



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIA ANIMAL

TESIS DOCTORAL

**Efecto de la frecuencia de alimentación en la respuesta
alimenticia del camarón blanco del Pacífico
*Litopenaeus vannamei***

Presentado por:

Manuel Espinoza Ortega

Dirigido por:

Dr. Ing. Miguel Jover Cerdá

Dr. César Molina Poveda

Valencia, Febrero del 2024

RESUMEN

El objetivo central de la presente tesis doctoral fue estudiar la influencia de la frecuencia de alimentación en el rendimiento productivo del camarón, y para ello se desarrollaron tres ensayos considerando distintos aspectos de dicha frecuencia alimentaria y otros complementarios. En el primero se estudió el número diario de comidas (1, 2, 4 y 6) y el horario de las mismas (día y noche), empleando dos tipos de fabricación del alimento, granulado y extrusionado. En el segundo se ensayaron dos y cuatro comidas y dos tasas de alimentación (80 y 100% de la saciedad), junto con la inclusión de dos hidrolizados de pescado. En el tercer ensayo se evaluaron tres técnicas de alimentación en campo, manual, automática mediante alimentadores temporizados y automática con ecosonda, que originaron diversas frecuencias de alimentación, número y horario de las comidas, utilizando alimento granulado y extrusionado.

El primer experimento evaluó el efecto de la frecuencia de alimentación y dos procesos de cocción de alimentos acuícolas (extrusión y granulación) sobre el rendimiento del camarón y los parámetros de calidad del agua fueron estudiados en condiciones controladas en una prueba de 60 días con juveniles de *Litopenaeus vannamei* alimentados una (10:00 h); dos (10:00 h, 12:00 h); cuatro (10:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h) y seis veces al día (10:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h, 21:00 h, 24:00 h). No se observaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en la tasa de crecimiento, supervivencia o eficiencia alimenticia dentro de los tratamientos con dieta granulada en ninguna de las frecuencias ensayadas. La tasa de crecimiento fue significativamente mayor ($p < 0,05$) con el alimento extruido cuando se administró una o dos veces al día en horario diurno (10:00-12:00 h). Sin embargo, con estas frecuencias, un detrimento en la calidad del agua fue observado así como también una elevada tasa de conversión alimenticia. A frecuencias más altas (seis veces al día) con dietas extruidas, los resultados en la calidad del agua sugieren una reducción en los niveles totales de nitrógeno amoniacal y nitrito a medida que aumentaba la frecuencia. Los resultados sugieren que el alimento extruido suministrado en horario diurno tiene el potencial de mejorar la tasa de crecimiento, y una mayor frecuencia podría representar una estrategia adecuada para preservar la calidad del agua. La

presente investigación es la primera en demostrar que el proceso de extrusión mejora la calidad del agua; por lo tanto, los alimentos extruidos podrían reducir el impacto de la contaminación de los efluentes y mejorar la sostenibilidad de la producción de camarón.

En un segundo estudio se evaluaron los efectos de la frecuencia de alimentación y la restricción de la ración sobre el crecimiento, la supervivencia y el factor de conversión alimenticia (FCR), en juveniles de *L. vannamei* ($0,8 \pm 0,06$ g) alimentados con dos tipos de dietas en el transcurso de 53 días. El camarón fue alimentado dos (10:00 h, 16:00 h) y cuatro (10:00 h, 16:00 h, 22:00 h, 04:00 h) veces al día. Dos dietas isoproteicas (35%) fueron formuladas con dos hidrolizados de pescado: HFFO y HFNI, los cuales tenían diferente grado de hidrólisis. La alimentación fue ofrecida al 100% y 80% de saciedad. Al final del experimento, la supervivencia no fue diferente entre tratamientos ($p > 0,05$). Los camarones alimentados dos veces mostraron un incremento de peso significativamente ($p < 0,05$) mayor que los alimentados cuatro veces ($6,27 \pm 0,42$ vs $5,76 \pm 0,38$ g, respectivamente), aunque el FCR también fue mayor ($1,86 \pm 0,16$ vs $1,71 \pm 0,18$ respectivamente) pero no significativamente diferente ($p > 0,05$). Los resultados demostraron una mejora en la conversión alimenticia cuando se ofrece el 80% de la ración, en comparación con el 100% (FCR= $1,64 \pm 0,19$ vs $1,93 \pm 0,12$ respectivamente), sin embargo, esto se logró a expensas del crecimiento ($5,79 \pm 0,31$ g vs $6,23 \pm 0,51$ g respectivamente). No se observaron diferencias en el incremento de peso al comparar los diferentes tipos de hidrolizados (HFFO y HFNI).

Finalmente, un tercer estudio consistió en un análisis de 3 técnicas de alimentación del camarón empleadas en las granjas camaroneras comerciales: manual (técnica 1), automática con ajuste de tiempo (técnica 2) y automática con detección de sonido (técnica 3), las cuales fueron utilizadas para suministrar ambos alimentos: granulados (P) y extruidos (E). El estudio se llevó a cabo en 639 estanques de tierra con 6-12 ha localizadas en la provincia de Guayas, Ecuador, durante el periodo 2018-2020. La densidad media de siembra fue de 18 postlarvas/m² con ciclos de producción entre 100 y 130 días. Los resultados mostraron que la tasa de crecimiento de la alimentación automática con

alimentadores, técnicas 2 y 3 ($1,52 \pm 0,24$ y $1,72 \pm 0,26$ g/semana, respectivamente), con alimento extrusionado, fue superior al obtenido con la técnica manual 1 ($1,44 \pm 0,24$ g/ semana), pero no hubieron diferencias significativas para el alimento granulado ($1,39 \pm 0,30$; $1,43 \pm 0,21$ y $1,49 \pm 0,30$ respectivamente). El FCR de las técnicas 1 a 3 fue de $1,92 \pm 0,49$; $1,89 \pm 0,54$ y $1,67 \pm 0,32$ respectivamente con alimento extruido, siendo el mejor el obtenido con la eco-sonda, mientras que para el alimento granulado ocurrió lo contrario ($1,72 \pm 0,46$; $1,65 \pm 0,25$ y $1,96 \pm 0,54$ respectivamente). No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las tasas de supervivencia entre los tratamientos. El coste por kilo más bajo ($\$2,86/ \text{kg}$) se obtuvo con la combinación de alimentación sónica y dietas extruidas.

La problemática de la frecuencia de alimentación queda superada con la utilización de alimentadores de auto demanda con detección sónica, y con el empleo de alimento extrusionado, que origina un mejor crecimiento y conversión y una mejor calidad del agua de los estanques.

RESUM

L'objectiu central de la present tesi doctoral va ser estudiar la influència de la freqüència d'alimentació en el rendiment productiu de la gambeta, i per a això es van desenvolupar tres assajos considerant diferents aspectes d'esta freqüència alimentària i altres complementaris. En el primer es va estudiar el nombre diari de menjars (1, 2, 4 i 6) i l'horari de les mateixes (dia i nit), emprant dos tipus de fabricació de l'aliment, granulat i extrusionado. En el segon es van assajar dos i quatre menjars i dues taxes d'alimentació (80 i 100% de la sacietat), juntament amb la inclusió de dos hidrolitzats de peix. En el tercer assaig es van avaluar tres tècniques d'alimentació en camp, manual, automàtica mitjançant menjadores temporitzades i automàtica amb ecosonda, que van originar diverses freqüències d'alimentació, número i horari dels menjars, utilitzant aliment granulat i extrusionado.

El primer experiment va avaluar l'efecte de la freqüència d'alimentació i dos processos de cocció d'aliments aquícoles (extrusió i granulació) sobre el rendiment de la gambeta i els paràmetres de qualitat de l'aigua va ser estudiat en condicions controlades en una prova de 60 dies amb juvenils de *Litopenaeus vannamei* alimentats una (10.00 h); dues (10.00 h, 12.00 h); quatre (10.00 h, 12.00 h, 15.00 h, 18.00 h) i sis vegades al dia (10.00 h, 12.00 h, 15.00 h, 18.00 h, 21.00 h, 24:00 h). No es van observar diferències estadístiques ($p > 0,05$) en la taxa de creixement, supervivència o eficiència alimentosa dins dels tractaments amb dieta granulada en cap de les freqüències assajades. La taxa de creixement va ser significativament major ($p < 0,05$) amb l'aliment extruït quan es va administrar una o dues vegades al dia en horari diürn (10.00-12.00 h). No obstant això, amb estes freqüències, un detriment en la qualitat de l'aigua va ser observat així com també una elevada taxa de conversió alimentosa. A freqüències més altes (sis vegades al dia) amb dietes extruïdes, els resultats en la qualitat de l'aigua suggerixen una reducció en els nivells totals de nitrogen amoniacal i nitrit a mesura que augmentava la freqüència. Els resultats suggerixen que l'aliment extruït subministrat en horari diürn té el potencial de

millorar la taxa de creixement, i una major freqüència podria representar una estratègia adequada per a preservar la qualitat de l'aigua. La present investigació és la primera a demostrar que el procés d'extrusió millora la qualitat de l'aigua; per tant, els aliments extruïts podrien reduir l'impacte de la contaminació dels efluents i millorar la sostenibilitat de la producció de gambeta.

En un segon estudi es van avaluar els efectes de la freqüència d'alimentació i la restricció de la ració sobre el creixement, la supervivència i el factor de conversió alimentosa (FCR), en juvenils de *L. vannamei* ($0,8 \pm 0,06$ g) alimentats amb dos tipus de dietes en el transcurs de 53 dies. La gambeta va ser alimentada dues (10.00 h, 16.00 h) i quatre (10.00 h, 16.00 h, 22.00 h, 04.00 h) vegades al dia. Dues dietes isoproteicas (35%) van ser formulades amb dos hidrolitzats de peix: HFFO i HFNI, els quals tenien diferent grau d'hidròlisi. L'alimentació va ser oferida al 100% i 80% de sacietat. Al final de l'experiment, la supervivència no va ser diferent entre tractaments ($p > 0,05$). Les gambetes alimentades dues vegades van mostrar un increment de pes significativament ($p < 0,05$) major que els alimentats quatre vegades ($6,27 \pm 0,42$ vs $5,76 \pm 0,38$ g, respectivament), encara que el FCR també va ser major ($1,86 \pm 0,16$ vs $1,71 \pm 0,18$ respectivament) però no significativament diferent ($p > 0,05$). Els resultats van demostrar una millora en la conversió alimentosa quan s'oferix el 80% de la ració, en comparació amb el 100% (FCR= $1,64 \pm 0,19$ vs $1,93 \pm 0,12$ respectivament), tanmateix, això es va aconseguir a costa del creixement ($5,79 \pm 0,31$ g *vs $6,23 \pm 0,51$ g respectivament). No es van observar diferències en l'increment de pes en comparar els diferents tipus d'hidrolitzats (HFFO i HFNI).

Finalment, un tercer estudi va consistir en una anàlisi de 3 tècniques d'alimentació de la gambeta emprades en les granges camaroneras comercials: manual (tècnica 1), automàtica amb ajust de temps (tècnica 2) i automàtica amb detecció de so (tècnica 3), les quals van ser utilitzades per a subministrar tots dos aliment granulado (P) i aliment extruït (E). L'estudi es va dur a terme en 639 estanys de terra amb 6-12 ha localitzades a la província de Guayas, l'Equador, durant el període 2018-2020. La densitat mitjana de sembra va ser de 18 postlarvae/m² amb cicles de producció entre 100 i 130 dies. Els resultats van mostrar que la taxa de creixement de l'alimentació automàtica amb menjadores,

tècniques 2 i 3 ($1,52 \pm 0,24$ i $1,72 \pm 0,26$ g/setmana, respectivament), amb aliment extrusionado, va ser superior a l'obtingut amb la tècnica manual 1 ($1,44 \pm 0,24$ g/ setmana), però no van haver diferències significatives per a l'aliment granulat ($1,39 \pm 0,30$; $1,43 \pm 0,21$ i $1,49 \pm 0,30$ respectivament). El FCR de les tècniques 1 a 3 va ser de $1,92 \pm 0,49$; $1,89 \pm 0,54$ i $1,67 \pm 0,32$ respectivament amb aliment extruït, sent el millor l'obtingut amb l'eco-sonda, mentre que per a l'aliment granulat va ocórrer el contario ($1,72 \pm 0,46$; $1,65 \pm 0,25$ i $1,96 \pm 0,54$ respectivament). No es van observar diferències significatives ($p > 0,05$) en les taxes de supervivència entre els tractaments. El cost per quilo més baix ($\$2,86/\text{kg}$) es va obtenir amb la combinació d'alimentació sònica i dietes extruïdes.

La problemàtica de la freqüència d'alimentació queda superada amb la utilització de menjadores d'acte demanda amb detecció sònica, i amb l'ús d'aliment extrusionado, que origina un millor creixement i conversió i una millor qualitat de l'aigua dels estanys.

ABSTRACT

The aim of this doctoral thesis was to study the influence of feeding frequency on the productive performance of shrimp, and for this purpose three trials were developed considering different aspects of feeding frequency and other complementary ones. In the first, the daily number of meals (1, 2, 4 and 6) and their timing (day and night) were studied, using two types of feed manufacturing processes, granulated and extruded. In the second, two and four meals and two feeding rates (80 and 100% satiety) were tested, along with the inclusion of two fish hydrolysates. In the third trial, three feeding techniques were evaluated in the field: manual, automatic using timed feeders and automatic with echo sounders, which gave rise to various feeding frequencies, number and timing of meals, using granulated and extruded feed.

The first experiment evaluated the effect of feeding frequency and two aquafeed cooking processes (extrusion and granulation) on shrimp performance and water quality parameters and was studied under controlled conditions in a 60-day test with juveniles of *Litopenaeus vannamei* fed once (10:00 a.m.); twice (10:00 a.m., 12:00 p.m.); four (10:00 a.m., 12:00 p.m., 3:00 p.m., 6:00 p.m.) and six times a day (10:00 a.m., 12:00 p.m., 3:00 p.m., 6:00 p.m., 9:00 p.m., 12:00 a.m.). No statistical differences ($p > 0.05$) were observed in the growth rate, survival or feeding efficiency within the pelleted diet treatments at any of the frequencies tested. The growth rate was significantly higher ($p < 0.05$) with the extruded feed when it was administered once or twice a day during daylight hours (10:00-12:00 h). However, at these frequencies, a detriment in water quality was observed as well as a high feed conversion rate. At higher frequencies (six times per day) with extruded diets, water quality results suggested a reduction in total ammoniacal nitrogen and nitrite levels as frequency increased. The results suggest that extruded feed fed during daylight hours has the potential to improve growth rate, and greater frequency could represent an appropriate strategy to preserve water quality. The present research is the first to demonstrate that the extrusion process improves water quality; therefore, extruded feeds could reduce the impact of effluent pollution and improve the sustainability of shrimp production.

In a second study, the effects of feeding frequency and ration restriction on growth, survival and feed conversion factor (FCR) were evaluated in juveniles of *L. vannamei* (0.8 ± 0.06 g) fed two types of diets over the course of 53 days. The shrimp were fed two (10:00 a.m., 4:00 p.m.) and four (10:00 a.m., 4:00 p.m., 10:00 p.m., 4:00 a.m.) times per day. Two isoproteic diets (35%) were formulated with two fish hydrolysates: HFFO and HFNI, which had different degrees of hydrolysis. Feeding was offered at 100% and 80% satiety. At the end of the experiment, survival was not different between treatments ($p > 0.05$). Shrimp fed twice showed a significantly ($p < 0.05$) greater weight increase than those fed four times (6.27 ± 0.42 vs 5.76 ± 0.38 g, respectively), although the FCR was also higher (1.86 ± 0.16 vs 1.71 ± 0.18 respectively) but not significantly different ($p > 0.05$). The results demonstrated an improvement in feed conversion when 80% of the ration was offered, compared to 100% (FCR = 1.64 ± 0.19 vs 1.93 ± 0.12 respectively), however, this was achieved at the expense of growth (5.79 ± 0.31 g vs 6.23 ± 0.51 g respectively). No differences were observed in weight increase when comparing the different types of hydrolysates (HFFO and HFNI).

Finally, a third study consisted of an analysis of 3 shrimp feeding techniques used in commercial shrimp farms: manual (technique 1), automatic with time adjustment (technique 2) and automatic with sound detection (technique 3), the which were used to supply both pelletized feed (P) and extruded feed (E). The study was carried out in 639 earthen ponds with 6-12 ha located in the province of Guayas, Ecuador, during the period 2018-2020. The average stocking density was 18 postlarvae/m² with production cycles between 100 and 130 days. The results showed that the growth rate of automatic feeding with feeders, techniques 2 and 3 (1.52 ± 0.24 and 1.72 ± 0.26 g/week, respectively), with extruded feed, was higher than that obtained with manual technique 1 (1.44 ± 0.24 g/week), but there were no significant differences for the pelleted feed (1.39 ± 0.30 ; 1.43 ± 0.21 and 1.49 ± 0.30 respectively). The FCA of techniques 1 to 3 was 1.92 ± 0.49 ; 1.89 ± 0.54 and 1.67 ± 0.32 respectively with extruded feed, the best was the one obtained with the echo-probe, while the opposite occurred for granulated feed (1.72 ± 0.46 ; 1.65 ± 0.25 and 1.96 ± 0.54 respectively).—No significant differences ($p > 0.05$) were observed in survival rates between treatments.—The

lowest cost per kilo (\$2.86/kg) was obtained with the combination of sonic feeding and extruded diets.

The problem of feeding frequency is overcome with the use of self-demand feeders with sonic detection, and with the use of extruded feed, which causes better growth and conversion and better water quality in the ponds.

DEDICATORIA

A Dios, a mi esposa Lucía, a mis hijos Martín y Sofía, razón de todo lo que hago.

A mi madre por la inspiración, por incentivar en mí la curiosidad y por todo el amor recibido.

A mi padre, por siempre creer en mí.

A mis hermanos, aunque a la distancia, siempre presentes en mi corazón, por todo lo compartido.

AGRADECIMIENTO

Al Profesor Miguel Jover, por todo su apoyo desde mis estudios de masterado, por sus clases y su dirección, por su guía durante todos estos años.

Al Dr. César Molina por todo su apoyo, dirección y acompañamiento en la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Roberto Civera, por aceptarme en el Laboratorio de Nutrición Acuícola del CIBNOR, por todas sus enseñanzas, paciencia y ayuda, le estaré agradecido siempre.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I Introducción General	17
1.1 Hábitos alimenticios del camarón blanco del Pacífico en etapa de engorde	21
1.2 Necesidades nutritivas del camarón	23
1.3 Frecuencia de alimentación.....	25
1.4 Procesos de manufactura del alimento y su relación con la frecuencia de alimentación	28
1.5 Objetivos.....	30
1.5.1 Objetivo General	30
1.5.1.1. Objetivos específicos	30
CAPÍTULO II Efecto de la frecuencia de alimentación sobre la calidad del agua y el crecimiento de <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado con dietas extruidas y peletizadas.....	32
2.1 Introducción.....	33
2.2 Materiales y métodos.....	35
2.2.1 Diseño experimental	35
2.2.2 Sistema experimental.....	35
2.2.3 Dietas.....	35
2.2.4 Organismos experimentales	36
2.2.5 Prueba de crecimiento	36
2.3 Resultados	38
2.4 Discusión.....	44
2.4.1 Efecto de la frecuencia de alimentación sobre el rendimiento de <i>Litopenaeus vannamei</i>	44
2.4.2 Efecto del proceso de fabricación de piensos sobre el rendimiento de <i>Litopenaeus vannamei</i>	49
2.5 Conclusión	53
CAPÍTULO III El efecto combinado de la frecuencia de alimentación y el tamaño de la ración en el rendimiento de juveniles de <i>L. vannamei</i> alimentados con dietas suplementadas con atractantes marinos	54
3.1 Introducción.....	55
3.2 Materiales y métodos.....	56
3.2.1 Diseño experimental	56
3.2.2 Sistema experimental.....	56
3.2.3 Dietas.....	57
3.2.4 Manejo.....	58

3.2.5 Análisis estadístico	60
3.3 Resultados	60
3.3.1 Calidad del agua	60
3.3.2 Rendimiento del camarón	61
3.3.3 Frecuencia de alimentación y tamaño de la ración	64
3.3.4 Efectos del atractante	67
3.4. Discusión.....	67
3.4. Frecuencia de alimentación.....	68
3.4.2 Tamaño de la ración	71
3.4.3 Tipo de atrayente	74
CAPÍTULO IV_Eficiencia de tres técnicas diferentes de alimentación combinadas con alimento extruido y peletizado en la producción de <i>L. vannamei</i> en Ecuador.	76
4.1 Introducción.....	77
4.2 Materiales y métodos.....	79
4.2.1. Cálculos.....	81
4.2.2. Análisis estadístico	82
4.3 Resultados	83
4.4 Discusión.....	88
CAPITULO V_Discusión General.....	95
5.1 Discusión General.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1** Publicaciones sobre frecuencia de alimentación en varias especies de langostinos bajo condiciones controladas.
- Tabla 2.1** Desempeño biológico del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (peso inicial = 1 g) criado en tanques de 60 L durante 60 días utilizando alimento granulado en cuatro frecuencias de alimentación diferentes. Número de réplicas por tratamiento = 4. Las entradas son media muestral \pm desviación estándar (SD).
- Tabla 2.2** Parámetros zootécnicos y utilización de alimento (media \pm DE; n=4) de juveniles de *L. vannamei* (peso inicial=1 g) en un ensayo llevado a cabo en tanques de 60 L usando alimento **extruido** en cuatro frecuencias diferentes durante 60 días.
- Tabla 2.3** Tasa de crecimiento de *L. vannamei* (media \pm DE; g/semana) después de ocho semanas de ensayo con alimento extruido y granulado a cuatro frecuencias de alimentación: una (F1), dos (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día.
- Tabla 2.4** Índice de conversión alimenticia (media \pm DE) después de ocho semanas de ensayo con juveniles de *L. vannamei* alimentados con dos dietas diferentes (extruidas y granuladas) en cuatro frecuencias: una vez (F1), dos veces (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día.
- Tabla 2.5** Análisis de varianza bidireccional (ANDEVA) del proceso de fabricación \times efecto de la frecuencia de alimentación sobre la tasa de crecimiento de *Litopenaeus vannamei* después de ocho semanas de ensayo.
- Tabla 2.6** Análisis de varianza bidireccional (ANDEVA) del proceso de fabricación \times efecto de frecuencia sobre el índice de conversión alimenticia (FCR) de juveniles de *Litopenaeus vannamei* después de ocho semanas de ensayo.
- Tabla 3.1** Formulaciones y composición de dietas experimentales (todos los valores están expresados en g/100 g en base húmeda)
- Tabla 3.2** Promedios (\pm DE) de los parámetros de calidad del agua durante el período de ensayo (53 días) en camarones juveniles *Litopenaeus vannamei* (0,8 g de peso inicial) distribuidos a 47 camarones/m² en un sistema de agua clara.

