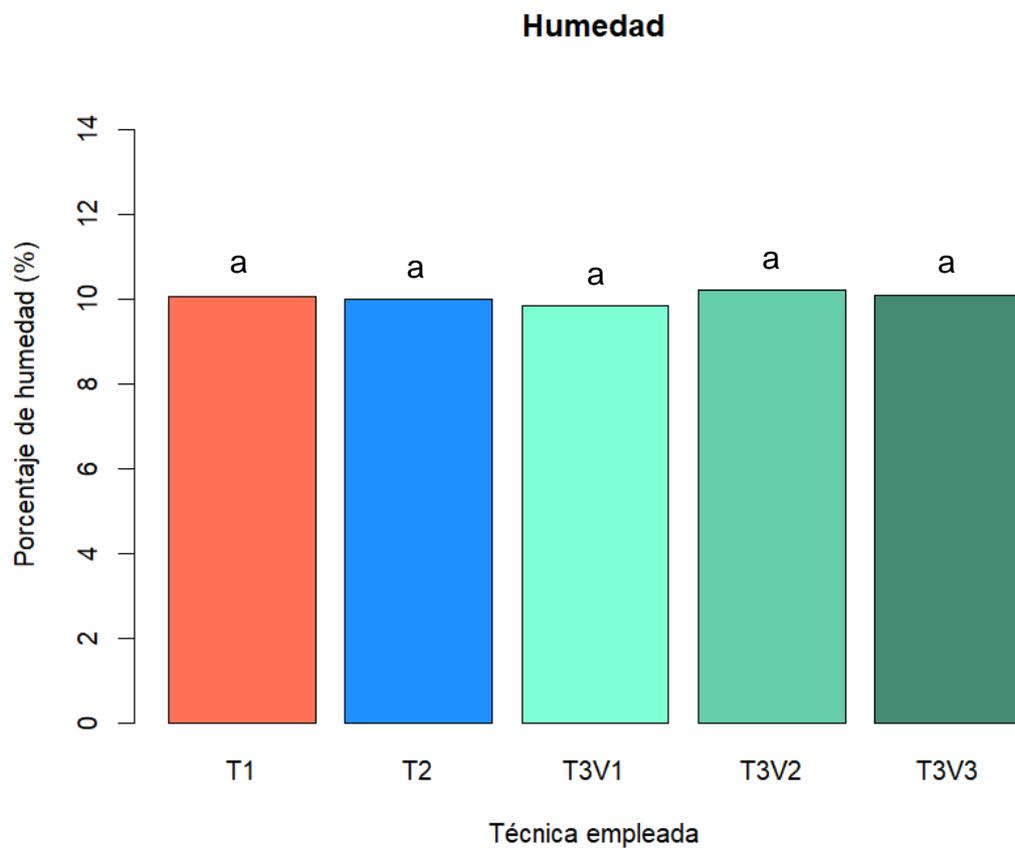


Figura 15. Diagrama de barras de la humedad de los pellets fabricados bajo diferentes técnicas letras distintas indican diferencias significativas entre sus niveles

3.3. Inversión en materiales y equipos

Tabla 6.

Inventario de materiales, equipos y reactivos para elaboración de dietas experimentales bajo los procedimientos descritos en esta experimentación

Insumo	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)	Procedencia
Materiales de laboratorio				
Tamizador artesanal	1	\$1.85	\$1.85	Tesista
Beaker de 1 litro	1	\$4.00	\$4.00	FIMCM
Probeta graduada de 100 mL	1	\$10.00	\$10.00	FIMCM
Agua destilada (1 gal)	7	\$2.00	\$14.00	Tesista
Charola roja	1	\$3.50	\$3.50	FIMCM
Caja de 50 guantes de nitrilo	1	\$5.00	\$5.00	FIMCM
Paquete de 25 fundas Ziploc	5	\$4.00	\$20.00	Tesista
Rollos de membretes (stickers)	1	\$2.00	\$2.00	Tesista
Marcador azul Sharpie	1	\$2.00	\$2.00	FIMCM
Paquete de 50 cucharas plásticas	1	\$0.50	\$0.50	Tesista
Equipos de laboratorio				
Balanza digital (OHAUS)	1	\$350.00	\$350.00	FIMCM
Balanza digital Century	1	\$12.00	\$12.00	Tutor de tesis
Molino pelletizador	1	\$30.00	\$30.00	Tutor de tesis
Horno deshidratador (Emeril Lagasse)	1	\$300.00	\$300.00	Tesista
Licadora (Black and Decker)	1	\$80.00	\$80.00	Tutor de tesis
Reactivos				
Aglutinante (Alginato) (Kg)	1	\$22.00	\$22.00	Tutor de tesis
Alimento núcleo (25 Kg)	1	\$60.00	\$60.00	Tutor de tesis
Saco alimento balanceado FEEDPACK 22% (25 Kg)	2	\$45.00	\$90.00	Tutor de tesis

Nota: Las cantidades de todos los insumos están estipuladas para la fabricación de 1 Kg de alimento experimental bajo cada proceso descrito. En esta caso, los aditivos y el alimento núcleo utilizados no tenían valor comercial, por lo que no fueron contados para la tabla, por lo que se usó un precio referencial para “alimento núcleo”.

Los materiales, equipos y reactivos enlistados en la Tabla 6 representan la inversión base necesaria para la elaboración de dietas experimentales bajo tres técnicas, estos fueron distribuidos entre los tres actores (la facultad FIMCM, el tesista y el tutor de tesis). A modo de resumen, el costo total de los materiales de laboratorio ascendió a \$62.85, los equipos de laboratorio (que constituyen la mayor inversión) sumaron \$772.00 y por último, los reactivos, requirieron una inversión de \$172.00, lo que dio una inversión total de \$1,006.85.

Tabla 7.

Comparación de insumos no compartidos utilizados para la elaboración de alimento experimental mediante tres procesos.

T1		T2		T3	
Insumo	Cantidad	Insumo	Cantidad	Insumo	Cantidad
Agua destilada (1 gal)	1 (\$2)	Agua destilada (1 gal)	3 (\$6)	Agua destilada (1 gal)	3 (\$6)
Alimento núcleo (25 Kg)	1 (\$60)	Alimento FEEDPACK (25 Kg)	1 (\$45)	Alimento FEEDPACK (25 Kg)	1 (\$45)
Fundas Ziploc (x25)	1 (\$4)	Alginato (1 Kg)	1 (\$22)	Alginato (1 Kg)	1 (\$22)
-	-	Fundas Ziploc (x25)	2 (\$8)	Fundas Ziploc (x25)	2 (\$8)
Subtotal	\$66	Subtotal	\$81	Subtotal	\$81

T1: Alimento núcleo sin aglutinante

T2: Alimento pulverizado con aglutinante extra-pellet

T3: Alimento pulverizado con aglutinante intra-pellet

Nota: Los subtotales calculados no tienen en cuenta los equipos y materiales de laboratorio ya que se comparten la mayoría de estas, en ese caso, se debe adicionar un valor aproximado de \$800.00.

Como muestra la Tabla 7, la inversión inicial es muy similar entre los tres procesos, por ello, el tiempo requerido para la elaboración de un kilogramo será el factor que determine el proceso más eficiente (junto a los resultados de las pruebas de funcionalidad). Para fabricar un kilogramo usando el procedimiento “T1”, se requieren aproximadamente 4 horas en la fabricación cada lote (400 g), mientras que los procedimientos “T2” y “T3” requieren entre 8 y 12 horas de trabajo en la fabricación de un lote. En adición, se considerarán los gastos energéticos bajo cada proceso en la Tabla 8.

Tabla 8.

Consumo y costos energéticos en la elaboración de un lote (400 g) y un kilogramo de alimento experimental mediante cada proceso.

		T1	T2	T3
Equipo	Consumo energético (kWh)	Horas de trabajo (h)		
Licudora (Black and Decker)	0.5	–	0.25	0.25
Balanza (OHAUS)	0.1	0.25	0.25	0.25
Horno deshidratador (Emeril Lagasse)	1.5	3	6 – 10	6 – 10
Total (horas por lote)	–	3.25	6.5 – 10.5	6.5 – 10.5
Costo por consumo energético (\$ por lote)	–	0.3	0.6 – 1.0	0.6 – 1.0
Costo de producción (\$ por kg)	–	\$0.75	\$1.5 – 3.0	\$1.5 – 3.0

*el precio del kilovatio-hora (kWh) usado como referencia fue 9.2 centavos de dólar (EERSSA, 2022).