- Tabla 3.3** ANDEVA de tres vías para estudiar el efecto de la dieta x frecuencia x ración sobre la ganancia de peso del juvenil *L. vannamei* (0,8 g de peso inicial) distribuido en tanques rectangulares a 47 camarones/m² en un ensayo de 53 días usando un sistema de agua clara.
- Tabla 3.4** ANDEVA de tres vías para los efectos de la dieta x la frecuencia x tamaño de ración sobre el factor de conversión alimenticia en juveniles de *L. vannamei* después de 53 días de ensayo en un sistema de agua clara.
- Tabla 3.5** Promedios (\pm DE) de los parámetros zootécnicos para *L. vannamei* después de 53 días de ensayo alimentados con dos dietas diferentes a dos frecuencias y dos niveles de saciedad.
- Tabla 3.6** Ganancia de peso (\pm DE) (g/camarón) de *L. vannamei* juvenil después de 53 días de ensayo con dos dietas diferentes con dos frecuencias y dos tamaños de ración.
- Tabla 3.7** Factor de conversión alimenticia (\pm DE) después de 53 días de ensayo con juveniles de *L. vannamei* alimentados con dos dietas diferentes (HFFO y HFNI) a dos frecuencias de alimentación y dos tamaños de ración.
- Tabla 4.1** Resumen de condiciones generales en el presente estudio de alimentación de *L. vannamei* bajo estrategias de alimentación manual, automático-temporizador y automático-acústico y alimentación peletizada de dietas extrusionadas durante 2018-2020, Guayas-Ecuador.
- Tabla 4.2** Resumen del análisis ANDEVA de dos vías de los parámetros zootécnicos de camarones alimentados con alimento peletizado y extruido con diferentes estrategias de manejo (alimentación manual, con temporizador y sónica).
- Tabla 4.3** Comportamiento de camarones bajo estrategias de alimentación manual, con temporizador semi-automático y automático-acústico alimentados con dietas granuladas y extrusionadas durante 2018-2020, Guayas-Ecuador.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1** Exportaciones ecuatorianas de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* e ingresos por este concepto en el periodo 2008-2023 (hasta agosto inclusive). Fuente: CNA (2023).
- Figura 1.2** Representación esquemática de un extrusor de tornillo simple (Singh, 2016).
- Figura 2.1** Comparación de la media \pm DE de nitrógeno amoniacal utilizando promedios (n=4) en agua cuando se alimenta con dietas extruidas y granuladas en una prueba de 60 días con juveniles de *Litopenaeus vannamei* a diferentes frecuencias: una vez (F1), dos veces (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día.
- Figura 2.2** Media \pm DE de la comparación nitrito-nitrógeno (n=4) en agua cuando se alimenta con dietas extruidas y granuladas en una prueba de 60 días con juveniles de *Litopenaeus vannamei* a diferentes frecuencias: una vez (F1), dos veces (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día.
- Figura 3.1** Ganancia de peso (g) de camarones alimentados dos y cuatro veces por día al 100% y 80% con dos dietas diferentes (HFFO y HFNI).
- Figura 4.1** Localización del área de estudio para las pruebas de campo usando tres técnicas de alimentación: manual, semi-automática y automática durante el periodo 2018-2020.
- Figura 4.2** Crecimiento en gramos (media \pm DE) de la producción de *L. vannamei* con tres estrategias de manejo de alimentación en combinación con alimento extruido y peletizado. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media. Datos recolectados en 639 estanques en Guayas Ecuador durante el periodo 2018-2020.
- Figura 4.3** Eficiencia alimenticia (media \pm DE) en la producción de *L. vannamei* siguiendo tres estrategias de manejo de alimentos en combinación con alimento peletizado y extruido en 639 estanques en Guayas Ecuador durante el período 2018-2019. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media.
- Figura 4.4** Coste por kilogramo (media \pm DE) en producción de *L. vannamei* siguiendo tres estrategias de manejo de alimentación combinadas con alimento peletizado y extruido en 639 estanques en Guayas Ecuador durante el período 2018-2019. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media.

CAPÍTULO I
Introducción General

Introducción General

El camarón blanco del Pacífico representa uno de los segmentos con mayor crecimiento y rentabilidad en el contexto de la industria acuícola mundial. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), sólo la producción de camarón blanco ha logrado superar los 6 millones de toneladas en el último año representando alrededor del 51,7% (FAO, 2022) de la producción mundial de crustáceos con un incremento interanual del 6 %.

Entre las diferentes especies de camarones peneidos destinados para la acuicultura, el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* es la de mayor aceptación por su rápido crecimiento y adaptación a diferentes salinidades (Gucic, 2008). Además, provee notables beneficios económicos y posee una fuerte resistencia a las enfermedades (An et al., 2020). De ahí que la acuicultura de camarón sea considerada uno de los sectores más valiosos para cumplir con las metas de desarrollo sostenible de la FAO. El camarón blanco del Pacífico constituye el 76% de los camarones provenientes de acuicultura.

Ecuador está entre los mayores productores de camarón (FAO, 2022). En 2018 este país produjo 510,000 toneladas de camarón blanco del Pacífico. Otros países productores son China (1.760.000 toneladas), Indonesia (708.680 toneladas), India (620.000 toneladas), Vietnam (475.000 toneladas) y Thailandia (347.358 toneladas) (FAO, 2022). Estos países producen *L. vannamei* como también otras especies de camarón; mientras que la producción de Ecuador se concentra solamente en *L. vannamei*.

Ecuador produce más del 50 por ciento del volumen total que proviene del continente americano y exporta a más de 55 destinos que incluyen principalmente a China, la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y otros países asiáticos.

En el año 2022 Ecuador exportó el equivalente a 6.600 millones de dólares (Cámara Nacional De Acuicultura CNA, 2023). En año 2023 hasta el mes de noviembre este mismo equivalente es de 5.786 millones de dólares.

Mientras que el volumen de exportación del Ecuador fue de 1,04 millones de toneladas en el año 2022; en lo que va del año 2023, hasta noviembre, este valor llegó hasta las 1.110.642 toneladas (Figura 1.1).

A pesar de las dificultades de los últimos años, incluida una crisis logística mundial sin precedentes, el sector camaronero ecuatoriano consiguió posicionarse para finales del 2021 como el primer proveedor global de camarón con una mayor participación en los mercados de China (46%, 2.018 USD millones) y los Estados Unidos (22%, 1.200 USD millones) según datos del Banco Central del Ecuador y la Cámara Nacional de Acuicultura (CNA, 2023). Además de experimentar un crecimiento interanual total del 33% en los primeros once meses de este mismo año (FEDEXPOR, 2022).

Durante las últimas cuatro décadas Ecuador ha evolucionado y ha pasado de ser un país con una producción menor, a ser un líder mundial en la producción de camarón usando técnicas semi-intensivas. A medida que la industria ha madurado en Ecuador se ha enfrentado exitosamente a una serie de desafíos técnicos y biológicos así como a un complejo marco legal (Stern y Sonnenholzner, 2010) basado en el uso de suelos, prohibición de tala de manglar etc, debido a una preocupación existente a nivel mundial sobre el uso de recursos y la degradación ambiental causada por la industria acuícola (Boyd, 2015; Naylor et al., 2009). La pandemia de COVID-19 también tuvo un impacto significativo en la cadena de suministro y la demanda de camarones, con interrupciones en la producción y el transporte.

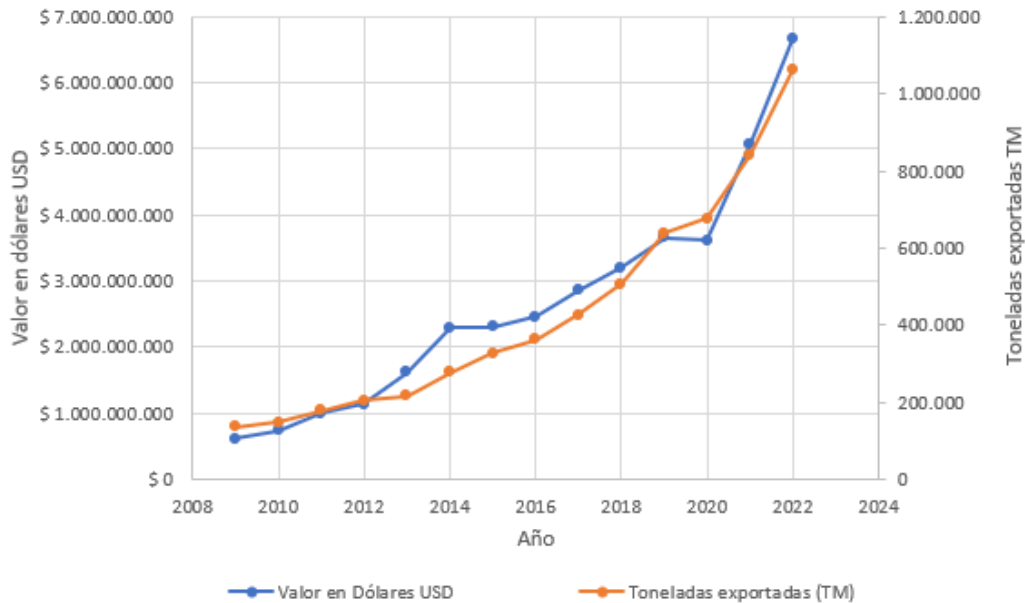


Figura 1.1 Exportaciones ecuatorianas de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* e ingresos por este concepto en el periodo 2008-2022. Fuente: CNA (2023)

La alimentación es uno de los factores de producción más críticos en acuicultura, ya que representan el 40-60% de los costes operativos (Tan et al., 2005; Naylor et al., 2009; Tacon et al., 2013), por lo que su gestión adecuada es fundamental para maximizar las ganancias mediante la optimización de la eficiencia, un mayor crecimiento y la reducción de los impactos ambientales (Weldon et al., 2021).

Las estrategias de alimentación son fundamentales para la rentabilidad de la producción (Arnold et al., 2016). Sin embargo, hasta la fecha, el reparto del alimento en varias comidas es un tema contradictorio, y algunos autores sugieren que la alimentación múltiple puede no ser ventajosa o no tener ningún efecto sobre el rendimiento (Pontes, 2015; Smith et al., 2002) mientras que otros indican que una mayor frecuencia de alimentación puede mejorar el crecimiento y mejorar la utilización del alimento (Aalimahmoudi et al., 2016; Napaumpaiporn et al., 2013; Nunes et al., 2018). Más allá de la información contradictoria sobre la frecuencia de alimentación, hasta la fecha no se han abordado los efectos de otras variables como el tamaño de la ración o la composición de la fórmula que impactan en esta estrategia.

1.1 Hábitos alimenticios del camarón blanco del Pacífico en etapa de engorde

Los langostinos son crustáceos decápodos que pertenecen al suborden *Natantia*. En su estado natural cuando son muy jóvenes se adentran en aguas costeras poco profundas. Allí permanecen en el fondo, donde crecen rápidamente durante varias semanas hasta el regreso al mar (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000). Los camarones en su estado natural, y según su etapa de vida pueden ser filtradores, carroñeros y depredadores clasificándose como herbívoros, carnívoros y omnívoros (NRC, 2011).

El camarón blanco puede considerarse de hábitos onmívoros, al ser de naturaleza bentónica, se alimenta de pequeños organismos béticos y de detritus. Algunos autores han reportado que el contenido del estómago de *L. vannamei* reveló la presencia de materia orgánica o detritus, que parece constituir una amplia proporción de su alimento. También se ha descrito la presencia de copépodos, nauplios de microcrustáceos y copépodos adultos en el contenido estomacal de *L. vannamei*.

Existe controversia acerca de la contribución de las algas a la alimentación de *L. vannamei*; mientras que algunos autores consideran que la presencia de estas algas en el aparato digestivo es accidental, otros autores sostienen que las microalgas son una importante fuente de alimentos para camarones peneidos. (Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2005).

En los camarones, la boca se encuentra rodeada por diversos pares de apéndices especializados en diferentes funciones, como sujetar (periópodos), realizar la recepción química (antenas y anténulas), y separar el alimento en fragmentos (maxilas, mandíbulas y maxilípedos). Las mencionadas estructuras posibilitan la sujeción, manipulación, localización y la fragmentación de los alimentos hasta alcanzar un tamaño apropiado para ser introducidos en la boca. (Galicia-González, 2009).

L. vannamei mastica los alimentos únicamente con las mandíbulas antes de la ingestión. Durante la alimentación, se cree que el proceso incisivo se utiliza principalmente para cortar y desgarrar partículas de alimentos en porciones más manejables (Kawamura et al., 2018)

En los crustáceos el estómago que es el encargado de “moler” el alimento, tiene un tamaño relativamente muy pequeño comparado con el resto del cuerpo, y tiene muy poca capacidad como molino gástrico. Hasta que las partículas del alimento no se hayan molido y disgregado no pasarán a la glándula digestiva por lo que el proceso requiere de tiempo. La capacidad física, por tanto, del estómago del camarón es limitada. Tan sólo 75 minutos después de haber ingerido alimento, esta capacidad digestiva del animal vuelve a ser aproximadamente del 90% mientras que a los 32 minutos se constató una capacidad del 75% (Schwamborn y Criales, 2000).

En sistemas extensivos la productividad natural puede dominar sobre el alimento suministrado exógenamente. Por el contrario, en sistemas intensivos la contribución del alimento natural es mínima o inexistente. El contenido estomacal de los camarones revela que se alimentan una variedad de especies como moluscos, anélidos, nemátodos equinodermos, e inclusive otros crustáceos. Entre el material vegetal se ha encontrado semillas, algas, macrófitos y detritos es decir *L. vannamei* se alimenta de zooplacton y fitoplacton así como de flóculos formados por bacterias (Porchas-Cornejo et al., 2012). Existen algunas especies que han desarrollado hábitos más carnívoros que otras.

El intestino de los camarones peneidos es recto y consta de tres secciones principales: intestino anterior, intestino medio e intestino posterior. La digestión en especies peneidas es una combinación de procesos mecánicos y químicos, siendo el hepatopáncreas un órgano que juega un papel central en el proceso metabólico. Tiene funciones similares a la del hígado en los vertebrados. Su sistema de secreción de enzimas es comparable al del páncreas de los vertebrados (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000).

Otro factor que probablemente afecte las conductas alimentarias de los camarones es el estadio de muda (Dall et al., 1990). La muda puede tener efectos sustanciales sobre la actividad general (como la locomoción y la natación), pero es particularmente importante en la alimentación (Chan et al., 1988; Lemos y Weissman, 2021). De hecho, se ha observado que los peneidos suprimen la actividad alimentaria en las etapas preliminares y posteriores a la muda (Dall, 1986,1990; Chan et al.,1988; Casillas-Hernández et al., 2006). Es importante

destacar que, dependiendo de su estadio de muda, los camarones pueden mostrar más o menos sensibilidad al estrés (Wajsbrodt et al., 1990) y esto puede tener una influencia adicional (Heales et al., 1996) contribuyendo potencialmente al estrés individual (Bardera et al., 2018).

1.2 Necesidades nutritivas del camarón

Las necesidades nutritivas del camarón blanco del Pacífico pueden variar según la etapa de desarrollo. Los camarones en fase de post-larva, por ejemplo, requieren una dieta nutricionalmente diferente a la de camarones juveniles. El rango en estas fases en cuanto a proteína se encuentra entre 35-40% (NRC, 2011).

Entre los nutrientes que han sido objeto de un extenso análisis se encuentran las proteínas, ya que su papel es esencial en la estructura y funcionamiento de todos los seres vivos. Además, estas proteínas tienen un impacto económico considerable en los costes de producción de alimentos procesados (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000; Eusebio, 1991; Sarac et al., 1993; Naylor et al., 2009). Múltiples investigaciones han demostrado que para la mayoría de las especies y tamaños de camarones peneidos, las necesidades proteicas oscilan en el rango del 30 al 57% (Akiyama et al., 1989). Según Sedgwick (1979) un equilibrio apropiado de proteínas en la dieta es esencial para lograr un crecimiento óptimo y minimizar la utilización de energía en la producción. Kanazawa et al. (1984) sugieren que las necesidades de energía y proteína del camarón están interconectadas y no deben estudiarse por separado. El entendimiento de la relación entre proteínas y energía es un aspecto crucial para determinar otros requerimientos nutricionales (Ruvalcaba-Márquez et al. 2021).

En crustáceos, el nivel óptimo de proteína es determinado en base a los datos de crecimiento usando diferentes niveles de proteína, lo que se define como la mínima cantidad de este nutriente necesario para lograr un crecimiento máximo. Los resultados de los ensayos a nivel de laboratorio han mostrado amplias variaciones en los requerimientos reportados, desde el 20% (Velasco et al., 2000) hasta un 40% (Molina-Poveda, 2016; Lee & Lee, 2018).

A este respecto Lee y Lee (2018) reportaron un estudio con 3 dietas para investigar el requerimiento de proteína en *L. vannamei* en tres diferentes estadios de crecimiento con seis dietas experimentales de 25, 30, 35, 40, 45 y 50% de proteína respectivamente, estos estudios fueron realizados con camarón de 3 diferentes tallas 0,65; 4,80 y 10,6 gramos. Al final del ensayo los resultados indicaron que el nivel óptimo de proteína dietética es de 34,5 35,6 y 32,2 % para camarón blanco juvenil, sub adulto y adulto respectivamente.

Por otro lado, los lípidos constituyen un componente fundamental para la nutrición ya son importantes moléculas que sirven para mantener la integridad estructural y fisiológica de las membranas celulares, lo que está relacionado con el crecimiento y la supervivencia del animal. Adicionalmente constituyen una fuente de combustible y como reserva energética.

En nutrición de crustáceos se ha sugerido que los lípidos aportan ácidos grasos esenciales, fosfolípidos, esteroides y ciertas vitaminas liposolubles, que a su vez sirven para el buen funcionamiento del proceso fisiológico de los camarones (Jannathulla et al., 2019).

Los estudios nutricionales en crustáceos indican que el mejor crecimiento y supervivencia se consiguen cuando el nivel dietario de uno o más aceites está alrededor del 6-8% de la dieta, mientras que en estado de larva y post-larva estos requerimientos pueden ser mayores, llegando hasta el 10-12% (Xie et al., 2019). Sin embargo, en estos estudios, el nivel observado como el mejor está influenciado por la calidad y cantidad de proteína dietaria, así como también por la cantidad, tipo y disponibilidad de otras fuentes de energía y por la fuente del aceite (D' Abramo, 1989). El crecimiento del camarón es superior cuando las dietas contienen lípidos que provienen de fuentes marinas, en comparación con las fuentes de origen vegetal.

Muchos animales son capaces de sintetizar esteroides, sin embargo, los camarones, como otros crustáceos son incapaces de hacerlo *de novo*. Algunos autores han estimado el requerimiento de colesterol en camarones y otros decápodos en 0,2-0,5%. Específicamente en *L. vannamei* este requerimiento es de 0,35% (Gong et al., 2000).

En cuanto a fosfolípidos existe evidencia que indica que estos compuestos constituyen un requerimiento para algunos crustáceos, algunos trabajos indican que la lecitina por ejemplo mejora el crecimiento de *P. japonicus* cuando es incorporada al 1%.

Para post larvas de *L. vannamei* Coutteau et al. (1996) reportó que el crecimiento de camarones alimentados con 1.5% de fosfatidilcolina de soja purificada (SPC 95% de pureza) y 6.5% de lecitina de soja a la que previamente se le había extraído el aceite (DSL 23% de fosfatidilcolina) fue significativamente mayor que el de camarones que habían sido alimentados con una dieta deficiente en fosfatidilcolina.

En cuanto a la relación lípidos/proteína Ruvalcaba-Márquez et al. (2021) reportan, que una alta proporción en la dieta (0.3 lípidos/proteína) mejoró los parámetros relacionados al estado oxidativo.

1.3 Frecuencia de alimentación

Tacon et al. (2013) sugieren, por la importancia que representa, buscar mejoras en las estrategias de alimentación que permitan incrementar la rentabilidad y eficiencia. La frecuencia de alimentación, así como la restricción y sus interacciones son aspectos críticos que necesitan estudiados (Arnold et al., 2016). La industria del camarón a nivel global enfrenta una creciente presión para reducir el impacto ambiental, siendo una de las mayores preocupaciones la descarga de nutrientes hacia aguas costeras, con el potencial peligro de incrementar blooms de algas, reducir el oxígeno y la biodiversidad del medio circundante, lo que ha generado una preocupación sobre la sostenibilidad ambiental de las actividades acuícolas desde hace algunos años a nivel global. (Ahmed et al., 2019).

La mayor parte de los nutrientes que se descargan tienen su origen en el alimento formulado. Por tanto los esfuerzos para mejorar las estrategias de alimentación se deben enfocar o concentrarse en optimizar la producción y minimizar el desperdicio (Li et al., 2017; Darodes de Tailly et al., 2021).

Varios autores han realizado trabajos sobre frecuencia de alimentación y han intentado encontrar la periodicidad óptima en la alimentación del camarón blanco siendo los resultados de estos ensayos, en su gran mayoría, contradictorios. Un resumen de estos ensayos se presenta en la (Tabla 1.1) y se resaltan en negrilla las frecuencias óptimas encontradas.

Estos estudios tienen una amplia gama de resultados, probablemente debido a una gran variedad de condiciones experimentales. En algunos de ellos existe un efecto positivo de la frecuencia sobre el crecimiento, mientras que en otros no se observó mejora con la alimentación a mayor número de veces.

Tabla 1.1. Publicaciones sobre frecuencia de alimentación en varias especies de langostinos bajo condiciones controladas.

Especie	Tamaño del organismo (g)	Frecuencia de alimentación (n°/ día)	Referencia
<i>P. merguensis</i>	0,13	1,4	Sedgwick, 1979
<i>L. vannamei</i>	6,67	1,2 y 4	Robertson et al., 1993
<i>L. vannamei</i>	Exp.1: 0,185 Exp.2: 0,5-0,6	Exp.1: 3,5,8,11 y 15 Exp.2: 1,2,3,4,6 y 15	Velasco y Lawrence et al., 1999
<i>L. vannamei</i>	1,58	4,8	Tacon et al., 2002
<i>P. monodon</i>	5,6	3,4,5, y 6	Smith et al., 2002
<i>L. vannamei</i>	2,7	2,3,4,5 y 6	Carvalho y Nunes 2006
<i>L. vannamei</i>	8,04	3,4 y 7	Pontes et al., 2008
<i>F. paulensis</i>	4,7	1,2,3 y 4	Pontes et al., 2015
<i>P. monodon</i>	3,10	2 y 6	Arnold et al., 2016
<i>L. vannamei</i>	1,54	2,4 y 6	Aalimahmoudi et al., 2016
<i>L. vannamei</i>	1,06	2,4 y 10	Nunes et al., 2018

Por ejemplo Sedgwick (1979) demostró que el fraccionamiento de la ración o alimentación en múltiples raciones mejora la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia a la vez que minimiza la acumulación de alimento no consumido. Lo que coincide con los resultados de Robertson et al. (1993) quienes sugieren que

el crecimiento del camarón mejora de una forma significativa con el aumento en la frecuencia de alimentación desde una vez hasta cuatro veces al día. Asimismo, Tacon et al. (2002), demostraron que se puede llegar a un mayor peso final en camarones alimentados ocho veces en el día, en comparación con animales alimentados cuatro veces tanto en el día como en la noche.