Tras comparar los resultados de las pruebas de funcionalidad y el análisis de costos, se determinó que *el procedimiento #1 resultó ser la alternativa más efectiva y rentable para la elaboración del alimento experimental.*

Capítulo IV

Conclusiones

- Se logró desarrollar exitosamente tres procesos distintos para la preparación de dietas experimentales a base de alimento núcleo sin aglutinante (T1), alimento comercial pulverizado con aglutinante extra-pellet (T2) e intra-pellet en tres concentraciones diferentes (T3V1, T3V2 y T3V3), estos procesos compartieron la mayoría de los pasos implicados en el flujograma detallado en la Figura 16.

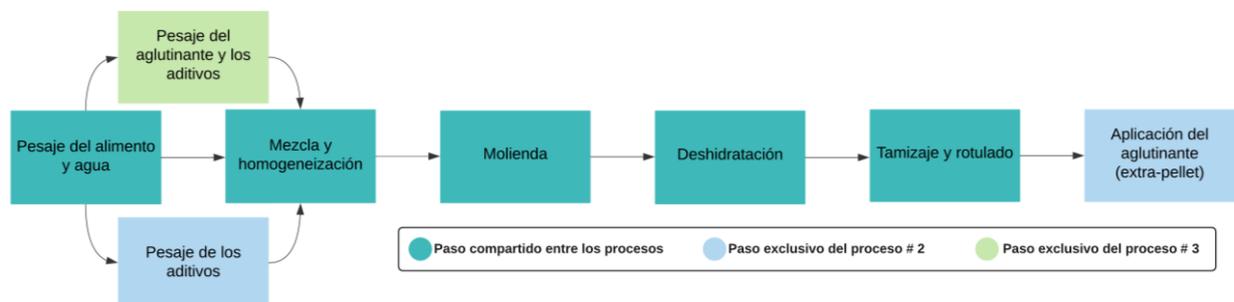


Figura 16. Flujograma de los tres procesos de peletizado diseñados

- En las pruebas de funcionalidad, no se encontraron diferencias significativas en la humedad de las técnicas ($P \leq 0.08$) con un valor cercano al 10%, confirmando que el proceso de incorporación de aditivos y el método de secado fueron adecuadamente estandarizados, independientemente de la técnica utilizada o la concentración de aglutinante empleada.
- El desempeño en función del tiempo de hidroestabilidad demostró que los procedimientos T1 y T2 obtuvieron el mejor resultado, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre sí; no obstante, el análisis financiero concluyó que el procedimiento T1 fue el proceso más eficiente.

Recomendaciones

- Realizar un análisis del coeficiente de absorción hídrica en los pellets de cada proceso y si existe relación con el tiempo de hidroestabilidad para facilitar la toma de decisiones sobre la posible incorporación de sustancias inertes hidrofóbicas.
- Se sugiere aplicar agua caliente durante la mezcla para lograr una adecuada gelatinización de los almidones presentes en el alimento, lo cual es fundamental para mejorar sus características físicas.
- Realizar pruebas de lixiviación para establecer el coeficiente de pérdida de nutrientes del alimento y así, realizar ajustes en la formulación para minimizar la pérdida de nutrientes durante su uso.

Bibliografía

- AENOR. (2005). Norma ISO 22000 de Seguridad Alimentaria. Obtenido de <https://www.aenor.com/certificacion/alimentacion/seguridad-alimentaria>
- Barba-Marino, R. (2019). *Alimento alternativo para camarón blanco, Litopenaeus vannamei, utilizando insumos de origen vegetal y animal del estado de Guerrero*. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUERRERO. Obtenido de https://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/2853/TM_10148999_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bortone, E., Acan, D., & Jory, D. (2017). Obtenido de Análisis de la hidro-estabilidad de los alimentos de camarón: <https://www.globalseafood.org/advocate/analisis-de-la-hidro-estabilidad-de-los-alimentos-de-camaron/>
- Córdova-Murueta, J., & García-Carreño, F. (2002). Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. ScienceDirect. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004484860200011X>
- Cruz-Suárez, E., Ruiz-Díaz, P., Cota-Cerecer, E., Nieto-López, M., Guajardo-Barbosa, C., Tapia-Salazar, M., . . . Ricque-Marie, D. (2006). *Revisión sobre Algunas Características Físicas y Control de Calidad de Alimentos Comerciales para Camarón en México*. Avances en Nutrición Acuícola VIII. Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Obtenido de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/download/175/173>
- Devresse, B. (2019). *Producción de Alimentos Para Camarón Estables en el Agua*. Avances en Nutrición Acuícola IV. Obtenido de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/317>

- De Souza, G., & Morrison, A. (2024). El centro del Océano Austral para nutrientes, micronutrientes y sus isótopos en el oceano global. *Oceanography*. Obtenido de <https://tos.org/oceanography/assets/docs/37-2-de-souza.pdf>
- EERSSA. (2022). Las tarifas de energia electrica no se incrementaran en el 2022. Obtenido de <https://www.eerssa.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/>
- FAO. (1996). *Cumbre Mundial sobre la Alimentación*. Grupo Banco Mundial. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update/what-is-food-security>
- FAO. (2004). *Informe de la Consulta de expertos sobre la aplicación de cuestiones asociadas con la inclusión de especies acuáticas explotadas comercialmente en los apéndices de la CITESA*. Roma. Obtenido de <https://www.fao.org/4/y5751s/y5751s08.htm#TopOfPage>
- Figueiredo-Silva, C. (2020). *Benefits of adjusting zinc levels and source in shrimp feed: Your zinc choice may be limiting performance*. AquaFeed. Obtenido de <https://www.aquafeed.co.uk/benefits-of-adjusting-zinc-levels-and-source-in-shrimp-feed-your-zinc-choice-may-be-limiting-performance-22862/>
- Jiao, L., D. T., Lu, J., T. X., Jin, M., Sun, P., & Zhou, Q. (2021). *Effects of dietary manganese supplementation on growth performance, antioxidant capacity, immune function and intestinal microbiota in Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. *Aqua* (Vol. 27). Aquaculture Nutrition. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/anu.13333>
- León-Tobaza, G. d. (2017). *Elaboración de alimento balanceado para camarón en la empresa Bioalimentar Cía. Ltda*. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de

<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3381d22a-c514-473f-b1a7-862426ebc659/content>

Malcorps, W., & Palmer, R. (2019). *El enigma de la sostenibilidad de los alimentos para camarones: sustitución de harina de pescado*. Global Seafood Alliance. Obtenido de <https://www.globalseafood.org/advocate/el-enigma-de-la-sostenibilidad-de-los-alimentos-para-camarones-sustitucion-de-harina-de-pescado/>

Maldonado, S., Bazán, S. d., Cordova, A., & Ordoñez, F. (2024). *La Evolución de los Procesos de Elaboración de Alimento con Alto Valor Nutricional y su Relación para la Producción de Crustáceos Litopenaeus Vannamei* (Vol. Volumen 8). Ciencia Latina: Revista Científica Multidisciplinar. Obtenido de <https://ciencialatina.org/plugins/generic/pdfJsViewer/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fciencialatina.org%2Findex.php%2Fcienciala%2Farticle%2Fdownload%2F12509%2F18102%2F>

Masson, L. (s.f.). Producción y Manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. En *Capítulo 14: Métodos analíticos para la determinación de humedad, alcohol, energía, materia grasa y colesterol en alimentos*. FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/4/ah833s/Ah833s16.htm#16.1>

Mejía-López, A. M. (2021). *Eficiencia del uso de alimento peletizado en dietas para el cultivo de camaron blanco Litopenaeus vannamei*. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17517/1/ECUACA-2>

Molina-Poveda, C., & Villareal-Colmenares, H. (2008). *Estrategias de Alimentación en la Etapa de Engorda del Camaron*. CYTED. Obtenido de <https://www.cibnor.gob.mx/images/stories/biohelis/pdfs/Estrategias-de-alimentacion-en-la-etapa-de-engorda-del-camaron.pdf>