Velasco y Lawrence (1999) no reportan de ningún efecto beneficioso del aumento de la frecuencia de alimentación (3, 5, 8, 11 y 15 dosis al día) en intervalos iguales de tiempo a lo largo de 24 horas, sobre el crecimiento o la supervivencia del camarón blanco. En un segundo experimento, los resultados tampoco revelaron diferencias en el crecimiento o en calidad de agua. Mientras que una reducción significativa del TIN (nitrógeno inorgánico total) fue registrada a una frecuencia de dos dosis al día en comparación con 1 y 3 veces. Por tanto, estos autores sugirieron que bajo las condiciones de estudio las alimentaciones múltiples no serían ventajosas para un sistema estático, y el coste-eficiencia de las alimentaciones múltiples debe evaluarse en diferentes alimentos y sistemas de producción.

En otro estudio con *L. vannamei*, Pontes et al. (2008), no encontraron resultados beneficiosos alimentando 4 y 7 veces al día en comparación con 3 veces al día. Los resultados indicaron que a mayores intervalos de tiempo (menor frecuencia) se estimulaba la búsqueda y la ingestión de alimento comparado con otras frecuencias. Tres veces al día sería según estos autores una forma de usar el alimento más eficientemente y disminuir la mano de obra y los costes asociados. La misma autora en otro estudio con *Farfantepenaeus paulensis* (Pontes, 2015) con animales de 4.7 ± 0.25 g alimentados a frecuencias de 1, 2, 3 y 4 veces al día encontraron que alimentando 2 veces al día una dieta de 35% fue suficiente para el crecimiento y sugieren que tres o cuatro veces al día podría significar un desperdicio de alimento en esta especie.

Por otro lado, Smith et al. (2002) alimentando 3, 4, 5 y 6 raciones al día no encontraron ningún beneficio con más de 3 raciones en *P. monodon* usando un alimento nutricionalmente adecuado y con alta hidroestabilidad.

Finalmente Nunes et al. (2018) demostraron que la alimentación varias veces al día da como resultado una mayor supervivencia, crecimiento y eficiencia alimenticia en juveniles de *L. vannamei*. Dentro de la recopilación realizada (Tabla 1.1), este trabajo muestra los mejores resultados, debido a que la lixiviación de nutrientes continúa imponiendo varios desafíos, los autores sugieren que el aumento en la frecuencia de alimentación sería la solución más práctica a este problema.

1.4 Procesos de manufactura del alimento y su relación con la frecuencia de alimentación

La granulación o peletización, y la extrusión son los principales métodos para la producción de alimentos acuícolas (Kamarudin et al., 2018). La mayoría de los ensayos sobre la frecuencia de alimentación se han llevado a cabo con alimento granulado, a pesar del gran potencial del alimento extruido.

El uso de un método puede impactar directamente las propiedades fisicoquímicas de las dietas (Gao et al., 2019; Peixoto et al., 2020) y, en última instancia, sobre la calidad del agua.

Los efectos del procesamiento de peletización y extrusión sobre el crecimiento de diferentes animales acuáticos son contradictorios; el proceso de extrusión mejora el crecimiento y la utilización del alimento para la trucha arco iris (Glencross y Turchini, 2011); dorada *Sparus Aurata* (Basto-Silva et al., 2022; Venou et al., 2009) perca plateada *Carassius gibelio* (Booth et al., 2002), tilapia *Oreochromis niloticus* (Amirkolaie et al., 2006; Kanmani et al., 2018), y carpa *Cyprinus carpio* (Gao et al., 2019); sin embargo, se encontró un crecimiento esencialmente similar en el bagre de canal *Ictalurus punctatus* (Xu et al., 2017).

En Asia, solo hay un 5% de alimentos extruidos para camarones frente al 95% de alimentos granulados en el mercado, mientras que en América Latina, el uso de alimentos extrusionados ha empezado a ganar un espacio importante dentro del contexto productivo (aproximadamente un 30%) debido a diferentes ventajas

que presenta, tanto desde el punto de vista nutricional como de calidad física (Rout y Bandyopadhyay, 1999; Merican, 2020).

La cocción por extrusión implica la aplicación de energía mecánica suministrada por la acción de corte y mezcla de los tornillos del extrusor. Durante el proceso, la mezcla de los ingredientes se transforma de una harina fina y fluida a un polvo denso y compacto. A medida que aumentan la temperatura y la presión en la última sección de la extrusora, la fase de polvo se funde para formar lo que se conoce como fase de fusión fluida. En la última sección de la extrusora (Figura 1.2), la fase líquida es repentinamente expuesta a presión atmosférica, causando una caída de presión, que cambia el estado del agua a vapor, dando como resultado lo que se conoce como expansión (Bortone, 2017).

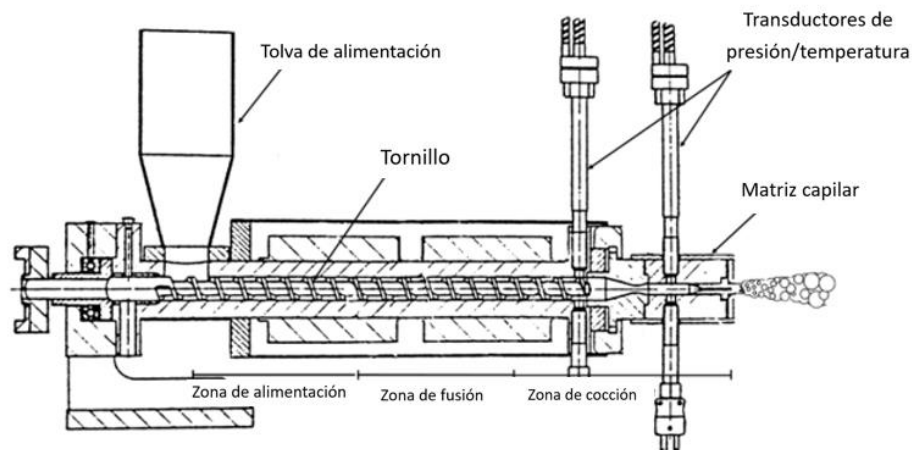


Figura 1.2. Representación esquemática de un extrusor de tornillo simple Modelo PL 2000, South Hackensack, NJ. (Singh, 2016)

La extrusión como tecnología para el procesamiento y especialmente la cocción de alimentos se adaptó desde diferentes aplicaciones (plásticos, alimentación humana etc.) a la alimentación de especies acuícolas (Sorensen, 2007; Tacon 2017; Welker et al., 2018). Específicamente en dietas para camarón, este proceso multifuncional que involucra diferentes etapas tiene varias aplicaciones (Singh et al., 2007) tanto para fases iniciales como para engorde.

A diferencia de la granulación, el proceso de extrusión incluye la cocción de la mezcla de ingredientes debido a una alta temperatura (110-140°C) y presión

(200 - 400 psi) por corto tiempo (\approx 5 segundos). Estas condiciones tienen un impacto directo sobre las propiedades fisicoquímicas del producto, que pueden afectar la durabilidad y la estabilidad de los alimentos y la calidad del agua resultante. Las condiciones durante el procesamiento también pueden incidir sobre la calidad nutricional de los ingredientes, gelatinización de almidones y por ende, influir favorablemente en la digestibilidad (Welker et al., 2018).

Sin embargo, ningún intento de comparar el desempeño, la digestibilidad y cómo los alimentos afectan la calidad del agua y las heces en *L. vannamei* ha sido realizado. Asimismo, la información sobre estudios comparativos en características fisicoquímicas es limitada.

Por tanto la presente investigación tiene como objetivo encontrar las frecuencias y horarios de alimentación que resulten en un mayor rendimiento y mejora en calidad de agua, así como los alimentos y mecanismos de dispensación que sean los más idóneos a nivel de campo para lograr este objetivo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

El objetivo de la presente serie de trabajos es valorar el efecto de la frecuencia de alimentación sobre el crecimiento, supervivencia y factor de conversión alimenticia, y rendimiento productivo del camarón blanco empleando dietas manufacturadas con dos diferentes procesos de cocción y usando diferentes técnicas de dispensación para la distribución del alimento.

1.5.1.1. Objetivos específicos

- Comparar diferentes frecuencias de alimentación y su influencia en la respuesta alimenticia del camarón.
- Ensayar dietas con diferentes atractantes para diferentes frecuencias de alimentación.

- Verificar el impacto sobre el crecimiento del camarón alimentado con dietas administradas a diferentes frecuencias y porcentajes de restricción.
- Evaluar el efecto del uso de diferentes técnicas de alimentación, manual y con alimentadores automáticos.

CAPÍTULO II

Efecto de la frecuencia de alimentación sobre la calidad del agua y el crecimiento de *Litopenaeus vannamei* alimentado con dietas extruidas y peletizadas

2.1 Introducción

La industria de camarón enfrenta una presión cada vez mayor para reducir su impacto ambiental (Zhu et al., 2018; Yan et al., 2020), siendo la descarga de nutrientes en las aguas costeras un desafío importante, lo que potencialmente contribuye a la disminución del oxígeno disuelto, aumento de la proliferación de algas y reducción de la biodiversidad. En consecuencia, todos los esfuerzos para mejorar las estrategias de alimentación actualmente tienden a optimizar la producción y minimizar el desperdicio, ya que la mayoría de los nutrientes vertidos en las granjas camaroneras tienen su origen en alimentos formulados.

La relación entre el rendimiento y el número de horas de alimentación distribuidas a lo largo del día ha sido estudiada en *L. vannamei* durante décadas con resultados variados y contradictorios (Sedgwick, 1976; Robertson et al., 1993; Velasco et al., 1999; Tacon et al., 2002; Pontes et al., 2006; Napaumpaiporn et al., 2013; Aalimahmoudi et al., 2016; Jescovitch et al., 2018; Nunes et al., 2019).

Estos trabajos sobre la frecuencia de alimentación del camarón tienen una amplia gama de resultados, probablemente debido a una amplia variedad de condiciones experimentales. En algunos de ellos existe un efecto positivo de la frecuencia en el crecimiento, mientras que en otros no se observó mejora con una alimentación más frecuente. Entender cual es la frecuencia más adecuada y la cantidad óptima de alimento ofrecido es crucial en el manejo de la producción de camarón, de tal modo que se asegure el máximo consumo con el mínimo desperdicio (Arnold et al., 2016). La mayoría de las pruebas de frecuencia de alimentación con camarones se han realizado con alimento granulado a pesar de que el uso de alimento extruido ha ganado espacio en los últimos años (Welker et al., 2018; Kavalek y Plachy, 2019), especialmente en América Latina, donde el alimento fabricado por extrusión es cada vez más común (Merican, 2020).

La granulación y la extrusión han sido los dos métodos más comunes de fabricación de alimentos acuícolas (Kamarudin et al., 2018). El uso de uno u otro puede impactar (Kavalek y Plachy, 2019) directamente las propiedades fisicoquímicas de las dietas (Gao et al., 2019; Peixoto, Soares, y Allen Davis,

2020) la calidad del agua, la cantidad de desechos generados por lixiviación, el alimento residual, el material no digerido y en última instancia, el impacto ambiental de la producción de camarón. La cocción por extrusión implica la aplicación de energía mecánica suministrada por la acción de corte y mezcla de los tornillos del extrusor. En este proceso, una mezcla de harinas finamente molidas se transforman a una temperatura y presión durante el proceso. A medida que aumentan estas temperaturas la presiones en la extrusora, la mezcla de polvo y agua se transforma para formar lo que se conoce como fase fluida (Bortone, 2017). A diferencia de la granulación, el proceso de extrusión implica una temperatura de cocción de alrededor de 120-150 °C y presión de 2000-4800 kPa donde la mezcla de ingredientes se somete a fuerzas de corte.

Los efectos del procesamiento por granulado y extrusión sobre los diferentes comportamientos de crecimiento de los animales acuáticos son incongruentes. El procesamiento por extrusión ha mejorado el crecimiento y la utilización del alimento de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Glencross et al., 2011); Perca, *Bidyanus bidyanus* (Booth et al., 2002), tilapia *Oreochromis niloticus* (Amirkolaie et al., 2006; Kanmani et al., 2018), dorada, *Sparus aurata* (Venou et al., 2009; Basto-Silva et al., 2022), carpa, Gibel *Carassius gibelio* (Gao et al., 2019) y camarón blanco del Pacífico *L. vannamei* (Tacon et al., 2003; Chamberlain, 2004; Molina y Espinoza, 2019). Sin embargo, se encontró un crecimiento básicamente similar en el bagre de canal *Ictalurus punctatus* (Xu et al., 2017), y en langostino tigre *P. monodon* y el camarón blanco del Pacífico *L. vannamei*, respectivamente (Rout y Bandyopadhyay, 1999; Soares et al., 2021).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es determinar el efecto de la frecuencia de alimentación con dietas procesadas por granulación o extrusión sobre el incremento de peso, la tasa de conversión alimenticia, la supervivencia y la calidad del agua para los juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*).

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Diseño experimental

Durante ocho semanas, los animales fueron alimentados con dietas comerciales fabricadas mediante dos procesos diferentes: extrusión y granulación. El diseño contó con un total de ocho tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Los camarones se mantuvieron durante el experimento en agua de mar filtrada a $27 \pm 0,1$ °C, $38 \pm 0,2$ g/L, $5,50 \pm 0,2$ mg/L de oxígeno disuelto y pH $7,6 \pm 1,4$. Se mantuvo un fotoperíodo de 12:12 h de ciclo de luz/oscuridad (fotofase 06:00-18:00 h) durante todo el experimento utilizando tubos de 28 W para una intensidad de ~ 490 lux.

2.2.2 Sistema experimental

El sistema experimental consistió en 32 tanques rectangulares de fibra de vidrio de 60 L, que cuentan con una única entrada de agua de mar filtrada a través de un filtro de arena (70 μ), un filtro de cartucho (10 μ) y luz ultravioleta. La temperatura del agua en los tanques se controlaba mediante calentadores sumergibles de 250 W. La aireación fue proporcionada por una bomba externa en cada tanque, lo que creó un flujo de agua suave dentro de los tanques para no causar lixiviación del alimento. En todos los tanques se realizó un intercambio de agua del 75%/día una vez al día a las 08:00 h. La iluminación del sistema experimental fue controlada por un reloj para mantener un fotoperíodo constante de 12 h de luz/12 h de oscuridad; la fotofase fue de 06:00 a 18:00 h.

2.2.3 Dietas

Las dietas extruidas y en granuladas se fabricaron mediante métodos comerciales (Gisis S.A., Durán, Ecuador) y se formularon para cumplir los requerimientos nutricionales establecidos por la National Research Council (NRC 2011).

Las dietas se formularon con soya, trigo, harina de pescado, y premixes de vitaminas y minerales para que fueran equivalentes, con una combinación de ingredientes que coinciden en un 96% y se produjeron con las mismas especificaciones de molienda. El diámetro del alimento granulado fue de $1,83 \pm$

0,08 mm y $4,02 \pm 0,38$ mm de longitud, mientras que el alimento extruido tenía $1,83 \pm 0,06$ mm y $3,15 \pm 0,31$ mm de longitud. Los valores de nutrientes de la dieta fueron 35% de proteína cruda y 7% de grasa.

2.2.4 Organismos experimentales

Cinco mil camarones fueron recolectados de un estanque de engorde (Rancho Arroyo Seco, Baja California Sur, México), transferidos al Laboratorio de Nutrición Acuática del CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) en La Paz, Baja California Sur, México. Los organismos se aclimataron a condiciones de laboratorio (temperatura $27 \pm 0,5$ °C, salinidad 38 ± 1 g/L y oxígeno disuelto > 5 mg/L) y se mantuvieron durante una semana en varios tanques de fibra de vidrio de 1200 L abastecidos con agua de mar filtrada (50 % de reposición de agua diaria). Los camarones fueron alimentados dos veces al día con una dieta comercial que contenía 35% de proteína hasta que alcanzaron aproximadamente 1 g. Justo antes de la siembra, se seleccionaron al azar 100 camarones y se pesaron individualmente con una precisión de 0,01 g (Ohaus® Scout® Pro Balance, Ohaus Corporation, Nueva Jersey, EE. UU.) para estimar la media y las desviaciones estándar.

2.2.5 Prueba de crecimiento

Los camarones se pesaron individualmente, se seleccionaron de acuerdo con el peso requerido según el diseño experimental y se sembraron aleatoriamente a una densidad de 8 organismos/tanque.

El coeficiente de variación (CV) fue inferior al 10%. La media \pm desviación estándar (DE) en todos los tanques fue de $1,00 \pm 0,03$ g. Se asignaron aleatoriamente cuatro tanques replicados para cada tratamiento. Cada tanque estaba equipado con un calentador sumergible de 250 W y una bomba tipo "airlift".

Al inicio de la prueba, se suministró alimento al 8% de la biomasa en cada tanque. Posteriormente, el alimento no consumido se eliminó en todos los tratamientos mediante sifón y se anotó (contó) en cada tanque diariamente a las 08:00 h. Se estimó la cantidad de alimento no consumido (número de unidades

x peso promedio de las unidades) y se ajustó a la siguiente ración diaria de acuerdo con este dato.

El alimento se administró ligeramente por sobre la saciedad esperada, asegurando un exceso marginal. La ración diaria completa se pesó, registró y dividió en cantidades similares por volumen.

Las cantidades diarias de alimento se dividieron en cuatro frecuencias de alimento (dosis) para cada tratamiento:

- (F1) una vez/día (10:00 h);
- (F2) dos veces/día (10:00 y 12:00 h);
- (F3) cuatro veces/día (10:00, 12:00, 15:00, 18:00 h);
- (F4) seis veces/día (10:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00, 24:00 h).

Las dos primeras raciones se administraron manualmente, mientras que los siguientes tratamientos se alimentaron utilizando el alimentador automático Fish Mate F14 (Pet Mate, Surrey, Reino Unido) por razones logísticas.

Al inicio del día se registró la supervivencia. Los alimentadores automáticos se verificaron visualmente y se registró cualquier alimento restante. Se controlaron el oxígeno disuelto, el pH y la salinidad en cada tanque tres veces por semana.

La temperatura fue monitoreada todos los días en cada tanque. Parámetros del agua, como el nitrógeno amoniacal total (TAN) y el nitrito fueron analizados cada 20 días mediante un kit colorimétrico (Aquarium Pharmaceuticals, Mars Fishcare North America, Inc. Chalfont, Pensilvania, EE. UU.).

2.2.6 Cálculos

El crecimiento y la supervivencia de *Litopenaeus vannamei* para todos los grupos se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Crecimiento semanal (g/semana)} = (W_f - W_i)/\text{semanas}$$

$$\text{Supervivencia (\%)} = \text{número final de camarones/número inicial de camarones} \times 100$$

Tasa de crecimiento específico (SGR) = $(\ln W_f - \ln W_i)/t$

Consumo diario de alimento (DFI) = $100 \times \text{consumo de alimento (g)}/\text{biomasa promedio (g)} \times t$

Conversión alimenticia (FCR) = $T_f/(W_f - W_i)$

Donde: W_f representa el peso final (g), W_i es el peso inicial (g), T_f es el consumo total de alimento (g), t =tiempo en días.

2.2.7 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando Statgraphics® Centurion™ XVII (Copyright 1982-2014 Statpoint Technologies, Inc, Warrenton, VA, EE. UU.). El crecimiento, la supervivencia y el FCR se analizaron mediante análisis de varianza de una y dos vías (ANDEVA) para determinar si existían diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos. Se utilizó la prueba de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey para la separación de medias para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos. El modelo estadístico incluyó el proceso de fabricación y la frecuencia de alimentación como efectos principales.

2.3 Resultados

La supervivencia general del camarón después de la prueba de alimentación de 60 días fue alta con ambos tipos de pienso, oscilando entre 97 y 100% con un promedio de $98 \pm 2\%$ ($n=32$) y no fue significativamente diferente entre tratamientos ($p > 0.05$).

La Tabla 2.1 muestra el efecto de los alimentos granulados y la frecuencia de alimentación sobre los parámetros zootécnicos y la utilización del alimento. El peso final de los camarones alimentados con alimento granulado varió de 7,74 a 8,17 g, la biomasa final de 61,76 a 65,34 g y no se detectaron diferencias significativas independientemente de la frecuencia de alimentación. Sin embargo, se observó un ligero aumento en la biomasa final cuando los camarones fueron alimentados dos veces al día en comparación con el resto de los tratamientos.

El crecimiento semanal varió de 0,79 a 0,84 g/semana (Tabla 2.1) y no se detectaron diferencias entre tratamientos ($p>0,05$). El consumo diario de alimento (4,30 a 4,38 g 100/g de camarón/día) y el FCR (1,65 a 1,69) no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos ($p>0,05$) en cada frecuencia ensayada.

Tabla 2.1 Desempeño biológico (media \pm DE) del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (peso inicial = 1 g) en un ensayo llevado a cabo en tanques de 60 L suministrando alimento **granulado** en cuatro diferentes frecuencias de alimentación durante 60 días. Número de réplicas por tratamiento = 4.

Frecuencia (dose/day)	Superv. (%)	Peso final (g)	Biomasa final (g)	Crecimiento semanal (g/semana)	DFI (g*100/biomasa (g)*día)	FCR
1	97 ± 6	7.96 ± 0.32	61.76 ± 5.52	0.82 ± 0.04	4.38 ± 0.38	1.66 ± 0.13
2	100 ± 0	8.17 ± 0.66	65.34 ± 5.26	0.84 ± 0.08	4.30 ± 0.06	1.66 ± 0.05
4	97 ± 6	8.10 ± 0.40	62.82 ± 5.50	0.83 ± 0.05	4.33 ± 0.07	1.65 ± 0.04
6	100 ± 0	7.74 ± 0.79	61.94 ± 6.35	0.79 ± 0.09	4.31 ± 0.21	1.69 ± 0.12

Las medias en la misma columna sin superíndices son estadísticamente iguales ($p>0,05$). DFI=consumo diario de alimento; FCR = índice de conversión alimenticia; DE=desviación estándar.

La Tabla 2.2 muestra el efecto de los alimentos extruidos y la frecuencia de alimentación sobre los parámetros zootécnicos y la utilización del alimento. El peso final medio (9,26 g) de los camarones alimentados con la frecuencia F1 fue significativamente mayor que el de los camarones alimentados con F4 (7,96 g), mientras que no se observaron diferencias en comparación con los camarones alimentados con F2 y F6 ($p>0,05$).

La biomasa final estuvo en un rango de 61,91 a 71,68 g. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p>0.05$), los camarones de los tratamientos F1 y F2 mostraron biomasa ligeramente mayor que los de los tratamientos F4 y F6.

La tasa de crecimiento de los camarones alimentados con F1 (0,96 g/semana) fue mayor ($p<0,05$) que los alimentados con F4 y F6 (0,81 y 0,83 g/semana), mientras que no se detectaron diferencias significativas en comparación con los camarones alimentados con F2. Además, no se detectaron diferencias en las tasas de crecimiento entre los tratamientos F4 y F6. El consumo diario de alimento fue estadísticamente diferente para los camarones alimentados con alimento extruido en F1 y F2 en comparación con los otros tratamientos. La tasa de conversión alimenticia del alimento extruido fue mayor en F1 y F2 en comparación con F4 y F6 ($p<0,05$).

Tabla 2.2 Parámetros zootécnicos y utilización de alimento (media \pm DE; n=4) de juveniles de *L. vannamei* (peso inicial=1 g) en un ensayo llevado a cabo en tanques de 60 L suministrando alimento **extruido** en cuatro diferentes frecuencias durante 60 días

Frecuencia (dosis/ día)	Superviv (%)	Peso final (g)	Biomasa final (g)	Crecimiento semanal (g/semana)	DFI (g*100/biomasa (g)*día)	FCR
1	97 $\pm 6^{a*}$	9.26 $\pm 0.48^b$	71.68 $\pm 4.58^a$	0.96 $\pm 0.05^b$	5.42 $\pm 0.35^b$	1.99 $\pm 0.08^a$
2	100 $\pm 0^a$	8.90 $\pm 0.45^{ab}$	71.16 $\pm 3.60^a$	0.92 $\pm 0.05^{ab}$	5.38 $\pm 0.64^b$	2.02 $\pm 0.25^a$
4	97 $\pm 6^a$	7.96 $\pm 0.50^a$	61.91 $\pm 7.34^a$	0.81 $\pm 0.06^a$	4.34 $\pm 0.17^a$	1.66 $\pm 0.08^b$
6	97 $\pm 6^a$	8.10 $\pm 0.82^{ab}$	62.48 $\pm 3.86^a$	0.83 $\pm 0.09^a$	4.13 $\pm 0.31^a$	1.57 $\pm 0.05^b$

Las medias en la misma columna con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($p<0,05$). DFI=consumo diario de alimento; FCR = índice de conversión alimenticia

Tabla 2.3. Tasa de crecimiento de *L. vannamei* (media \pm DE; g/semana) después de ocho semanas de ensayo con alimento extruido y granulado a cuatro diferentes frecuencias de alimentación: una, dos, cuatro y seis veces al día.

	Frecuencia	1	2	4	6	Promedio
Dieta A (extruida)		0.89 \pm 0.07	0.88 \pm 0.04	0.82 \pm 0.01	0.81 \pm 0.02	0.88 \pm 0.04^a
Dieta B (granulada)						0.82 \pm 0.01^b

Tabla 2.4 Factor de conversión alimenticia (media \pm DE) después de ocho semanas de ensayo con juveniles de *L. vannamei* alimentados con dos dietas diferentes (extruidas y granuladas) en cuatro frecuencias: una, dos, cuatro y seis veces al día.

	Frecuencia	1	2	4	6	Media
Dieta A (extruida)		1.82 \pm 0.17	1.84 \pm 0.18	1.65 \pm 0.00	1.63 \pm 0.06	1.83 \pm 0.12^a
Dieta B (granulada)						1.66 \pm 0.01^b

Tabla 2.5. Análisis de varianza dos vías del proceso de fabricación \times efecto de la frecuencia de alimentación sobre la tasa de crecimiento de *Litopenaeus vannamei* después de ocho semanas de ensayo.

	Sum sq.	df	Mean sq.	F value	Pr (>F)
Frecuencia	0.0411	3	0.0137	3.16	0.0432
Proceso de manufactura	0.0345	1	0.0345	7.94	0.0095
Frecuencia x proceso de manufactura	0.0284	3	0.0095	2.19	0.1159
Residuales	0.1041	24	0.0043		

Sum sq.=suma de cuadrados; df=grados de libertad; Mean sq. = cuadrado medio; Pr=probabilidad

Tabla 2.6 Análisis de varianza dos vías del proceso de fabricación × efecto de frecuencia sobre el factor de conversión alimenticia (FCR) de juveniles de *Litopenaeus vannamei* después de ocho semanas de ensayo.

	Sum sq.	df	Mean sq.	F value	Pr (>F)
Frecuencia	0.2914	3	0.0971	6.94	0.0016
Proceso de manufactura	0.1711	1	0.1711	12.23	0.0019
Frecuencia x proceso de manufactura	0.3454	3	0.1151	8.23	0.0006
Residuales	0.3358	24	0.0140		

Sum sq=suma de cuadrados; df=grados de libertad; Mean sq. = cuadrado medio; Pr=probabilidad

Cuando se promediaron todos los datos por proceso de fabricación y frecuencias de alimentación, el crecimiento semanal del camarón (g/semana) fue significativamente mayor ($p < 0,05$) cuando se alimentó con alimento extruido (0,88 g/semana) en comparación con el alimento granulado (0,82 g/semana) (Tabla 2.3). El FCR medio de los camarones alimentados con la dieta extruida fue mayor que la de los alimentados con pienso granulado (1,83 frente a 1,66) (Tabla 2.4).

El ANDEVA de dos vías reveló una interacción significativa ($p < 0,05$) entre el tipo de alimento y la frecuencia de alimentación en el FCR (Tabla 2.6) mientras que no se encontraron interacciones en la tasa de crecimiento (Tabla 2.5).

Las figuras 2.1 y 2.2 muestran los parámetros de calidad del agua. Las concentraciones promedio de Amonio total variaron de 0,43 a 0,68 mg/L en alimento extruido y de 0,59 a 0,73 mg/L en alimento granulado. El nitrito fluctuó entre 0,29 y 1,75 mg/L en el alimento extruido, mientras que en el alimento granulado los valores oscilaron entre 0,25 y 0,46 mg/L.

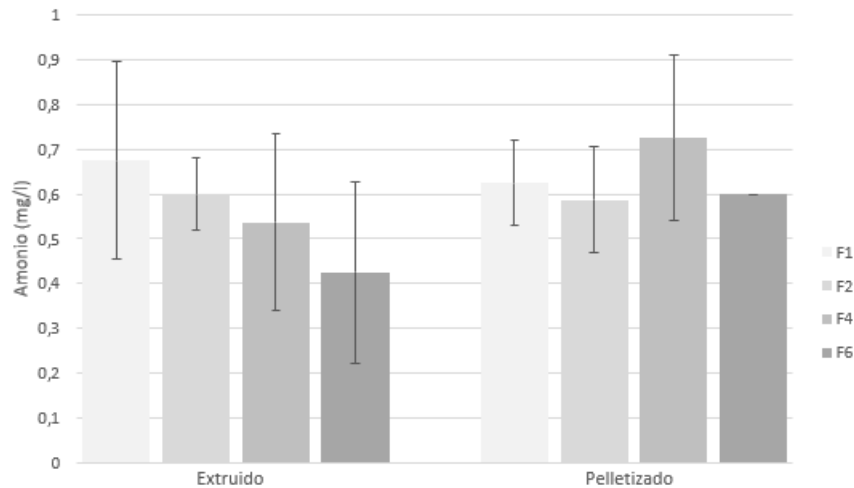


Figura 2.1 Comparación del promedio (n=4) de nitrógeno amoniacal en el agua cuando se alimentó con dietas extruidas y granuladas en una durante 60 días a juveniles de *Litopenaeus vannamei* a diferentes frecuencias: una vez (F1), dos veces (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$)

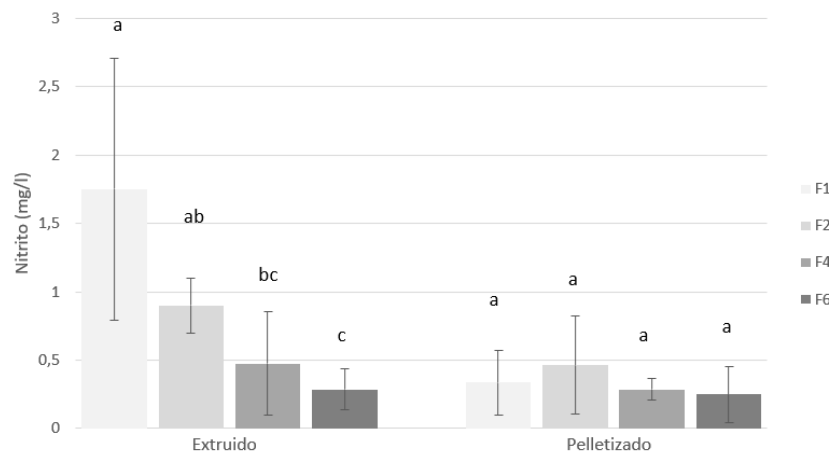


Figura 2.2 Comparación del promedio (n=4) del nitrito en agua cuando se alimenta durante 60 días con dietas extruidas y granuladas a juveniles de *Litopenaeus vannamei* con diferentes frecuencias: una vez (F1), dos veces (F2), cuatro (F4) y seis (F6) veces al día. Diferentes superíndices dentro de cada proceso de fabricación (extruido o granulado) indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Aunque no se detectaron diferencias estadísticas para el amonio entre los tratamientos, se observó una tendencia decreciente en los tratamientos de alimento extruido a medida que la frecuencia aumentó de 0,68 en F1 a 0,43 mg/L en F6. No se observó relación entre la frecuencia de alimentación y el Amonio en los tratamientos con alimento granulado que estuvieron alrededor de 0,63 mg/L con excepción del F4 en el que el amonio alcanzó 0,73 mg/L ($p > 0,05$).

Las concentraciones promedio de nitrito total oscilaron entre 1,75 y 0,29 mg/L en el alimento extruido, y se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 2.2). Con el alimento extruido, el nivel de nitrito disminuyó significativamente a medida que aumentó la frecuencia de alimentación. El nitrito en F1 fue significativamente mayor que en F4 y F6, pero similar a F2. Los tratamientos F2 y F4 fueron similares entre sí, y el tratamiento F2 fue significativamente mayor que el F6 ($p < 0,05$).

Con el alimento granulado no se observaron diferencias o tendencias significativas en el nitrito como efecto de las diferentes frecuencias de alimentación ya que los niveles oscilaron alrededor de $0,33 \pm 0,22$ mg/L, excepto para el tratamiento F2 en el que el nitrito alcanzó 0,46 mg/L ($p > 0,05$).

2.4 Discusión

2.4.1 Efecto de la frecuencia de alimentación sobre el rendimiento de *Litopenaeus vannamei*

El presente estudio encontró efectos significativos de la frecuencia de alimentación sobre el crecimiento y la utilización del alimento en juveniles de *L. vannamei*. En nuestras condiciones experimentales, se observó una alta supervivencia con los dos tipos de dietas independientemente de la frecuencia de alimentación utilizada, así como la tendencia del peso final a disminuir a medida que aumentaba la frecuencia. El tratamiento F4 fue significativamente menor que el F1 pero similar al F2 y al F6. Para comprender los resultados se deben considerar las horas en las que se intensificó la frecuencia, ya que la fisiología digestiva y enzimática de *L. vannamei* está ligada a ritmos circadianos bifásicos.

Casillas-Hernández et al. (2006) observaron que *L. vannamei* mostraba un ritmo circadiano bifásico de la actividad enzimática con un primer pico diurno de alta intensidad y un segundo de menor nivel en horas de la noche. Además, los autores encontraron que la alimentación dos horas antes del pico de actividad enzimática resultó en una tasa de crecimiento, peso final y supervivencia

significativamente mayores en comparación con los camarones alimentados durante los picos de actividad enzimática.

En el presente estudio, los camarones alimentados con F4 tuvieron su última dosis a las 18:00 h cuando comenzó la fase de oscuridad, a diferencia del camarón alimentado con F1 en el que el alimento fue entregado en su totalidad en horario diurno. Además, la dosis F1 se administró antes de las 12:00 h y las 14:00 h, cuando varios autores han informado que las actividades enzimáticas y la exploración del sustrato de *L. vannamei* están en su punto máximo (Molina et al., 2000; Pontes y Arruda, 2005). Además, las dosis a las 15:00 h se administraron después de la concentración máxima enzimática informada por los autores citados anteriormente. Por tanto, F4 y F6 tenían varias limitaciones en comparación con F1. Sin embargo, el tratamiento F6 tuvo dos estímulos alimentarios más a las 21:00 y 24:00 h. Aunque este horario fue nocturno, probablemente tuvieron algún efecto sobre el crecimiento, aunque mínimo, provocando un peso final ligeramente superior en F6 respecto a F4.

El análisis en F2 muestra que los camarones en este tratamiento probablemente fueron alimentados durante el pico enzimático en su segunda dosis (12:00 h), lo cual es una desventaja en comparación con F1 cuando todo el alimento se entregó dos horas antes de las 12:00 h. Por lo tanto, la respuesta de los camarones alimentados con F2 tiende a ser menor que la de F1. El tratamiento F2 fue igual al F6, probablemente porque este último recibió un aporte adicional de alimento en las últimas dosis cercanas a un segundo pico enzimático, lo que produjo una ligera mejoría en el crecimiento.

El camarón blanco del Pacífico tiene hábitos alimentarios diferentes en comparación con otros camarones peneidos (Reymond y Lagardère, 1990; Nunes et al., 1996). Si bien la mayoría de los peneidos son activos durante la noche y excavan el fondo durante el día (Hindley, 1975), *L. vannamei* parece ser más activo alimentándose durante el día (Pontes et al., 2006; Nunes et al., 2019) por lo que sus repertorios de comportamiento son diferentes de otros peneidos y se han adquirido utilizando diferentes métodos (Bardera et al., 2019).

La actividad enzimática en diferentes horas del día podría proporcionar evidencia adicional para comprender los resultados obtenidos en nuestro experimento. Molina et al. (2000) reportan una actividad específica de proteasa, amilasa y lipasa más alta con un pico máximo a las 14:00 h; su resultado concuerda con el experimento de alimentación mencionado anteriormente, donde Pontes y Arruda (2005) también observaron que el tiempo de exploración del sustrato fue más intenso en la fase luminosa con un pico a las 14:00 h. El objetivo de las enzimas digestivas es degradar el alimento ingerido y transformarlo en unidades absorbibles. La tripsina es una de las proteasas más importantes en los crustáceos (Aguñaga-Cruz et al., 2019). La actividad de las endopeptidasas intestinales cambia durante la alimentación y los ciclos de ayuno se correlacionan con la cantidad de alimento en el intestino; la asignación de alimento debe cumplir condiciones específicas según la concentración de las enzimas digestivas y su patrón circadiano (Gillannejad et al., 2021).

En nuestro experimento, las dosis de alimento en horario diurno (una y dos veces) se proporcionaron de 10:00 a 18:00 h que está dentro del rango de actividad enzimática máxima (Molina et al., 2000). De acuerdo con lo expuesto anteriormente, los períodos de alimentación con mayor impacto positivo en el crecimiento fueron los administrados durante el día.

La luz es una señal ambiental esencial en los animales acuáticos que afecta el crecimiento, el comportamiento y la fisiología. Chen et al. (2022) y Pontes y Arruda (2005) estudiaron el comportamiento alimentario de *L. vannamei* en función de fotoperiodos artificiales de luz y oscuridad.

Sus resultados indican que el tiempo de alimentación fue mayor en la media hora siguiente a la oferta de alimento, especialmente durante la fase de luz, mientras que la natación se produjo principalmente durante la fase de oscuridad. La exploración del sustrato, que caracteriza la búsqueda de alimento, ocurrió tanto en la fase de oscuridad como de luz, y el pico más intenso ocurrió siete horas después del inicio de la fase de luz, lo que lo indica como el momento óptimo de oferta de alimentación. De acuerdo con los resultados obtenidos por Pontes y Arruda (2005), en las condiciones del presente estudio, aumentar la frecuencia de alimentación en algunas horas nocturnas no mejoró el crecimiento.

La frecuencia más alta (seis veces al día) incluyó dos tomas en la noche (21:00 y 24:00 h), y probablemente en estas horas los camarones podrían disminuir su consumo debido al comportamiento reportado por Pontes y Arruda (2005) con el tratamiento F6, en el presente estudio, la condición descrita por estos autores podría haber actuado como una restricción fisiológica o una limitación de la tasa de alimentación. Sin embargo, en el tratamiento F6, un segundo pico enzimático cercano a una de las tomas nocturnas, probablemente hizo que este tratamiento no tuviera la respuesta más baja en comparación con todos los demás tratamientos.

Las alimentaciones correspondientes a F1 y F2 se realizaron dentro del rango de 10:00 a 18:00 h y lograron un peso final comparativamente mayor que F6. Estos hallazgos indican que la alimentación diurna (antes de las horas de máxima actividad enzimática) es más eficiente que la alimentación nocturna. Este resultado también está respaldado por investigaciones anteriores (Robertson y Lawrence, 1993), que reportan que la alimentación diurna provocó un mayor crecimiento en los juveniles de *L. vannamei* en comparación con la alimentación nocturna. Por lo tanto, *L. vannamei* parece ser inherentemente un animal que se alimenta más activamente durante el día que durante la noche.

En juveniles de *Litopenaeus setiferus*, Sick et al. (1973) observaron que la tasa de ingestión es directamente proporcional a la intensidad de la luz e inversamente proporcional al tiempo de exposición del alimento. Información específica sobre peneidos afirma que la mayoría de aquellos que tienen un surco adrostral muestran un patrón de actividad similar (Robertson et al., 1993; Robertson y Lawrence, 1993), generalmente son activos durante la noche y excavan durante el día. Por el contrario, las especies de camarón blanco sin surco adrostral, incluida *L. vannamei*, están activas durante el día o la noche y no excavan.

En referencia a los comportamientos exhibidos por *L. vannamei*, la natación predomina en la fase de oscuridad y la ingesta de alimento es más acentuada en la fase luminosa.

El mayor consumo durante las horas de luz se observó sólo con el alimento extruido en una y dos dosis.

Se ha informado que el alimento extruido es más hidroestable que el alimento granulado (Welker et al., 2018; Misra et al., 2002) y, en consecuencia, los camarones tienen más tiempo para consumirlo en comparación con la dieta granulada. Por otro lado, la calidad física y nutricional disminuyó en una y dos dosis debido a una menor hidroestabilidad a medida que avanzaba el día con la dieta granulada. En una y dos veces al día, los resultados sugieren un menor consumo con el alimento granulado en comparación con los camarones alimentados con la dieta extruida con las mismas frecuencias.

En el presente estudio, el alimento extruido demostró tener un efecto combinado con la frecuencia de alimentación, ya que se observó interacción en el FCR. La alimentación restrictiva produce el uso más eficiente del alimento, aunque a costa del incremento de peso. A medida que se acerca la ganancia máxima, se observa un punto de inflexión al 101% de la tasa de alimentación estándar donde el crecimiento y la utilización del alimento disminuyen rápidamente, lo que lleva a un aumento en la FCR, cuando dosis de una o dos veces al día son administradas llevan asociado un crecimiento máximo pero a costa del FCR. Por lo tanto, el objetivo de obtener la máxima ganancia se ve contrarrestado por un aumento del FCR. Por lo tanto, para maximizar la utilización de nutrientes, se recomienda alimentarlos por debajo de la ganancia máxima (Weldon et al., 2021).

En el contexto de la frecuencia de alimentación en diferentes horarios, las enzimas digestivas también juegan un papel importante en la comprensión de los diversos ciclos de alimentación del camarón. A pesar de la evidencia anterior, se requieren más estudios sobre la actividad enzimática para las diferentes etapas y parámetros de calidad del agua para establecer con mayor precisión las horas con mayores concentraciones enzimáticas a lo largo del día. Respecto a un mayor consumo en menor frecuencia, como se observó en la respuesta de los camarones en nuestro experimento, se debe considerar el efecto del tiempo de ayuno antes de suministrar alimento, Bardera et al. (2019) reportan que *L. vannamei* sometido a períodos más prolongados de privación de alimento (24 y

48 h), antes de la prueba, incrementaron significativamente la atracción por el alimento y la actividad alimenticia.

En el presente estudio, los camarones alimentados una vez al día tuvieron una privación de alimento más prolongada que aquellos con mayor frecuencia de alimentación, lo que podría ser la razón por la cual la ingesta en este grupo fue mayor. Dosis más bajas (una y dos veces al día) dieron como resultado un FCR más alto y tendieron a ser más bajos para el alimento extruido en frecuencias más altas. La conversión eficiente de alimento en biomasa es la característica más importante de un programa de alimentación de camarón adecuadamente gestionado. Una mala gestión del FCR da como resultado una mayor demanda de oxígeno y una mayor pérdida de nutrientes del alimento, como nitrógeno y fósforo (Boyd, 2021).

2.4.2 Efecto del proceso de fabricación de piensos sobre el rendimiento de *Litopenaeus vannamei*

En el presente estudio, el método de procesamiento de la dieta influyó en el crecimiento del camarón con las dos dietas (granulada y extruida), que básicamente tenían la misma composición y tamaño de partícula para permitir una comparación justa del método de producción. Se observó un efecto en las dosis de una y dos veces al día (F1 y F2), donde la tasa de crecimiento del camarón con alimento extruido fue mayor que la correspondiente al alimento granulado. El número de tomas diarias (una y dos veces) puede haber contribuido a resaltar las ventajas del alimento extruido, ya que este tipo de alimento ha demostrado tener una mayor hidroestabilidad (Misra et al., 2002), que como parámetro crítico de calidad del alimento para camarones a menudo se ve afectado por una combinación de composición de ingredientes y procesamiento (Welker et al., 2018).

Dado que ambos métodos de procesamiento utilizan básicamente la misma mezcla de alimento, la diferencia radica en el proceso de extrusión que crea un alto grado de gelatinización del almidón. En este proceso endotérmico, el agua actúa como plastificante para los polímeros de almidón (DeMan et al., 2018); el almidón modificado, a su vez, resiste la desintegración en agua, proporcionando

una mejor fuerza de unión y una durabilidad del alimento muy alta en comparación con los alimentos granulados (Hardy y Barrows, 2002).

En contraste con los hallazgos del estudio actual, Soares et al. (2021) reportan que a pesar de las diferentes características entre las dietas granuladas y extruidas, ambas dieron como resultado un rendimiento similar del camarón en condiciones de laboratorio. En su estudio, el número de tomas fue de cuatro veces al día, lo que podría haber enmascarado el efecto de una mejor hidroestabilidad en el alimento extruido debido a la frecuencia de alimentación relativamente alta utilizada. Sin embargo, la evidencia de una mayor hidroestabilidad en las dietas extruidas es muy consistente, y también en lo que respecta a la pérdida de sólidos, durabilidad física y turbidez (Welker et al., 2018; Molina et al., 2019; Peixoto et al., 2022).