- Moncada, L. F. (s.f.). *Puntos de control críticos en la fabricación de alimentos balanceados para Acuicultura*. Avances en Nutrición Acuícola III. Obtenido de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/342>
- Nesara, K. M., & Paturi, A. P. (2018). *Nutritional requirement of fresh water prawn and shrimps: A review* (Vol. 6(4)). Journal of Entomology and Zoology Studies. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/79514592/6-4-149-290-libre.pdf?1643100832=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNutritional_requirement_of_fresh_water_p.pdf&Expires=1731291862&Signature=f2Na9R2AriYcqdgCp~NclzpsHTMgy4YyigQ87GFm1ORTHe1dwU
- Sigüenza-Cordero, J., & Domínguez, J. (2021). *Producción y comercialización de balanceado para la alimentación de camarón a partir de pasta de soya*. Doctoral dissertation, ESPAE-ESPOL.
- Truong, H. H., Hines, B. M., Emerenciano, M. G., Blyth, D., Berry, S., Noble, T. H., . . . Cedric Simon, C. J. (2023). *Mineral nutrition in penaeid shrimp* (Vol. 4). Reviews in Aquaculture,. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/raq.12780>
- Vera-Aguilar, D. (2015). *Diseño de bioensayo de la afectación del cobre sobre el Litopenaeus vannamei*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Obtenido de <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/133033/D-76555.pdf>
- Yagual-Tomalá, J. (2024). *Análisis bibliométrico sobre la producción de suplementos proteicos para larvas de camarón mediante la fermentación microbiana con Bacillus subtilis*. UNEMI. Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/7436/1/YAGUAL%20TOMAL%20JOSUE%20ORLANDO.pdf>

Anexos

Anexo 1

Prueba de normalidad de Levene en las variables de hidroestabilidad y porcentaje de humedad.

```
> leveneTest(promhumedad~metodologia, data = datos)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  4  0.2634 0.8997
      40
Warning message:
In leveneTest.default(y = y, group = group, ...) : group coerced to factor.
> leveneTest(hidroprom~metodologia, data = datos)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  4  0.392 0.8131
      40
Warning message:
In leveneTest.default(y = y, group = group, ...) : group coerced to factor.
```

Anexo 2

Prueba no paramétrica de Análisis de varianza (Kruskal-Wallis) en las variables de hidroestabilidad y porcentaje de humedad.

```
> kruskal.test(hidroprom~metodologia, data = datos)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: hidroprom by metodologia
Kruskal-Wallis chi-squared = 35.019, df = 4, p-value = 4.603e-07

> kruskal.test(promhumedad~metodologia, data = datos)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: promhumedad by metodologia
Kruskal-Wallis chi-squared = 8.2953, df = 4, p-value = 0.08134
```

Anexo 3

Prueba post-hoc de Tukey de los resultados en las variables de hidroestabilidad y porcentaje de humedad

```
> summary(ANOVA3)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
metodologia  4 9371373 2342843  102.7 <2e-16 ***
Residuals   40  912081   22802
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> tukey3=TukeyHSD(ANOVA3)
> print(tukey3)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = hidroprom * promhumedad ~ metodologia, data = datos)

$metodologia
      diff      lwr      upr      p adj
T2-T1    -7.26827 -202.7084  188.1719 0.9999699
T3V1-T1 -954.63465 -1146.7418 -762.5275 0.0000000
T3V2-T1 -790.36206 -1136.1550 -444.5691 0.0000008
T3V3-T1 -500.94858 -846.7415 -155.1556 0.0015632
T3V1-T2 -947.36638 -1095.5506 -799.1821 0.0000000
T3V2-T2 -783.09379 -1106.5535 -459.6341 0.0000002
T3V3-T2 -493.68031 -817.1400 -170.2206 0.0008051
T3V2-T3V1  164.27259 -157.1842  485.7294 0.5939327
T3V3-T3V1  453.68607  132.2293  775.1429 0.0021409
T3V3-T3V2  289.41348 -141.8661  720.6930 0.3254208
```