Junto con la estabilidad mejorada del agua, otro beneficio del alimento extruido consiste en el proceso térmico durante la extrusión que influye en la calidad del alimento al destruir los factores antinutricionales (ANF) que se encuentran en algunas materias primas vegetales comúnmente utilizadas en alimentos acuícolas. Los ANF incluyen inhibidores de tripsina, lectinas, β -conglucina, derivados del ácido clorogénico y polifenoles (Daniel, 2018, Woumbo et al., 2021; Vidal et al., 2022), que son termolábiles y tienen efectos adversos sobre el crecimiento de los animales acuáticos, inmunidad y digestibilidad (Liu et al., 2019). Determinar la temperatura de procesamiento óptima durante la extrusión es fundamental para destruir los ANF y al mismo tiempo mantener la calidad del alimento. La cocción por extrusión a temperaturas de hasta 120 °C, como en el presente estudio, puede disminuir el contenido de factores antinutricionales.

La estructura y la funcionalidad son factores importantes que determinan la calidad de las proteínas (Vidal et al., 2022). En consecuencia, varios cambios en la estructura pueden mejorar el valor nutricional de los ingredientes proteicos porque la desnaturalización en el alimento extruido (Bortone, 2018) mejora la digestibilidad de las proteínas al exponer las moléculas a más sitios de acceso a las enzimas. Vidal et al. (2022) observaron la disminución más significativa en las estructuras de láminas β después del proceso de extrusión.

Estas moléculas (la β -conglucina) se conocen como una de las posibles estructuras secundarias adoptadas por las proteínas en la soya. Una menor proporción de estructuras de láminas β se asocia con una mayor digestibilidad de las proteínas. Además de un incremento en la digestibilidad proteica, también se ha informado de una mejor digestibilidad de la energía (Romano y Kumar, 2019; Glencross et al., 2011) porque el almidón gelatinizado tiene más sitios de absorción para las enzimas digestivas.

Finalmente, la textura que se consigue con la tecnología de cocción por extrusión influye en la durabilidad frente a la degradación física, lo que produce alimentos más duraderos (Welker et al., 2018; Soares et al., 2021; Peixoto et al., 2020). La dureza es una característica física definida como la fuerza máxima necesaria para romper un pellet (Hoyos et al., 2017). La dureza del alimento es crítica, hasta el punto de que los patrones de movimiento de los apéndices alimentarios podrían alterarse dependiendo de los tipos de alimentos con diferentes características físicas, como dureza, textura y tamaño (Kawamura et al., 2018).

La extrusión, en comparación con el procesamiento por granulado, mejoró la calidad del alimento en algunas características, como un mayor grado de gelatinización del almidón, una mayor relación de expansión, un mayor tamaño de poro dentro de los gránulos y una mayor capacidad de digestión y absorción indicada por una mayor actividad de las enzimas digestivas.

2.4.3 Efecto de la frecuencia de alimentación sobre la calidad del agua

A pesar de toda la información sobre los efectos de la frecuencia de alimentación en el rendimiento del camarón, hay pocos informes disponibles sobre la estrategia de alimentación asociada con la calidad del agua.

En el presente estudio, la salinidad se mantuvo en 38 g/L, en la cual la relación con el amoníaco es comparable a los datos reportados por Lin y Chen (2003) quienes estimaron en 35 g/L de salinidad, una concentración letal (CL)₅₀ a 96 h de 39,54 mg/L para amoníaco-N y 1,60 mg/L de NH₃-N. Se calculó que el nivel de seguridad para *L. vannamei* (CL₅₀ × 0,1 de 96 h) era 3,95 N de amoníaco y 0,16 mg/L de NH₃-N. Así, de acuerdo con estos niveles, todo el N-amoniaco

estuvo dentro de concentraciones seguras durante el presente estudio ya que el rango observado fue de 0,424 mg/L a 0,725 mg/L.

Lin y Chen (2003) también estimaron una CL_{50} de 96 h de 257,2 mg/L para NO_2-N con una salinidad de 35 mg/L, y se calculó que el nivel de seguridad para *L. vannamei* (CL_{50} de 144 h \times 0,1) era 25,7 mg/L.

Sin embargo, Haws y Boyd (2001) recomiendan $<0,23$ mg/L, que parece ser un valor más realista. Curiosamente, cuando a los organismos se les proporcionó alimento extruido seis veces al día, el NO_2-N disminuyó y se mantuvo muy cerca (0,28 mg/L) de este límite, ya que a medida que aumentó la frecuencia de alimentación, se observó una reducción en la concentración de nitrito. La calidad del agua es un factor crítico en la producción de camarón para garantizar un rendimiento óptimo.

La supervivencia de los juveniles de *L. vannamei* depende en gran medida de la salinidad (Zhang et al., 2009) y, con respecto a la combinación de nitrógeno amoniacal y salinidad, estos dos parámetros constituyen los principales factores abióticos que afectan el crecimiento y la supervivencia de *L. vannamei*. Varios estudios sugirieron un mejor crecimiento y supervivencia en el rango de 15 a 25 g/L de salinidad (Bray et al., 1994). Sin embargo, Ponce- Palafox et al. (1997) reportan una supervivencia óptima entre 33 y 40 g/L.

Las concentraciones de amonio también revelaron un patrón decreciente en el alimento extruido a medida que la frecuencia de alimentación aumentó de 0,675 a 0,425 mg/L para F1 y F6, respectivamente. Por otro lado, en el alimento granulado no se observó tendencia y los niveles de concentración oscilaron alrededor de 0,6 mg/L excepto para el tratamiento F4, en el que el amonio alcanzó 0,725 mg/L.

Estos datos muestran que el alimento extruido junto con la frecuencia de alimentación más alta probada (F6) constituye una estrategia adecuada para reducir la carga de amonio y otros compuestos nitrogenados en el agua, mejorando así la calidad del ambiente acuícola.

Smith (2002) reportan que los parámetros de calidad del agua no fueron diferentes entre los tratamientos, lo que coincide con nuestro estudio para el amonio pero contrasta con los patrones de nitrito.

Al igual que la tendencia observada en el presente estudio, los valores reportados por Aalimahmoudi et al. (2016) mostraron que el amonio disminuía a medida que aumentaba la frecuencia de alimentación. Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos en el presente estudio.

Jescovitch et al. (2018) reportan que la alta frecuencia con un aumento de alimento dispensado desde un sistema acústico automático causó un aumento significativo en TAN y nitrito-nitrógeno en comparación con una tasa de alimentación estándar, lo que concuerda con el patrón observado aquí, no solo en la calidad del agua sino también en el crecimiento del camarón.

2.5 Conclusión

En el presente estudio se ha demostrado que el efecto del alimento extruido combinado con una alta frecuencia de alimentación es una estrategia adecuada para preservar la calidad del agua en condiciones de laboratorio. A frecuencias más altas (seis veces al día) con dietas extruidas, los resultados en la calidad del agua sugieren una reducción en los niveles totales de nitrógeno amoniacal y nitrito-nitrógeno a medida que aumentaba la frecuencia.

El alimento extruido con alimentación diurna tiene el potencial de mejorar la tasa de crecimiento, y una mayor frecuencia podría representar una estrategia adecuada para preservar la calidad del agua. Hasta donde sabemos, este estudio es el primero en demostrar que el uso de alimento extruido mejora la calidad del agua, lo que podría reducir el impacto de la contaminación de los efluentes y mejorar la producción de camarón y la sostenibilidad. Investigaciones adicionales deberían valorar la viabilidad económica y técnica en escenarios específicos de la producción de camarón, así como a escala comercial.

CAPITULO III

El efecto combinado de la frecuencia de alimentación y el tamaño de la ración en el rendimiento de juveniles de *L. vannamei* alimentados con dietas suplementadas con atractantes marinos

3.1 Introducción

En los últimos años ha surgido un interés creciente relacionado con la inclusión de hidrolizados en las formulaciones de *L. vannamei* y el papel de los péptidos en la nutrición animal. Los diferentes procesos de hidrólisis que incluyen químicos, enzimáticos o microbianos constituyen una forma atractiva de generar péptidos de alta calidad y tamaño adecuado que tienen funciones fisiológicas y nutricionales en crustáceos (Hou et al., 2017). Los atrayentes podrían tener un efecto sobre la ingestión y la frecuencia de la alimentación.

A pesar del potencial de los hidrolizados como quimioatractantes y/o estimulantes para promover una mayor ingestión y, por tanto, mejorar la supervivencia y el crecimiento (Carr, 1988) se dispone de información limitada sobre sus efectos sobre el rendimiento de *L. vannamei* (Nunes et al., 2006).

Algunos ingredientes marinos (calamares, atún o crustáceos), cuando se hidrolizan en las condiciones adecuadas, pueden generar un alto nivel de componentes nitrogenados de bajo peso molecular, que son muy palatables y contienen propiedades bioactivas y funcionales que mejoran el rendimiento. La hidrólisis enzimática de residuos de productos marinos normalmente se lleva a cabo en condiciones que producen productos finales de alta funcionalidad (Kristinsson y Rasco, 2000).

En este sentido, algunos autores reportaron mejoras en el crecimiento de *L. vannamei* cuando se han usado hidrolizados de pescado (Córdova-Murueta & García-Carreño, 2002; Forster et al., 2004; Forster et al., 2011; Nguyen et al., 2012). Esto se atribuye a una mejor eficiencia de absorción del hidrolizado y a la presencia de productos de hidrólisis como aminoácidos y compuestos de bajo peso molecular que mejoran la capacidad de atracción y, en consecuencia, aumentan la ingesta (Berge & Storebakken, 1996; Aksnes et al., 2006).

Por otro lado, los estudios que informan interacciones entre la frecuencia de alimentación y la restricción de la dieta son limitados. Arnold et al., (2016) describieron los beneficios de una ración restringida sobre la eficiencia alimenticia en juveniles de *P. monodon*, mientras que (Nunes et al., 2006)

reportan la posibilidad de reducir moderadamente las tasas de alimentación diaria sin afectar el rendimiento en juveniles de *L. vannamei*.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la frecuencia de alimentación sobre el crecimiento, la supervivencia y la conversión alimenticia del camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*) alimentado con dietas suplementadas con dos quimioatrayentes al 100% y 80% del tamaño de la ración. Además valorar si una frecuencia de alimentación mayor podría compensar el uso de un atrayente con menor grado de hidrólisis.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1. Diseño experimental

El diseño experimental fue factorial de tres vías con dos dietas y un total de 8 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Se formularon dos dietas con diferentes hidrolizados de pescado: hidrolizado manufacturado mediante el uso de enzimas externas (HFFO, pH=5,2) con 65% de péptidos <1000 Daltons (Da), e hidrolizado procesado con enzimas de pescado naturales (HFNI, pH = 4,3) con 85% de péptidos con un tamaño de molécula <1000 Da. Se aplicó una matriz factorial a la frecuencia de alimentación y a la ración de alimentación, que incluía dos frecuencias de alimentación (dos y cuatro veces al día) y dos tamaños de ración (100 % de saciedad y 80 % de saciedad).

3.2.2 Sistema experimental

Cinco mil camarones se recolectaron de un estanque de engorde (GranMar, Baja California Sur) y se transportaron al CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México), donde se transfirieron a una instalación bajo techo con 18 tanques: tres depósitos rectangulares (140x240x50 cm) de 1300 L y 15 depósitos circulares ($\varnothing=94$ cm) de 700 L.

Antes de la siembra, los camarones se aclimataron a condiciones de laboratorio (temperatura $27 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, salinidad 38 ± 1 ppt y oxígeno disuelto >5 mg/L y se mantuvieron durante una semana en estos tanques provistos de agua de mar filtrada (con un 50% de reemplazo diario). Dos veces al día, los

camarones fueron alimentados con una dieta comercial con un contenido de proteína del 35% hasta que los organismos alcanzaron aproximadamente 0,8 g. Inmediatamente antes de la siembra, se seleccionaron al azar 100 camarones y se pesaron individualmente con una precisión de 0,01 g (Ohaus Scout® Pro Balance) para estimar la media y la desviación estándar.

El sistema experimental estuvo compuesto por 24 tanques de fibra de vidrio con capacidad de 50 L (50 x 34 x 38 cm) que tenían una única entrada que filtraba el agua de mar primero a través de un filtro de arena (70µm) y luego por un cartucho (10µm) para su tratamiento final con luz ultravioleta. La temperatura del agua en los tanques se controlaba mediante calentadores sumergibles de 250 W. La iluminación del sistema fue controlada por un reloj para mantener un fotoperiodo constante de 12h de luz/12h de oscuridad desde las 07:30 hasta las 19:30. El agua se renovaba todos los días a una tasa del 75%; las variables físico-químicas del agua no mostraron diferencias durante el experimento.

Los camarones se pesaron individualmente, se seleccionaron de acuerdo con el peso requerido según el diseño experimental y se distribuyeron al azar (10 por unidad experimental) en cada tanque rectangular de 50 L. El coeficiente de variación global (CV) fue inferior al 10% y el promedio \pm SEM en todos los tanques fue de $0,8 \pm 0,06$ g.

3.2.3 Dietas

Las dietas granuladas se fabricaron a escala de laboratorio y se formularon para cumplir o superar los requerimientos nutricionales del Consejo Nacional de Investigación (NRC) de los Estados Unidos. La inclusión de hidrolizado fue del 2% en las dos dietas. No se proporciona una formulación completa debido a la naturaleza patentada de la formulación.

Tabla 3.1. Formulaciones y composición de dietas experimentales (todos los valores están expresados en g/100 g en base húmeda) ¹

	HFFO	HFNI
<i>Formulación</i>		
Harina vegetal	71,04	71,04
Productos de animales marinos	10	10
Subproductos de animales terrestres	7,45	7,45
Hidrolizado de pescado	2	2
Aceite de pescado	1,74	1,74
CaCO ₃ , Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , NaCl	3,99	3,99
Mezcla de lecitina	1,29	1,29
Agua	1,21	1,21
Aglutinante	0,52	0,52
Antifúngico y secuestrante de micotoxinas.	0,2	0,2
Premezcla de vitaminas y minerales	0,56	0,56
<i>Composición analizada (% de alimentación)</i>		
Materia seca (g/100g según la alimentación)	89,83	89,30
Proteína	35,43	35,20
Lípidos	5,70	5,90
Ceniza	10,30	10,70
Almidón	17,80	17,90

¹ Porcentaje, base húmeda.

HFFO: Hidrolizado producido por hidrólisis enzimática controlada de los subproductos del pescado fresco a través de enzimas externas.

HFNI: proteína de pescado hidrolizada producida enzimáticamente con pescado producido a partir de enzimas naturales del pescado.

Las dietas fueron sometidas a un proceso de peletización mediante un molino de carne adaptado marca Torrey®. El hidrolizado (HFFO) se fabricó a partir de pescado procesado con enzimas externas (pH=5,2) los peces incluidos fueron: *Katsuwonus pelamis*, *Scomber japonicus*, *Opisthonema spp.* *Etrumeus teres*, *Cetengraulis mysticetus*, *Auxis spp* y *Engraulis ringens*. El hidrolizado (HFNI) se obtuvo de pescado (*Salmo salar*) procesado con enzimas naturales internas del pescado (pH=4,3).

3.2.4 Manejo

Durante 53 días de ensayo, se midieron y registraron la temperatura, el pH, la salinidad y el oxígeno disuelto cada 24 h.

En este experimento, el tratamiento de ración al 100 % se administró ligeramente por sobre la saciedad esperada y el 80 % de la ración se calculó en base al valor del 100 %. El alimento no consumido y las heces en todos los tratamientos se descartaron mediante sifoneo de cada tanque diariamente a las 08:00 h. La cantidad de alimento no consumido se cuantificó contando el número de pellets y multiplicando por el peso promedio de los mismos; esto se utilizó para ajustar la ración del día siguiente.

Dentro de cada tratamiento se aplicó el siguiente protocolo: dos horarios de alimentación/día (10:00 h, 16:00 h) y cuatro horarios de alimentación/día (10:00 h, 16:00 h, 22:00 h, 04:00 h). Se pesó toda la ración diaria a administrar y se dividió manualmente en cantidades similares por volumen. Todas las raciones de alimento se distribuyeron en porciones uniformes y se registró la cantidad de alimento asignada a cada tanque. Las dos primeras raciones se administraron manualmente, mientras que las siguientes se distribuyeron utilizando el alimentador automático Fish Mate F14 (Pet Mate, Surrey, Inglaterra). Al comienzo del día, se comprobaron visualmente los alimentadores automáticos y se registró el alimento restante. Diariamente se registró el número de camarones en cada tanque. Cada tanque contó con un único difusor de aire. Se controlaron diariamente el oxígeno disuelto y la temperatura. La salinidad y el pH se monitorearon una vez por semana en cada tanque. Al inicio del experimento el alimento se suministró aproximadamente al 8% de la biomasa, asegurando un exceso marginal en los tratamientos del 100%. Al final, el suministro de alimento fue del 5,9% y del 4,8% para raciones del 100% y del 80%, respectivamente. El amonio, el nitrato y los nitritos en el agua se analizaron mediante un kit colorimétrico químico (Mars Fishcare North America, 50 E. Hamilton St., Chalfont, PA 18914) cada 15 días. El crecimiento y la supervivencia de *L. vannamei* para todos los grupos se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Incremento de peso (g)} = (W_f - W_i)$$

$$\text{Supervivencia (\%)} = \text{número final de camarones} / \text{número inicial de camarones} \times 100$$

$$\text{Factor de conversión alimenticia (FCR)} = T_f / (W_f - W_i)$$

Biomasa final (g) = número final de camarones x Wf

Donde: Wf representa el peso corporal final (g), Wi es el peso corporal inicial (g),

Tf representa el consumo total de alimento (g) y t el tiempo en días.

3.2.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con Statgraphics® Centurion™ XVII (©Copyright 1982-2014 Statpoint Technologies, Inc). El peso final, la biomasa final, la supervivencia, el FCR, la tasa de crecimiento, la ganancia de peso, y el alimento total consumido se analizaron mediante ANDEVA de tres vías. El modelo incluyó la dieta, la frecuencia y el tamaño de la ración como efectos principales y las interacciones correspondientes. Posteriormente se aplicó una prueba t para encontrar diferencias significativas dentro de cada tratamiento.

3.3 Resultados

3.3.1 Calidad del agua

Los promedios de los parámetros de calidad del agua se muestran en la Tabla 3.2. La temperatura del agua en todos los tratamientos fue constante sin cambios significativos ($27,05 \pm 0,06$ °C), además la salinidad ($37,28 \pm 0,28$ ‰) y el oxígeno disuelto ($5,81 \pm 0,08$ ppm) no tuvieron variaciones significativas. Amonio, Nitrato y nitritos no superaron los límites declarados en Boyd, (2016).

Tabla 3.2. Promedios (\pm DE) de los parámetros de calidad del agua durante el período de alimentación (53 días) de los camarones juveniles *Litopenaeus vannamei* (0,8 g de peso inicial) distribuidos a razón de 47 camarones/m² en un sistema de agua clara.

Parámetros del agua	Niveles aceptado	Promedio \pm SD	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	18-33	$27,05 \pm 0,06$	26,91	27,14
pH	6-9	$7,97 \pm 0,03$	7,9	8,08
Oxígeno disuelto (mg/L)	2,5-10	$5,81 \pm 0,08$	5,65	5,98
Salinidad (ppt)	1-40	$37,28 \pm 0,28$	36,83	37,62
Amoníaco (NH ₃ /NH ₄ ⁺ , mg/L)	0,1-1	$0,44 \pm 0,10$	0,3	0,6
Nitrato (NO ₃ ⁻ , mg/L)	0,2-10	$0,61 \pm 0,49$	0	1
Nitrito (NO ₂ ⁻ mg/L)	<1,0	$0,1 \pm 0,00$	0,1	0,1

3.3.2 Rendimiento del camarón

El efecto del tipo de attractante, el tamaño de la ración y la frecuencia de alimentación se presentan en las Tablas 3.3 y 3.4. Un análisis ANDEVA de tres factores reveló que hubo un efecto principal significativo ($p < 0,05$) de la frecuencia y la ración en el incremento de peso y el FCR. No se observaron diferencias estadísticas en la supervivencia debido a ninguna de las variables y no se encontraron interacciones significativas ($p > 0,05$) entre dieta x frecuencia x ración en ningún parámetro zootécnico.

Tabla 3.3. ANDEVA de tres vías para estudiar el efecto de la dieta x frecuencia x ración sobre la ganancia de peso del juvenil *L. vannamei* (0,8 g de peso inicial) en un ensayo de 53 días usando un sistema de agua clara.

	Suma cuadrados.	df	Cuadrado medio	valor f	valor p
A: Dieta	0,0611	1	0,0611	0,5300	0,4753
B: Frecuencia	1,0621	1	1,0621	9,2800	0,0077
C: Ración	0,8489	1	0,8489	7,4200	0,0150
Dieta*Frecuencia	0,0003	1	0,0003	0,0000	0,9594
Dieta*Ración	0,0089	1	0,0089	0,0800	0,7843
Frecuencia*Ración	0,0920	1	0,0920	0,8000	0,3831
Dieta*Frecuencia*Ración	0,0636	1	0,0636	0,5600	0,4668
Residuales	1.831	16.	0,114		

Tabla 3.4 . ANDEVA de tres vías para los efectos de la dieta x la frecuencia x tamaño de ración sobre el factor de conversión alimenticia en juveniles de *L. vannamei* después de 53 días de ensayo en un sistema de agua clara.

	Suma cuadrados.	df	Cuadrado medio	valor f	valor p
A: dieta	0,0180	1	0,0180	2,0100	0,1752
B: frecuencia	0,1271	1	0,1271	14,2500	0,0017
C: Ración	0,4896	1	0,4896	54,8900	0,0000
Dieta*Frecuencia	0,0284	1	0,0284	3,1800	0,0933
Dieta*Ración	0,0000	1	0,0000	0,0000	0,9869
Frecuencia*Ración	0,0066	1	0,0066	0,7400	0,4033
Dieta*Frecuencia*Ración	0,0186	1	0,0186	2,0800	0,1685
Residuales	0,1427	16	0,0089		

Después de 53 días, la supervivencia fue alta y mostró un promedio de 95 ± 7 % (oscilando entre 87 ± 12 % y 97 ± 6 %), sin diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos (Tabla 3.5).

El peso final promedio de camarón para cada tratamiento estuvo en un intervalo de $6,38 \pm 0,13$ a $7,17 \pm 0,23$ g y la ganancia de peso promedio varió de $5,57 \pm 0,13$ g por semana a $6,41 \pm 0,29$ g por semana (Tabla 3.5) . Cuando se alimentó dos veces al día, el aumento de peso fue significativamente mayor que el observado cuando la dieta se distribuyó 4 veces ($6,27 \pm 0,42$ vs $5,76 \pm 0,38$) ($p < 0,05$). Además, se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) cuando la ración aumentó de 80% ($5,79 \pm 0,31$) a 100% ($6,23 \pm 0,51$) (Tabla 3.6) con un efecto consistente para ambas dietas.

Tabla 3.5 Promedios (\pm DE) de los parámetros zootécnicos para *L. vannamei* después de 53 días de ensayo alimentados con dos dietas diferentes a dos frecuencias y dos niveles de saciedad.

Dieta	HFFO				HFNI			
	2		4		2		4	
	100%	80%	100%	80%	100%	80%	100%	80%
Peso inicial (g/camarón)	0,801 \pm 0,004	0,8 \pm 0,005	0,804 \pm 0,008	0,795 \pm 0,001	0,797 \pm 0,01	0,798 \pm 0,004	0,801 \pm 0,003	0,803 \pm 0,004
Peso final a los 53-d (g/camarón)	7,17 \pm 0,23	6,61 \pm 0,18	6,52 \pm 0,33	6,41 \pm 0,37	7,21 \pm 0,30	6,77 \pm 0,35	6,77 \pm 0,56	6,38 \pm 0,13
Biomasa final (g)	66,87 \pm 1,41 ^{ab}	61,68 \pm 2,85 ^{ab}	56,43 \pm 6,25 ^a	64,08 \pm 3,69 ^{ab}	69,67 \pm 5,56 ^b	67,70 \pm 3,50 ^{ab}	63,14 \pm 4,94 ^{ab}	61,70 \pm 3,99 ^{ab}
Ganancia de peso (g)	6,38 \pm 0,32	5,81 \pm 0,17	5,72 \pm 0,33	5,61 \pm 0,36	6,41 \pm 0,29	5,97 \pm 0,35	5,97 \pm 0,55	5,57 \pm 0,13
Consumo de alimento (g)	116,77 \pm 4,11 ^{ab}	95,39 \pm 1,89 ^{cd}	101,98 \pm 12,96 ^{bcd}	83,83 \pm 1,55 ^d	130,38 \pm 1,47 ^a	105,27 \pm 1,38 ^{abc}	106,05 \pm 9,96 ^{abc}	86,33 \pm 1,49 ^d
FCR	1,89 \pm 0,05 ^{cd}	1,70 \pm 0,03 ^{abc}	1,91 \pm 0,16 ^{cd}	1,53 \pm 0,09 ^a	2,07 \pm 0,13 ^d	1,77 \pm 0,10 ^{abc}	1,83 \pm 0,04 ^{bcd}	1,57 \pm 0,06 ^{ab}
Supervivencia (%)	93 \pm 6	93 \pm 6	87 \pm 12	100 \pm 0	97 \pm 6	100 \pm 0	93 \pm 6	97 \pm 6

Los valores seguidos de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Como se esperaba, un mayor consumo de alimento fue verificado en los tratamientos en los que la dieta se ofreció al 100%, observándose el mayor de ellos en el tratamiento HFNI a 2 dosis y al 100% de la ración ($130 \pm 1,47g$), mientras que el menor consumo fue verificado en el tratamiento HFFO a 4 dosis y al 80% de saciedad ($85 \pm 1,55g$). Diferencias significativas ($p < 0,05$) fueron encontradas entre el tratamiento HFNI a 2 dosis y al 100% de la ración, frente a todos los demás tratamientos al 80% de saciedad e inclusive frente al tratamiento HFFO a 4 dosis y al 100% de la ración. La única excepción fue encontrada cuando se comparó HFNI a 2 dosis y al 100% contra HFNI a 2 dosis y al 80% de saciedad en donde no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$), a pesar de que este tratamiento como puede verse tuvo restricción del 20% de la ración. En cuanto al FCR la tendencia reveló que los tratamientos al 80% tuvieron una tendencia a una mejor eficiencia rango de ($1,53 \pm 0,08$ a $1,76 \pm 0,10$) mientras que los tratamientos al 100% presentaron un rango mayor (desde $1,83 \pm 0,04$ a $2,07 \pm 0,13$).

3.3.3 Frecuencia de alimentación y tamaño de la ración

El aumento de peso fue estadísticamente mayor en los tratamientos con ración al 100% ($p < 0,05$) en comparación con el tamaño de ración del 80%; sin embargo, el FCR también fue el más alto cuando no se aplicó ninguna restricción ($p < 0,05$).

Cuando se promedió entre los tratamientos clasificándolos por frecuencia de alimentación, el aumento de peso (g) no fue significativamente diferente entre dietas.

Tabla 3.6 Ganancia de peso (\pm DE) (g/camarón) de *L. vannamei* juvenil después de 53 días de ensayo con dos dietas diferentes con dos frecuencias y dos tamaños de ración.

	Frecuencia	Ración		Promedio de la frecuencia
		100%	80%	
Promedio	2 dosis	6,40 \pm 0,28 ^{Aa}	5,89 \pm 0,26 ^B	6,27 \pm 0,43 ^a
	4 dosis	5,85 \pm 0,43 ^{Ab}	5,59 \pm 0,25 ^B	5,76 \pm 0,38 ^b
	Promedio	6,23 \pm 0,51^A	5,79 \pm 0,31 ^B	6,01 \pm 0,36

Los valores se presentan como promedio (\pm DE) de tres réplicas para cada combinación de tamaño de ración y frecuencia de alimentación. Los promedios de frecuencia con diferentes superíndices (Mayúsculas por fila y minúsculas por columna) son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Después de 53 días de ensayo, se observó un efecto significativo ($p < 0,05$) de la frecuencia y el tamaño de la ración en el FCR (Tabla 3.7), sin embargo, no se encontró ningún efecto significativo ($p > 0,05$) de la dieta y tampoco se encontró ninguna interacción. La reducción del tamaño de la ración al 80% tuvo como efecto un FCR estadísticamente más bajo, pero también el crecimiento se vio comprometido.

Cuando se promedió por frecuencia de alimentación, el FCR tiende a disminuir de 1,86 \pm 0,16 cuando se alimentó dos veces al día a 1,71 \pm 0,18 cuando se alimentó cuatro veces al día (Tabla 3.7); sin embargo, estos valores no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0,05$). El FCR disminuyó de 1,73 \pm 0,08 cuando se alimentó con 2 dosis al 80% hasta 1,55 \pm 0,07 cuando se alimentó con cuatro dosis (Tabla 3.7). Este patrón no fue el mismo al 100% de la ración, donde el FCR con 2 veces al día (1,99 \pm 0,13) no fue significativamente ($p > 0,05$) diferente al obtenido con 4 veces al día (1,87 \pm 0,11).

Tabla 3.7 Factor de conversión alimenticia (\pm DE) después de 53 días de ensayo con juveniles de *L. vannamei* alimentados con dos dietas diferentes (HFFO y HFNI) a dos frecuencias de alimentación y dos tamaños de ración.

	Frecuencia	Ración		Promedio de la frecuencia
		100%	80%	
Promedio	2 dosis	1,99 \pm 0,13 ^A	1,73 \pm 0,08 ^{a B}	1,86 \pm 0,16
	4 dosis	1,87 \pm 0,11	1,55 \pm 0,07 ^b	1,71 \pm 0,18
	Promedio	1,93 \pm 0,12^A	1,64 \pm 0,07^B	1,78 \pm 0,19

Los valores para cada combinación de dieta, frecuencia y ración son medias (\pm DE) de tres réplicas. Las medias de frecuencia con diferentes superíndices (mayúsculas por fila y minúsculas por columna) son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Cuando se promedió por tamaño de ración, el FCR se redujo significativamente ($p < 0,05$) cuando la ración disminuyó del 100% (1,93 \pm 0,12) al 80% (1,64 \pm 0,07). El mismo patrón se observó alimentando dos veces al día, donde la FCR al 100 % (1,99 \pm 0,13) fue estadísticamente mayor que al 80 % de saciedad (1,73 \pm 0,077). Sin embargo, con 4 veces al día el FCR disminuyó desde 1,87 \pm 0,11 al 100% de la ración hasta 1,55 \pm 0,068 al 80% sin que se observaran diferencias estadísticas ($p > 0,05$).

La relación entre la frecuencia de alimentación y el tamaño de la ración se presenta en la Figura 3.1, en donde se muestran los beneficios de crecimiento a medida que la ración aumenta del 80 % al 100 % en horario diurno en comparación con 4 dosis en el horario diurno-nocturno.

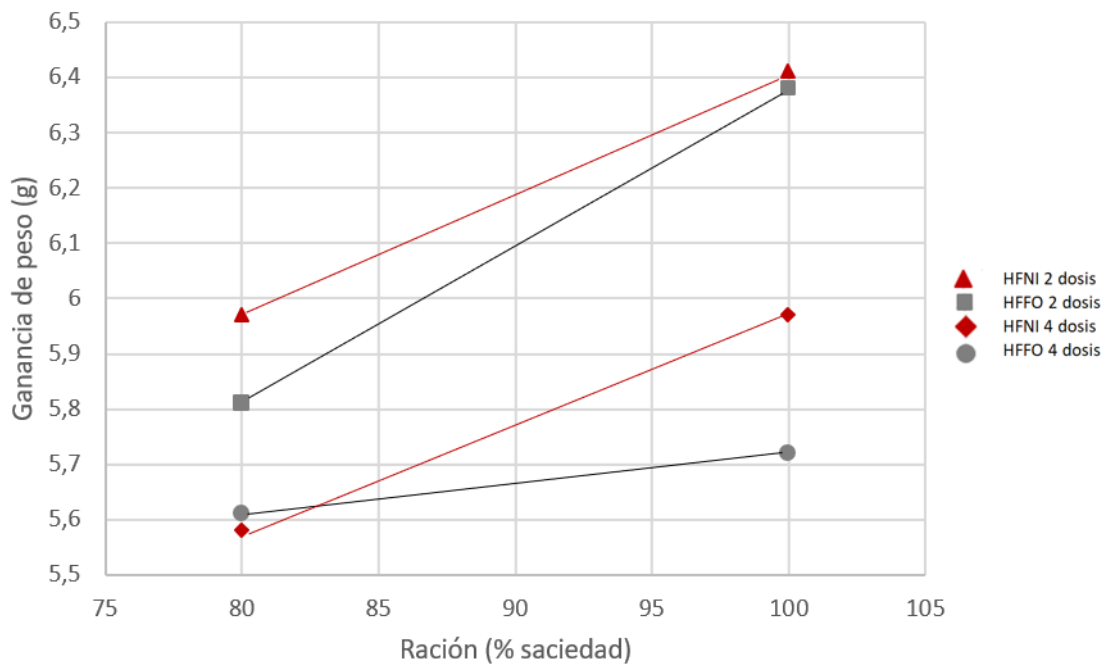


Figura 3.1. Ganancia de peso (g) de camarones alimentados dos y cuatro veces por día al 100% y 80% con dos dietas diferentes (HFFO y HFNI).

3.3.4 Efectos del attractante

No se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en el crecimiento ni conversión del alimento entre los camarones alimentados con los diferentes hidrolizados marinos. Se detectó una ligera tendencia a una mayor supervivencia con HFNI en comparación con HFFO (97 ± 5 frente a 93 ± 8 respectivamente).

3.4. Discusión

El presente estudio encontró efectos significativos de la frecuencia de alimentación y la restricción de la ración sobre el crecimiento y la conversión alimenticia de *L. vannamei* en etapa juvenil. La alimentación de camarones cuatro veces al día en comparación con dos veces al día mejoró significativamente el FCR pero no mejoró el crecimiento; más bien, con cuatro dosis, que incluían alimentación nocturna, se observó un crecimiento significativamente menor en las condiciones de este estudio.

Así mismo, el efecto de la frecuencia y el tamaño de la ración se mantuvo constante con ambos attractantes estudiados.

Los hallazgos del presente estudio revelan el notable impacto de los horarios de alimentación y el tamaño de la ración en la eficiencia de la producción de camarón, destacando la necesidad de comprender esta correlación al formular esquemas de manejo de la alimentación (Arnold et al., 2016).

3.4.1 Frecuencia de alimentación

En las condiciones ensayadas, aumentar la frecuencia de alimentación en algunas horas de la noche no mejoró el crecimiento.

El incremento de peso con dos dosis fue significativamente mayor en comparación con cuatro dosis, tanto con ración de 100% como en la del 80%.

Los mejores resultados en ganancia de peso se obtuvieron cuando el alimento se administró a las 10:00h y 16:00h. Por el contrario, cuando parte de la ración se distribuyó también a las 22:00h y 04:00h no se observó ningún beneficio adicional.

Los hallazgos indican que *L. vannamei*, como se observa en los estudios de Nunes et al. (1996) y Reymond y Lagardère (1990), exhiben comportamientos alimentarios distintos en comparación con otros camarones peneidos. Si bien la mayoría de los peneidos suelen estar activos durante la noche (Hindley, 1975), *L. vannamei* según lo informado por Pontes et al. (2006) y Nunes et al. (2018) en cuanto a alimentación, demostró ser más activo durante las horas del día.

En términos de FCR, una mayor cantidad de alimentación por día resulta en una utilización más eficiente del alimento por parte del camarón según lo informado por Aalimahmoudi et al. (2016); Ullman et al. (2019) y Weldon et al. (2021), lo que se verifica en valores de conversión alimenticia más bajos.

Los resultados del presente estudio sugieren que siguiendo un horario determinado de alimentación se puede lograr un mejor crecimiento reduciendo la frecuencia de alimentación (de 4 a 2) si el alimento se suministra ligeramente por encima del requerimiento. Sin embargo, esto resulta en una disminución en la eficiencia alimenticia.

Con la frecuencia más alta (4 veces), los camarones podrían alimentarse con dosis más pequeñas, lo que llevaría a una mejor utilización del alimento, sin embargo, la mejora del crecimiento con dos dosis de alimentación en lugar de cuatro podría entenderse basándose en las actividades del perfil enzimático a lo largo del día, sugiriendo un patrón oscilatorio, con picos de alimentación en ciertas horas en las que existe máxima actividad alimenticia.

En los crustáceos se ha observado que ciertos fenómenos biológicos ocurren rítmicamente aproximadamente al mismo tiempo (Casillas-Hernández et al., 2006). Los ritmos circadianos afectan la actividad enzimática, la cual depende de varios factores exógenos como la edad, el tamaño, las fuentes de proteínas y el estadio de muda (Molina et al., 2000) así como también factores endógenos como las tasas ontogénicas, metabólicas etc. (Lemos et al., 2000). Los resultados del presente trabajo sugieren que los ritmos circadianos podrían ser la base de las variaciones en el rendimiento en diferentes frecuencias.

Casillas-Hernández et al. (2006) estudiaron el perfil enzimático de *L. vannamei* juvenil bajo ingesta continua de alimento y encontraron que había una fluctuación en las actividades proteolíticas. En un experimento con juveniles de *L. vannamei*, observaron un ritmo circadiano bifásico con picos diurnos y nocturnos de actividad enzimática a las 10:00 y 20:00 h. Además, observaron que alimentar dos horas antes de estos picos (8:00 y 18:00 h) resultó en una mayor tasa de crecimiento, tamaño final, supervivencia y biomasa. Estos hallazgos sugieren que hay algunos períodos a lo largo del día en los que se debe concentrar el esfuerzo de alimentación, y las horas específicas dependen del estado fisiológico del animal. Los resultados también confirman la sincronía entre la actividad alimentaria y el uso del alimento.

El ritmo circadiano bifásico podría explicar porque no se observa ningún efecto sobre el crecimiento cuando se aumenta la frecuencia de alimentación durante la noche. En el presente estudio, los camarones alimentados dos veces al día tuvieron mayor peso final que los alimentados cuatro veces al día; lo que también está de acuerdo con Pontes et al. (2008) quienes reportan que el incremento espacio-temporal entre las comidas estimula la búsqueda e ingestión

de alimento, y de hecho la ingestión fue mayor en los camarones alimentados con dos tomas que en los de cuatro tomas.

Además, la evidencia de este comportamiento alimentario está respaldada por estudios que encontraron una oscilación en las actividades proteolíticas bajo un esquema de alimentación continua (Hernández-Cortés et al., 1999). En este trabajo observaron concentraciones máximas enzimáticas de proteasa y tripsina a las 18:00 h. Este experimento incluyó animales alimentados y bajo estados de ayuno controlado. Cuando se midieron las actividades enzimáticas en ambos grupos, se observó un patrón común de actividad enzimática, lo que sugiere que la actividad enzimática no depende del estado alimentario del animal; más bien, es el estado fisiológico el que desencadena el comportamiento alimentario habitual de los camarones.

Comprender la relación entre frecuencia y ración podría ser fundamental a la hora de diseñar una estrategia de alimentación para *L. vannamei* juvenil (Arnold et al., 2016). En consecuencia, las frecuencias y velocidades con las que se proporciona la alimentación desempeñan un papel fundamental en la producción. No solo determinan la cantidad de alimento necesaria para un crecimiento y supervivencia óptimos, sino que también establecen el coste de producción para una operación acuícola eficiente (Jiang et al., 2021).

Por otro lado, respecto al horario de alimentación, Pontes et al. (2005) estudiaron el comportamiento alimentario de *L. vannamei* en función de los fotoperiodos de luz y oscuridad artificiales. En este estudio se registró el comportamiento en términos de exploración, alimentación, nado e inactividad de juveniles ($7,57 \pm 1,01$ g) de *Litopenaeus vannamei* antes y después de ofrecerles alimento. En este experimento se ofreció alimento en bandejas a juveniles expuestos a fases de luz y oscuridad durante un período de 24 horas. Los resultados indicaron que la frecuencia de alimentación era elevada en la fase de luz, mientras que la natación se producía principalmente durante la fase de oscuridad.

En esta misma línea, Sick et al. (1973) reportan que, en juveniles de *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767), la tasa de ingestión era proporcional a la

intensidad de la luz e inversamente relacionada con el tiempo en que el alimento estuvo sumergido en agua.

Igualmente, Robertson et al. (1993) reportan que la alimentación diurna produce un mayor crecimiento en los juveniles de *L. vannamei* mantenidos en estanques cerrados que la alimentación nocturna. Por tanto, parece que *L. vannamei* es inherentemente más activo durante el día que durante la noche.

En resumen, un patrón oscilante en los hábitos alimentarios con mayor actividad durante las horas del día sugiere que un aumento en la frecuencia de alimentación debe basarse en el comportamiento natural y el estado fisiológico. Estos hallazgos muestran que el crecimiento puede sostenerse reduciendo la frecuencia de alimentación, siempre y cuando se proporcione una cantidad de alimento suficiente para satisfacer las necesidades. Sin embargo, es importante señalar que este enfoque conlleva una compensación pues el exceso de alimentación, incluso marginal, compromete la eficiencia alimenticia (Arnold et al., 2016).

3.4.2 Tamaño de la ración

El presente estudio demuestra un efecto perjudicial de una ración restringida (20% por debajo de la saciedad) sobre el crecimiento del juvenil *L. vannamei*, incluso cuando la frecuencia de alimentación se incrementó de dos a cuatro veces por día.

La alimentación a aparente saciedad, como se demuestra en el presente estudio condujo a un mejor crecimiento, ya que los camarones pueden consumir alimento que les permite satisfacer sus requerimientos nutricionales.

Además, este tipo de alimentación permite reducir el estrés asociado con una alimentación limitada. En esta estrategia, es menos probable que los camarones compitan por el alimento o muestren un comportamiento agresivo. La reducción de los niveles de estrés puede contribuir a una mejor salud general y a una mayor resistencia a las enfermedades.

Por otro lado, se ha demostrado una mayor eficiencia alimenticia restringiendo la ración; la reducción del tamaño de la ración al 80% mejora la

eficiencia alimenticia, lo cual fue consistente para ambas dietas; la alimentación restrictiva en *P. monodon* y *L. vannamei* ofrece una utilización óptima del alimento, aunque esto se verifica a expensas del crecimiento.

El aumento de los factores de conversión alimenticia observados en el presente estudio a medida que incrementa la tasa de crecimiento indica que probablemente los animales se estaban acercando al límite de ingesta de alimento (Weldon et al., 2021).

Cuando se alcanza la ganancia máxima, hay un punto de inflexión sobre el 100% de la tasa de alimentación donde tanto el crecimiento como la utilización del alimento disminuyen rápidamente. Esto conduce a un incremento del FCR y menores ganancias en el crecimiento. Por lo tanto, el objetivo de obtener la máxima ganancia de peso se ve enfrentado a un FCR elevado (Weldon et al., 2021).

Los hallazgos observados en nuestro estudio son similares con los informados por Arnold et al. (2016) quienes observaron beneficios en la eficiencia alimenticia de la ración restringida al aumentar la frecuencia de alimentación en *Penaeus monodon*. Sin embargo, se observó una similitud en el citado estudio, donde los autores reportan que la FCR disminuyó cuando la ración se redujo del 100% de saciedad ($1,52 \pm 0,05$) al 80% ($1,26 \pm 0,04$), lo que concuerda con nuestros resultados, como también encontraron una reducción del FCR de $1,93 \pm 0,12$ con un 100% de saciedad a $1,64 \pm 0,07$ con una ración del 80%.

Este efecto de reducción del FCR a medida que disminuye el tamaño de la ración contrasta con lo informado en el estudio de Venero et al. (2007). En este trabajo, la alimentación al 100% y al 75% condujo a rendimientos significativamente diferentes para los dos niveles de saciedad: 6482 kg/ha al 100% versus 5054 kg/ha al 75%, respectivamente, pero a FCR similares para ambos tratamientos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio son muy similares a los informados por Nunes et al. (2006) quienes observaron que

alimentar a los camarones con un 4,5% de la biomasa con 0% de restricción frente a 3,4% de la biomasa con 25% de restricción resultó en un mejor crecimiento con tasas de conversión alimenticia más altas pero aún aceptables.

En contraposición a nuestros resultados, Nunes et al. (2006) no se encontraron diferencias entre saciedad aparente versus restricción del 25%, lo que sugeriría que es posible reducir moderadamente la alimentación diaria sin efectos perjudiciales sobre el crecimiento; sin embargo, en nuestro estudio observamos un efecto adverso en el rendimiento del crecimiento con una restricción del 20% de alimento.

Los hallazgos del presente estudio sugieren que la alimentación restringida tuvo como efecto una tasa de crecimiento reducida; al limitar la cantidad de alimento disponible para los camarones, su crecimiento puede verse comprometido.

Un esquema de alimentación restrictivo podría crear un ambiente de alimentación competitivo, provocando mayores niveles de estrés, agresión y comportamiento dominante entre los camarones. El estrés puede afectar negativamente su salud y bienestar general. Además, la alimentación restrictiva podría provocar variaciones en las tasas de crecimiento individual dentro de una población. Algunos camarones pueden consumir más alimento que otros debido a comportamientos dominantes, lo que genera disparidades de tamaño y una distribución desigual del crecimiento dentro del grupo.

Es posible que los esquemas de alimentación restrictivos tampoco proporcionen todos los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y la salud óptimos de los camarones, lo que puede afectar diversas funciones fisiológicas.

Las prácticas de alimentación eficientes garantizan que se proporcione la cantidad adecuada de alimento para evitar la sobrealimentación y, por lo tanto, la liberación de un aporte excesivo de nutrientes en el agua. Al proporcionar la cantidad precisa de alimento, se pueden minimizar la liberación de

nutrientes y materia orgánica, reduciendo los impactos ambientales (Boyd y Engle, 2017; Weldon et al., 2021).

3.4.3 Tipo de atrayente

Se observó una tendencia numérica a una mejor supervivencia con HFNI en comparación con HFFO (93 vs 97%); sin embargo, no se observaron diferencias significativas al utilizar pescado procesado con enzimas internas o externas y diferente perfil de pesos moleculares de sus péptidos. Este efecto podría estar relacionado con las propiedades inmunológicas de los hidrolizados en el rango de 500-1000 Da.

Investigaciones anteriores sobre larvas de peces han establecido una conexión potencial entre las tasas de supervivencia y crecimiento con el peso molecular de los péptidos en el hidrolizado agregado a la dieta. Esta relación fue demostrada en estudios anteriores por Espe et al. (1997).

Los resultados de estos estudios sugieren que los péptidos con pesos moleculares más bajos facilitan una absorción más fácil (Espe et al., 1993). Sin embargo, es importante señalar que esta relación podría variar dependiendo de varios factores tales como el número de péptidos (Carvalho et al., 2004), la especie objetivo o la etapa de crecimiento. Por ejemplo, varios trabajos han demostrado que la inclusión de proteínas de cadena media en la dieta puede mejorar tanto la tasa de supervivencia como el crecimiento de la lubina, como lo demuestra Cahu y Infante (1995). Además, Kotzamanis et al. (2007) encontraron que los hidrolizados que contenían una proporción significativa de péptidos dentro del rango de 500 a 2500 Daltons (Da) eran más efectivos para promover el crecimiento de las larvas en comparación con péptidos que oscilaban entre 200 y 500 Da.

Los hidrolizados en alimentos acuícolas han ganado mucha atención en los últimos años debido a sus numerosas ventajas. Cuando se hidrolizan a una distribución adecuada de péptidos en el rango de 500 a 1000 Da, se logran varios beneficios debido a que las moléculas de proteínas más grandes se han fragmentado por procesos enzimáticos en compuestos más simples y pequeños. Este proceso aumenta la digestibilidad de las proteínas, lo que permite a los

animales acuáticos absorber y utilizar los nutrientes de manera más eficiente. El rango de tamaño de péptido de 500-1000 Da es particularmente favorable ya que corresponde al rango óptimo para la absorción en los sistemas digestivos de muchas especies acuáticas.

Los fragmentos de péptidos más pequeños son fácilmente absorbidos por el sistema digestivo, proporcionando una fuente fácilmente disponible de aminoácidos esenciales que son cruciales para la síntesis de proteínas. Además, los hidrolizados pueden mejorar la palatabilidad de los alimentos acuícolas. El proceso de hidrólisis libera péptidos más pequeños que pueden estimular la respuesta alimentaria y mejorar el consumo de alimento.

Se observó una tendencia a una mayor supervivencia con HFNI (97%) en comparación con HFFO (93%). Los péptidos derivados de hidrolizados poseen propiedades bioactivas que promueven la salud y la función inmune de los animales acuáticos. Algunos péptidos exhiben propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que ayuda a reducir la incidencia de enfermedades y problemas relacionados con el estrés.

En resumen, los hidrolizados con una distribución adecuada de péptidos en el rango de 500-1000 Da ofrecen una mejor digestibilidad, un mayor crecimiento y rendimiento, una mayor palatabilidad del alimento, una mejor utilización de los nutrientes y beneficios para la salud.

Se requieren más investigaciones para evaluar diferentes distribuciones de péptidos en hidrolizados, así como un rango más estrecho de niveles de ración (100%, 90%) en combinación con series más amplias de frecuencias de alimentación (2,4,8,16 veces al día) seguidas de confirmación de los hallazgos en escenarios comerciales.

Parece existir una diferencia en el consumo de alimento para las dietas con los dos hidrolizados, con una media de 99.5 g para el HFFO y 107 g para el HFNI, que se manifiesta en las dietas homólogas, 117 vs 130 (2/100%), 95 vs 105 (2/80%), y 102 vs 106 (4/100%), excepto para 4/80%, pero que no se traduce en el crecimiento ni en la conversión de alimento.

CAPÍTULO IV

Eficiencia de tres técnicas diferentes de alimentación combinadas con alimento extruido y peletizado en la producción de *L. vannamei* en Ecuador.

4.1 Introducción

Aunque el alimento representa los costes operativos más altos, las prácticas de alimentación en muchos países siguen siendo intensivas en mano de obra (Napaupaiporn et al., 2013). En general, en los métodos tradicionales de alimentación, los productores distribuyen manualmente el alimento una o dos veces al día usando botes, esparciendo las dietas a mano (voleo) y usando bandejas de alimentación para controlar el consumo, lo que conlleva mucho tiempo y mano de obra asociada.

Más recientemente, los alimentadores automáticos controlados por ajuste de tiempo se han convertido en una herramienta cada vez más popular en la producción de camarones. Estos dispositivos están diseñados para dispensar una cantidad predeterminada de alimento a intervalos regulares, lo que ayuda a garantizar que los camarones reciban la cantidad adecuada que necesitan para crecer.

Uno de los beneficios clave de los alimentadores automáticos es que pueden ayudar a reducir los costes de mano de obra y mejorar la precisión de la alimentación. Los alimentadores automáticos, por otro lado, se pueden programar para dispensar alimento a intervalos específicos, lo que puede ayudar a reducir los costes de mano de obra y liberar tiempo para la realización de otras tareas (Reis et al., 2022).

Además de mejorar la eficiencia, los últimos avances en la dispensación automática condujeron a la alimentación asistida por detección de sonido, que puede mejorar aún más la precisión en la distribución de las dietas. Estos dispositivos están equipados con sensores que utilizan el sonido que produce un camarón cuando está consumiendo alimento (Napaumpaiporn et al., 2013) para garantizar una dispensación de la cantidad correcta de alimento en el momento adecuado. Esto puede ayudar a prevenir la sobrealimentación o la subalimentación, que son perjudiciales para el crecimiento y la salud de los animales. La alimentación automática por detección de sonido ha ganado popularidad en la producción de camarones para controlar y ajustar la tasa de alimentación.

En este sistema, los algoritmos específicos pueden medir la necesidad de alimento, que a su vez, determina la cantidad de alimento que se libera de un dispositivo de alimentación automática a un nivel apropiado que corresponde a la demanda de camarones. El uso adecuado de este sistema ha demostrado un incremento en la eficiencia de uso del alimento y una mejora en la tasa de crecimiento del camarón.

La mayoría de los ensayos y estudios en estrategias de alimentación se han llevado a cabo con pienso granulado, a pesar del gran potencial del pienso extruido.

La granulación y la extrusión son actualmente los dos métodos principales de cocción de alimentos acuícolas (Kamarudin et al. 2018). En Asia, solo hay un 5 % de alimentos para camarones extruidos frente a un 95 % de alimentos para camarones granulados en el mercado, mientras que en América Latina, la fabricación de alimentos por extrusión es cada vez más común (Merican 2020). Por lo tanto, la granulación y la extrusión son los dos métodos principales de fabricación de alimentos para camarones (Kamarudin et al., 2018).

El proceso de granulación utiliza tecnología más simple, menor consumo de energía y es relativamente más económico que el proceso de extrusión (NRC, 2011). Sin embargo, las dietas producidas por granulación tienen una baja estabilidad del agua y una alta descarga de desechos en comparación a los alimentos extruidos (Gao et al. 2019).

Existen algunos trabajos que han evaluado estos tres sistemas de alimentación en estanques semi-intensivos de 1000 m² (Napaumpaiporn et al., 2013; Jescovitch et al., 2018; Ullman et al., 2019a, b; Reis et al., 2020) pero solo un trabajo con datos procedentes de estanques comerciales, por lo que es necesario llevar al cabo nuevos estudios para obtener más resultados.

Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de tres estrategias de alimentación (manual, semiautomática y automática con hidrófonos) en el rendimiento del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) utilizando alimentos extruidos o granulados a través del análisis de datos estanques en condiciones de campo.

4.2 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo a partir de resultados de producción de granjas camaroneras privadas ubicadas en la provincia de Guayas, Ecuador (Figura 4.1). Datos de 639 estanques de tierra con un tamaño promedio de 8 a 12 hectáreas y 1,2 a 1,5 m de profundidad fueron recopilados durante período 2018-2020 en Guayas, Ecuador. En general, el agua de un estuario se bombeaba a un canal reservorio antes de usarla. Todos los estanques tuvieron ciclos de producción de 90 a 120 días. Los camarones fueron alimentados con dietas del 35% de proteína fabricadas por extrusión y granulación usando procesos industriales. El período de producción se seleccionó para evaluar el efecto del tipo de alimento (granulado y extruido) y la estrategia de alimentación utilizada (manual, automática con temporizador y automática acústica) sobre el crecimiento, la supervivencia, el rendimiento y la conversión alimenticia del camarón.

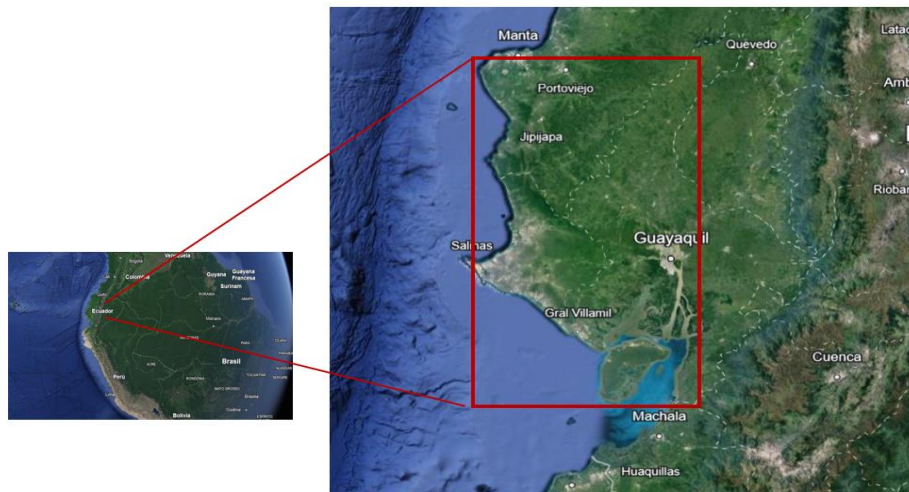


Figura 4.1. Localización del área de estudio para las pruebas de campo usando tres técnicas de alimentación: manual, semi-automática y automática durante el periodo 2018-2020.

El primer tratamiento consistió en alimentar a los camarones manualmente, esparciendo el alimento desde un bote alrededor del estanque con alimento comercial. La cantidad de alimento estaba regida por una tabla de alimentación y se controlaba diariamente por medio de platos testigos, sin embargo no se pudo determinar que esta práctica fuese seguida diariamente en la totalidad de camaroneras del estudio.

La alimentación manual al voleo se realizó desde bote una o dos veces al día (08:00 h y 14:00 h) corresponde al protocolo establecido y al manejo aplicado por cada camaronera con estanques alimentados con dietas nutricionalmente completas, usando alimento granulado de 2.0 mm de diámetro y alimento extruido de 1.9 mm de diámetro.

En cuanto a la alimentación semi-automática, se utilizaron dos marcas de alimentadores para alimentos granulados y una tercera marca de similares características para alimentos extrusionados. Los alimentadores solares con temporizadores cuyo número es calculado con base a la biomasa que se espera cosechar (aproximadamente un alimentador por hectárea), fueron programados para distribuir el alimento cada hora durante 20h en un radio de dispersión de 12 a 15 metros. Al igual que en alimentación manual, la cantidad de alimento estuvo determinada por una tabla de alimentación y se controló con bandejas ubicadas en el halo de alimentación, las cuales se verificaron a primera hora de la mañana.

Un tercer grupo de ciclos de producción, basados en el uso de dos marcas de alimentadores acústicos automáticos con hidrófonos cuyo número es calculado con base a la biomasa que se espera cosechar (aproximadamente un alimentador por hectárea) con un radio de alcance: 12,5 m y 14 m respectivamente, y configurados para alimentar 20 horas (5h00 a 24h00) se conectaron de forma remota a computadoras que realizaban monitoreo acústico pasivo (PAM) y un programa que procesaba el sonido generado por las mandíbulas de los camarones que emiten sonidos característicos (chasquidos o “clicks”) al alimentarse. Este dispositivo calculó la cantidad de alimento a distribuir. A fin de verificar que no se alimentaba en exceso o en deficiencia, se colocaban entre 1 y 2 bandejas por alimentador y se revisaban a primera hora de la mañana.

Las condiciones generales de los estanques, densidad de siembra y días de producción en el presente estudio se muestran en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Resumen de condiciones generales en el presente estudio de alimentación de *L. vannamei* bajo estrategias de alimentación manual, semi-automático por temporizador y automático-acústico con dietas granuladas y extrusionadas.

Técnica	Manual		Temporizador		Sonido	
	granulado	extruido	granulado	extruido	granulado	extruido
Número de estanques	179	237	39	89	42	53
Promedio del área (ha)	8,7	8,5	5,4	7,9	12	11,8
Densidad media (camarones /ha)	159.223	187.407	166.411	170.294	201.818	215.645

El área de los estanques osciló entre 5 y 12 ha, y la densidad de población estuvo entre aproximadamente 150.000 y 220.000 camarones/hectárea. En las tres estrategias de alimentación los dos alimentos (granulado y extruido) tuvieron 35% de proteína

4.2.1. Cálculos

La ganancia semanal promedio (g/semana), factor de conversión alimenticia (FCR), el peso final promedio, la tasa de supervivencia (%) y el rendimiento (kg/ha/día) se calcularon de acuerdo con la siguientes ecuaciones:

$$\text{crecimiento semanal} \left(\frac{g}{\text{semana}} \right) = \frac{\text{Peso total ganado por el camarón}}{\text{semana}}$$

$$FCR = \frac{\text{Alimento total utilizado}}{\text{peso total del camarón cosechado}}$$

$$\text{Peso final (g)} = \text{Peso corporal al final del ciclo de producción}$$

$$\text{Tasa de supervivencia (\%)} = \frac{\text{Número de camarones en el momento de la cosecha}}{\text{población inicial}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} / \text{dia} \right) = \frac{\text{Producción total}}{\frac{\text{tamaño del es tanque}}{\text{días de producción}}}$$

$$\text{Alimento acumulado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} / \text{dia} \right) = \frac{\text{Alimento total dispensado}}{\frac{\text{tamaño del es tanque}}{\text{días de producción}}}$$

$$\text{Producción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Producción total}}{\text{tamaño del estanque}}$$

$$\text{Biomasa producida}(\text{kg}) = \text{Producción total}$$

$$\text{Coste de producción} \left(\frac{\$}{\text{kg}} \right) = \text{Coste del alimento} + \text{coste larva} + \text{coste de mano de obra}^*$$

*el costo por kilo es el resultante de los costos totales generados en el ciclo productivo sobre los kilos cosechados. Para el costo total se toma en cuenta costo/ha/día, costo ponderado de alimento y un costo larva por millar aproximado.

4.2.2 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statgraphics® Centurion™ XVII (©Copyright 1982-2014 Statpoint Technologies, Inc). Peso final, crecimiento, supervivencia, rendimiento y FCR se analizaron mediante ANDEVA de una vía. El modelo estadístico incluyó el proceso de fabricación y la estrategia de alimentación como factores principales.

Posteriormente, dentro de los grupos de dietas granuladas o extruidas, se realizó un ANDEVA de una vía para determinar si existían diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos. Se utilizó la prueba Tukey HSD para separación de medias para evaluar diferencias significativas entre tratamientos. Las diferencias en el crecimiento semanal y FCR entre extruidos y granulados dentro de cada estrategia se analizaron mediante una prueba t de dos muestras. En las gráficas se representó las medias \pm desviación estándar.

4.3 Resultados

Los resultados del Análisis de varianza de dos vías mostraron efectos significativos ($p < 0,05$) de la estrategia de manejo: manual, por temporizador o sónica (factor A); y el proceso de fabricación de la dieta: por granulación o extrusión (factor B), sobre el peso final, crecimiento, biomasa total, producción, rendimiento, y alimento acumulado, mientras que la interacción (AxB) fue significativa en crecimiento, supervivencia y FCR (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Valores de p del análisis de varianza de dos vías para los parámetros zootécnicos de camarones alimentados con alimento peletizado y extruido con diferentes estrategias de manejo (alimentación manual, con temporizador y sónica).

	Estrategia de manejo (A)	Método de fabricación (B)	Interacción (AxB)
Peso final (g)	0,000	0,000	0,185
Crecimiento (g/semana)	0,005	0,000	0,000
Supervivencia (%)	0,076	0,944	0,020
Biomasa total (kg)	0,000	0,000	0,311
Producción (kg/ha)	0,000	0,000	0,332
Rendimiento (kg/ha/ día)	0,035	0,004	0,333
Pienso acumulado (kg/ha/día)	0,739	0,000	0,233
FCR	0,599	0,261	0,000

Los valores de $p < 0,05$ son estadísticamente significativos.

La Tabla 4.3 presenta los resultados (valores promedios y desviación estándar) sobre el desempeño de los camarones alimentados con dietas granuladas y extrusionadas bajo las tres estrategias. La supervivencia fue similar para todos los tratamientos.

El peso final fue estadísticamente mayor con la alimentación sónica en comparación con la manual y por temporizador cuando se suministró ambos alimentos extruido y granulado. Sin embargo, el FCR también fue mayor con

alimentación sónica en comparación con el resto de las estrategias de alimentación para el pienso granulado, pero no para el pienso extrusionado, que fue menor. El crecimiento y el rendimiento fueron muy similares entre los tratamientos con alimento granulados y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, pero mayores para el pienso extruido mediante ecosonda ($p > 0,05$). Así mismo, los resultados mostraron el mayor crecimiento semanal (g/semana) con alimentación automática por detección de sonido, con valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) cuando se comparó con temporizador y alimentación manual. Además, la estrategia de temporizador alcanzó un crecimiento semanal estadísticamente mayor ($p < 0,05$) que la alimentación manual, pero significativamente menor que la detección de alimentación con sonido.

Los días de producción fluctuaron entre 103 y 128 días por ciclo. No se observaron diferencias en supervivencia, crecimiento (g/semana), alimento acumulado o rendimiento entre las técnicas de manejo de alimentación cuando se utilizó alimento extrusionado (110-115 días), pero con el alimento granulado la técnica de sonido tuvo una mayor duración, 128 vs 103-107 días. Adicionalmente se observó diferencias significativas ($p < 0,05$) en la producción (kg/ha). La biomasa total con detección de sonido fue estadísticamente mayor que la obtenida con las técnicas de temporización y alimentación manual, mientras que la biomasa conseguida con temporizador también fue estadísticamente mayor que el manual pero significativamente menor que aquella obtenida con detección de sonido. En cuanto a la producción (kg/ha), no se observaron diferencias estadísticas entre el modo manual y con temporizador, sin embargo, con la técnica sónica se logró la mayor producción en comparación con las demás estrategias.

Tabla 4.3. Comportamiento de camarones (media \pm DE) bajo estrategias de alimentación manual, con temporizador semi-automático y automático-acústico alimentados con dietas granuladas y extrusionadas durante 2018-2020, Guayas-Ecuador.

	Manual granulado	Manual extruido	Temporizador granulado	Temporizador extruido	Sonido granulado	Sonido extruido
Peso final (g)	21,75 \pm 4,54 ^a	23,42 \pm 5,29 ^a	21,02 \pm 3,71 ^a	24,47 \pm 3,52 ^a	25,98 \pm 4,34 ^b	27,38 \pm 5,41 ^b
Tasa de crecimiento (g/semana)	1,49 \pm 0,30 ^a	1,44 \pm 0,24 ^a	1,39 \pm 0,30 ^a	1,52 \pm 0,24 ^b	1,43 \pm 0,21 ^a	1,72 \pm 0,26 ^c
Supervivencia (%)	53 \pm 13 ^a	57 \pm 15 ^a	59 \pm 19 ^a	54 \pm 16 ^a	52 \pm 16 ^a	52 \pm 12 ^a
Producción (kg/ha)	1852 \pm 796 ^a	2361 \pm 1090 ^a	2005 \pm 889 ^a	2268 \pm 724 ^a	2596 \pm 805 ^b	2876 \pm 1007 ^b
Días de producción	103 \pm 16 ^b	115 \pm 27 ^a	107 \pm 19 ^{ab}	113 \pm 18 ^a	128 \pm 20 ^c	110 \pm 25 ^{ab}
Rendimiento (kg/ha/ día)	18,40 \pm 8,14 ^a	22,19 \pm 17,04 ^{ab}	19,62 \pm 10,54 ^a	20,46 \pm 6,94 ^a	20,88 \pm 7,52 ^a	26,79 \pm 10,00 ^b
Alimento acumulado (kg/ha/día)	30,96 \pm 14,28 ^a	39,94 \pm 25,54 ^b	33,13 \pm 15,98 ^{ab}	37,85 \pm 12,31 ^{ab}	30,15 \pm 14,52 ^a	44,11 \pm 13,99 ^b
FCR	1,72 \pm 0,46 ^a	1,92 \pm 0,49 ^b	1,65 \pm 0,25 ^a	1,88 \pm 0,53 ^{ab}	1,96 \pm 0,54 ^b	1,67 \pm 0,30 ^a

Los promedios en la misma fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según el análisis de varianza (ANDEVA) seguido de la prueba de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Para los días de producción se usó la prueba de Kruskal-Wallis.

El alimento consumido fue estadísticamente diferente cuando se comparó la técnica sónica con extruido frente a manual con granulado.

Los camarones alimentados por detección de sonido con alimento extruido presentaron una tendencia a un mayor rendimiento que los camarones alimentados manualmente, indistintamente del alimento usado, pero no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0,05$).

Los resultados también revelaron que los camarones alimentados con dietas extruidas con una estrategia de detección sónica, tuvieron un mayor rendimiento que los camarones alimentados manualmente, pero no se detectaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$). Sin embargo, cuando se comparó la alimentación sónica con la temporizada, se observó una diferencia significativa ($p < 0,05$).

Se observó una tendencia de mayor alimento acumulado (kg/ha/día) con detección sónica, pero no se detectaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ($p > 0,05$).

Por otro lado, un FCR estadísticamente más bajo ($p < 0,05$) fue observado con la alimentación con detección de sonido en comparación con alimentación por temporizador y alimentación manual.

Las tasas de crecimiento semanales promedio de los camarones de las tres estrategias de alimentación en combinación con los dos procesos de fabricación de alimentos se muestran en la Figura 4.2. Los resultados mostraron que los camarones alimentados con alimento extruido crecieron más que los alimentados con granulados ($p < 0,05$) cuando se aplicó alimentación por temporizador y sonido. No se observaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en crecimiento usando dietas extrusionadas o granuladas cuando el alimento se entregaba manualmente.

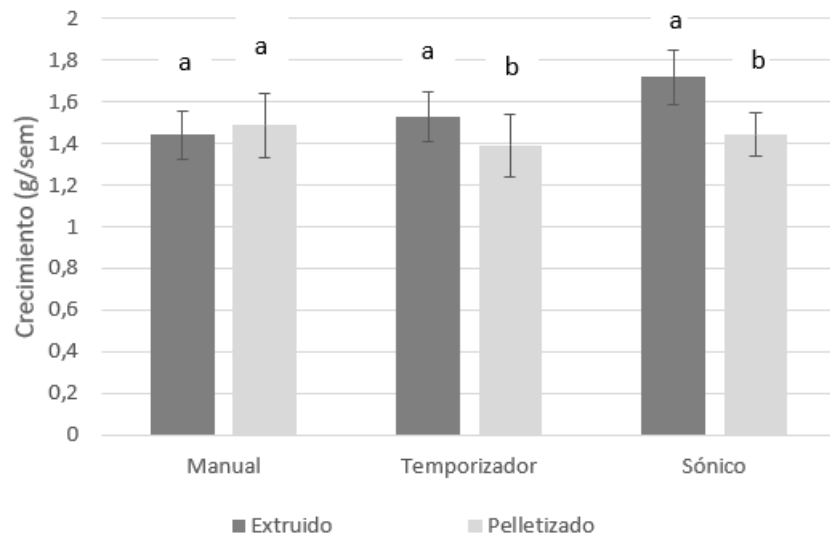


Figura 4.2 Crecimiento en gramos (media \pm DE) de la producción de *L. vannamei* con tres estrategias de manejo de alimentación en combinación con alimento extruido y granulado. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media. Diferentes superíndices denotan diferencias dentro de cada estrategia.

El FCR promedio de los camarones alimentados con las tres estrategias de alimentación en combinación con el alimento granulado o extruido se muestra en la Figura 4.3.

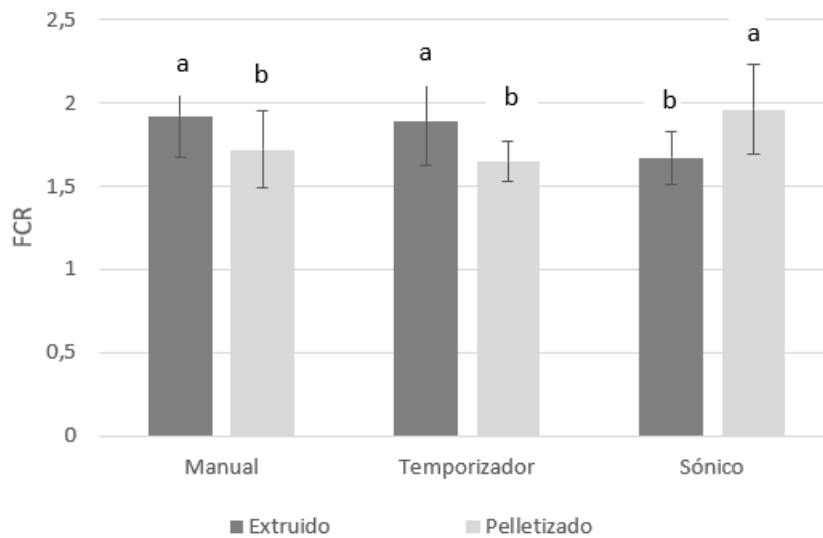


Figura 4.3 Eficiencia alimenticia (media \pm DE) en la producción de *L. vannamei* siguiendo tres estrategias de manejo de alimentos en combinación con alimento granulado y extruido. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media. Diferentes superíndices denotan diferencias dentro de cada estrategia.

Los resultados indican que el FCR en los camarones alimentados con alimento extruido fue estadísticamente más alto ($p < 0,05$) que el granulado cuando se alimenta manualmente y por temporizador. Sin embargo, con la detección de sonido se observó una notable excepción, donde se logró el FCR más bajo de $1,67 \pm 0,31$, que fue estadísticamente diferente de aquel obtenido con alimento granulado.

No se detectaron diferencias dentro de la estrategia manual o con temporizador en términos de coste (alimento balanceado, larva y mano de obra) por kilogramo (Figura 4.4). Sin embargo, el coste estadísticamente más bajo ($p < 0,05$) se logró cuando se utilizó la combinación extruido-sónico en comparación con granulado-sónico.

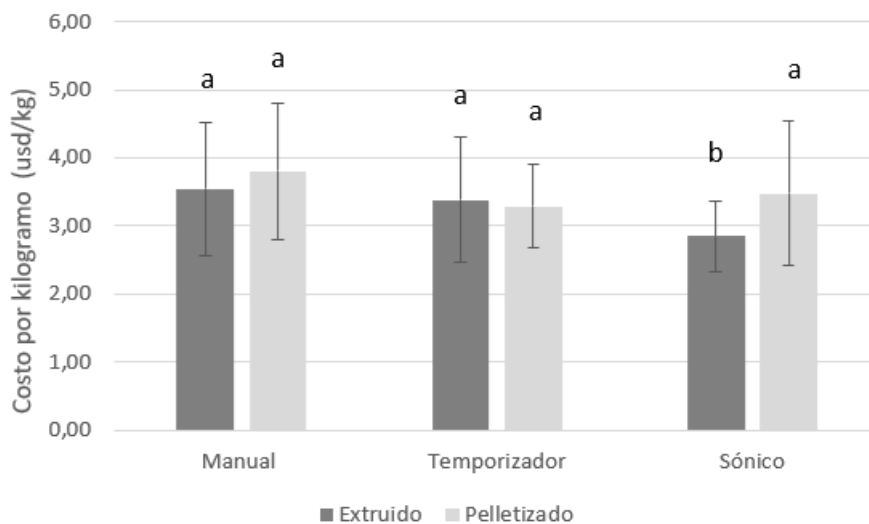


Figura 4.4 Coste por kilogramo (media \pm DE) en producción de *L. vannamei* siguiendo tres estrategias de manejo de alimentación combinadas con alimento granulado y extruido. Los valores son medias y las barras de error indican la desviación estándar de la media. Diferentes superíndices denotan diferencias dentro de cada estrategia.

4.4 **Discusión**

En cuanto a las densidades de siembra, en general se observa que la estrategia de usar alimentadores acústicos permite aumentar el número de organismos por hectárea, y aun así, alcanzar un mayor peso final, con una

consiguiendo mayor producción. Corroborando estos hallazgos, Hamilton et al. (2023) reportaron que el aumento de la densidad de siembra resultó en un sonido más intenso emitido por los camarones durante la actividad de alimentación, y también mostró una correlación positiva con el consumo de alimento. En el presente estudio, se observó una reducción en los días de producción (-10%) cuando se usa la combinación de dietas extruidas con alimentadores sónicos en comparación con dietas pellet y el mismo tipo de alimentador.

Por otro lado, el alimento medio acumulado (kg/ha/día) correspondiente a la combinación extruido-sónico es comparativamente mayor ($44,11 \pm 13,99$ kg/ha/día) frente al resto de estrategias y sus combinaciones sin embargo no se detectaron diferencias lo que probablemente se debió a la alta variabilidad de datos de alimentación manual ($DE=17,04$ kg/ha/día). A pesar de esto se observó una tasa de crecimiento semanal ($1,72 \pm 0,26$ g/semana) que permitió producir más kg/ha (2876 ± 100 kg/ha) en beneficio de la combinación extruido-sónico. Es evidente una disminución de FCR en comparación con la combinación sónico-pellet ($1,67 \pm 0,31$ frente a $1,96 \pm 0,54$), lo que está en concordancia con lo informado por Reis et al. (2019) quienes demostraron una mejor eficiencia alimenticia usando alimentación a demanda por acústicos pasivos versus protocolos de alimentación estándar.

La alimentación con temporizador y dieta extruida también mostró mejores resultados que la combinación temporizador-granulado en términos de kg cosechados y rendimiento.

En cuanto a la supervivencia, se observó que las estrategias con alimentación sónica tienen una tasa de supervivencia promedio del 52%, lo que estaría relacionado con el mayor peso final alcanzado $27,38 \pm 5,41$ g en comparación con las demás estrategias que alcanzaron $23,42 \pm 5,29$ g como peso medio final y una supervivencia media del 55%.

En general, la estrategia con alimentación sónica hace más evidentes las diferencias productivas al comparar las dietas granuladas versus las extruidas. Los ciclos que recibieron alimentación con modo de detección de sonido combinado con dietas extrusionadas son los que han alcanzaron tasas

productivas más altas en términos de crecimiento y eficiencia alimenticia, con una reducción en el número de días de producción (alrededor de 18 días).

Los hallazgos de este estudio concuerdan con los informes de Jescovitch et al. (2018) quienes reportan que el monitoreo de la actividad de alimentación con dispositivos acústicos pasivos en la producción de camarón es una estrategia para producir de manera eficiente en comparación con otras estrategias convencionales.

En general, los protocolos de alimentación estándar en el presente estudio, para el ajuste manual y por temporizador, pueden mejorarse; sin embargo, los sistemas de retroalimentación automatizados que operan en tiempo real con una alimentación sónica superan las prácticas estandarizadas hasta la fecha, lo que permite dosificaciones precisas de alimento y evita el exceso o la subalimentación (Reis et al., 2021).

El uso de alimentadores automáticos basados en la detección de sonido permite aumentar el número de dosis no solo impulsando el crecimiento del camarón, sino también mejorando los indicadores económicos a medida que se reduce la necesidad de mano de obra y se mejora la eficiencia alimenticia (Napaumpaiporn et al., 2013; Jescovitch et al., 2018). La aplicación de alimentadores automáticos ha mostrado muchas ventajas en comparación con los métodos tradicionales. Dentro de los alimentadores automáticos, los sistemas de retroalimentación acústica bajo demanda han mostrado un mejor rendimiento que los alimentadores con temporizador más simples (Napaumpaiporn et al., 2013; Jescovitch et al., 2018; Ullman, 2019a; 2019b) y también se ha reportado una mejora en la calidad del agua (Reis et al., 2019).

Además de las estrategias de gestión basadas en alimentadores automáticos con hidrófonos, ha surgido un creciente interés en los alimentos acuícolas procesados por extrusión (Tacon et al., 2003; Chamberlain, 2004; Sørensen, 2007; Tacon, 2017; Welker et al., 2018; Kaválek M, Plachý, 2019; Molina et al., 2019; Soares et al., 2021).

Estudios anteriores reportan que los beneficios del uso de la tecnología de extrusión incluyen una alta estabilidad del agua, la destrucción de algunos factores antinutricionales y la alta digestibilidad de la proteína y el almidón (Rout y Bandyopadhyay, 1999; Hardy y Barrows, 2002; Misra et al., 2002; Singh et al., 2007; Gao et al., 2019; Reis et al., 2021; Hu, 2022).

Más recientemente, la dureza de alimento también se ha identificado como una característica que potencialmente podría contribuir a una mejor detección del sonido en *L. vannamei* (Peixoto et al., 2020).

En contraste con la granulación, el proceso de extrusión implica una alta temperatura de cocción (120-150 °C) y presión (300-700 psi), donde la mezcla de ingredientes se somete a fuerzas de corte.

La hidroestabilidad es un parámetro de calidad crítico del alimento para camarones que a menudo se ve afectado por una combinación de composición de ingredientes y procesamiento (Welker et al., 2018). La alta estabilidad en agua evita la pérdida de nutrientes durante la inmersión en agua. Por el contrario, el alimento con poca estabilidad del agua se disuelve, hincha y dispersa no solo reduciendo el contenido de nutrientes y la utilización por parte de los camarones, sino que también disminuye la calidad del agua ya que la desintegración genera finos que se descomponen en sustancias tóxicas como amonio y nitritos (Molina et al., 2018).

El procesamiento por extrusión, en comparación con el procesamiento por granulación, mejoró la calidad del alimento en algunas características, como un mayor grado de gelatinización del almidón (Adedeji et al., 2017), una mayor tasa de expansión y un mayor tamaño de los poros dentro de los gránulos.

En el presente estudio, la tendencia de mayores rendimientos obtenidos con el alimento extruido podría explicarse con base en el procesamiento que podría tener un efecto sobre las propiedades de lixiviación de los alimentos (Ullman et al. 2019a; Welker et al., 2018) sugirieron que el alimento granulado podría potencialmente contribuir con más desperdicio o alimento irrecuperable en comparación a los alimentos extruidos ya que durante la inmersión, los gránulos

pierden constantemente nutrientes y atrayentes a través de la lixiviación (Chamberlain, 2004).

La extrusión crea un alto grado de gelatinización del almidón, en este proceso endotérmico el agua actúa como plastificante para los polímeros de almidón (deMan et al., 2018), el almidón modificado a su vez, resiste la desintegración en agua, proporcionando una mejor fuerza de unión y una alta estabilidad y durabilidad en comparación con los alimentos procesados por granulación (Hardy y Barrows, 2002; Allan y Booth, 2004; Cuzon et al., 2004).

Por ejemplo, Adedeji et al. (2017) reportan el uso de granos secos de destilería con solubles de sorgo (DDGS) con respecto al procesamiento y la calidad fisicoquímica del alimento para camarones. En este estudio, el alimento extruido tuvo un mayor grado de gelatinización que el alimento granulado, y la estabilidad del agua (76,2-91,6%) fue mayor para el alimento extruido en comparación con el alimento granulado.

Además, Molina-Poveda y Espinoza-Ortega (2019) demostraron que el proceso de extrusión no solo produce alimentos de mejor calidad comparado con el método de granulación, sino que también mejora la calidad de las heces y su durabilidad en el agua y, por lo tanto, el uso de alimentos extruidos tiene el potencial de mejorar la recolección y eliminación de desechos y reducir la contribución a la contaminación en los efluentes.

En resumen, el procesamiento por extrusión mejora la calidad del alimento y el rendimiento (Gao et al., 2019) al incrementar la estabilidad del agua y la durabilidad física, que generalmente son menores en los alimentos granulados (Peixoto et al., 2020).

Otra ventaja de la extrusión es la desnaturalización de factores antinutricionales. Según (Vidal et al., 2022) la soja extruida exhibió una desnaturalización completa de la β -conglucina, uno de los factores antinutricionales termoestables clave en la soja que tuvo efectos adversos en el crecimiento y la inmunidad de animales acuáticos (Liu et al., 2019).

En el mismo estudio, Vidal et al. (2022) también reportan que el procesamiento termomecánico puede eliminar selectivamente los polifenoles

mientras conserva la calidad de la proteína. Los polifenoles son particularmente abundantes en las materias primas vegetales comunes, como la harina de soja, que se considera una de las fuentes de leguminosas más ricas en flavonoides. Los polifenoles no se destruyen totalmente durante los diferentes tratamientos a los que se someten las semillas y pueden encontrarse en la harina de soja (Woumbo et al. 2021). La cocción por extrusión a temperaturas de hasta 120 °C pueden disminuir el contenido de polifenoles. Sin embargo, para obtener un producto extruido nutricionalmente balanceado, es esencial un control cuidadoso de los parámetros del proceso, específicamente determinar la temperatura óptima de procesamiento durante la extrusión es fundamental para destruir los factores antinutricionales mientras se mantiene la calidad del producto (Singh et al., 2007). El alto contenido de humedad combinado con la corta duración de la exposición implica que la extrusión puede no ser perjudicial para el valor nutricional (Sorensen, 2007).

En consecuencia, la cocción durante el procesamiento del alimento puede mejorar el valor nutricional de los ingredientes proteicos debido a la desnaturalización de las proteínas; (Bortone, 2018) se ha sugerido que la extrusión expone las moléculas a más sitios de acceso para que la acción enzimática pueda ser efectiva y, por lo tanto, mejore la digestibilidad de las proteínas y las propiedades funcionales del alimento acuícola (Delgado et al., 2018). Las temperaturas de extrusión podría mejorar el valor nutricional (Sorensen, 2007) mejorando la capacidad de digestión y absorción.

Además de mejorar la digestibilidad de las proteínas, (Glencross et al., 2011) reportan que la extrusión también mejoró significativamente la digestibilidad de la energía en las dietas para la trucha arcoíris, como también Romano y Kumar (2019) reportaron que una mayor gelatinización del almidón mejora la digestibilidad, debido a que el almidón gelatinizado tiene más sitios de absorción para las enzimas digestivas.

Finalmente, un beneficio adicional del alimento extruido es una mayor dureza, que varios autores han reportado en comparación con el alimento granulado (Welker et al., 2018; Peixoto et al., 2020; Soares et al., 2021). La dureza es una característica física definida como la fuerza máxima necesaria para romper un

pellet (Samuel y Ortega, 2017; Thomas y Poe, 1996). La dureza del alimento es fundamental, tanto que el patrón de movimiento de los apéndices de alimentación podría verse alterado dependiendo de los tipos de alimentos con diferentes características físicas, como dureza, textura y tamaño (Kawamura et al., 2018). Las mandíbulas son las estructuras morfológicas responsables de la emisión de sonido durante la actividad de alimentación en peneidos (Peixoto et al., 2020). En el trabajo de Peixoto et al. (2020) la mayor dureza de la dieta extruida resultó en una mayor intensidad de sonido comparada con el alimento granulado cuando se ofreció seco, lo que podría ser una ventaja para la detección sonora de la actividad de alimentación.

En resumen, los resultados de este estudio demostraron el efecto beneficioso sobre el crecimiento de los camarones de los alimentos manufacturados por extrusión en comparación con los alimentos granulados convencionales, y su combinación con la alimentación sónica como una herramienta adecuada para mejorar la eficiencia en la producción de camarones.

Se requieren más estudios que incorporen otras fuentes de información que podrían integrarse en la respuesta sónica, incluida la temperatura, el oxígeno y, en última instancia, los datos de crecimiento semanal. Además, y con respecto al proceso de extrusión, todas las transformaciones a diferentes niveles de temperatura y presión deben evaluarse más a fondo, también se debe realizar en el futuro un estudio de viabilidad económica y técnica en escenarios específicos tales como: producciones intensivas, a baja salinidad, producciones en temporadas de transición invierno-verano etc. a fin de valorar los efectos bajo estos escenarios a escala comercial.

CAPITULO V
Discusión General

5.1 Discusión General

Independientemente de la frecuencia de alimentación, una supervivencia alta fue observada en todos los tratamientos de los experimentos realizados bajo condiciones controladas, cuyos valores oscilaron en un intervalo desde 85 hasta 90%, mientras que los resultados de las supervivencias de granja fueron menores: entre un 50-60% (Tabla 4.4).

En cuanto a los pesos finales del primer experimento los resultados pueden explicarse con base en los ritmos circadianos bifásicos de actividad enzimática característicos de *L. vannamei*. Los ciclos circadianos bifásicos se han descrito en varias especies de crustáceos como *Palaemon serratus*, *Penaeus notalis*, *P. californiensis*, *Callinectes arcuatus*, *Litopenaeus schmitti* y se ha sugerido que constituyen un patrón fisiológico de todas estas especies (Steinberg, 2018).

Por ejemplo, el ciclo circadiano de actividad enzimática de *M. tenellum* para proteasas generales, lipasas y amilasas, es bifásico y se presenta a las 08:00 h, y a las 20:00 h. El comportamiento bifásico de la actividad enzimática digestiva a estas horas, está relacionado con la actividad ecológica de estas especies en su medio natural, con hábitos alimenticios durante las primeras horas del día y la noche (Espinosa-Chaurand et al., 2017).

Este mismo patrón, en el que se verifica una tendencia a la disminución del peso final conforme la frecuencia aumenta, fue observado también en el experimento 2, en el que se alimentó a las 10:00 y 16:00h, y a las 10:00, 16:00, 22:00 y 04:00h.

En concordancia con los resultados encontrados en nuestros experimentos, Casillas-Hernández et al. (2006) describe los ritmos circadianos en *L. vannamei* como bifásicos y reportan el hallazgo de un primer pico enzimático de alta intensidad en horas del día y uno más débil en horario nocturno. Adicionalmente, los autores demostraron que una alimentación previa al pico de actividad enzimática tuvo beneficios en comparación con otros horarios.

En el trabajo de Casillas-Hernández et al. (2006) los resultados mostraron que las cuatro tallas de camarón estudiadas (5, 10, 25 y 30 g) presentaron un ritmo circadiano bifásico de actividad proteasa. El primer pico de actividad enzimática en todos los tamaños apareció en 10:00 horas aproximadamente (pico diurno) y segundo a las 20:00 horas (pico nocturno), mientras que los niveles más bajos de actividad enzimática estuvieron presentes a las 00:00 horas en todos los tamaños estudiados. Es importante remarcar que los camarones que se alimentaron dos horas antes del pico enzimático (08:00, 18:00 y 00:00 h), presentaron tasas de crecimiento, tamaño final y supervivencia significativamente más altas que los alimentados en los horarios restantes.

Estos resultados sugieren una concordancia o simultaneidad entre la actividad alimentaria, la variación enzimática y el uso alimentario, y a su vez, tienen connotaciones prácticas en los esquemas de alimentación, en donde las alimentaciones previas a los picos de actividad enzimática podrían tener una gran aplicabilidad (Espinosa-Chaurand et al., 2017). Los esquemas de alimentación previos al pico de actividad enzimática podrían tener un importante impacto en la producción semi-intensiva de *L. vannamei*.

Por otro lado, en los ensayos de frecuencia de alimentación en granja con alimentadores automáticos sónicos, en los que se puede cuantificar exactamente la demanda de alimento a lo largo del tiempo, el consumo de alimento describe una línea sinusoidal con un pico correspondiente al incremento diurno similar al encontrado por Casillas-Hernández et al. (2006), sin embargo, en estas condiciones la concentración de oxígeno juega un rol crítico que condiciona el consumo de alimento.

En condiciones de granja, un consumo moderado de alimento es registrado en las primeras horas de la mañana, dada la temperatura y el nivel de oxígeno que normalmente están por debajo de los valores más favorables para el camarón. Sin embargo, a medida que transcurre el día, tanto la temperatura como el oxígeno en la columna de agua se incrementan hasta llegar a un máximo, que correspondería al punto en donde existe mayor tasa de respiración del fitoplancton. Este periodo corresponde a la media tarde,

es decir de 14:00 a 17:00h, intervalo de tiempo en el cual varios autores han informado que tanto la actividad enzimática como la exploración del sustrato en búsqueda de alimento en *L. vannamei* son máximas (Molina et al. 2000; Pontes y Arruda 2005).

Tanto en los experimentos bajo condiciones controladas, así como en las pruebas de granja, el método de procesamiento de la dieta por extrusión tuvo un efecto positivo en el crecimiento del camarón cuando se comparó con una dieta granulada.

En el ensayo 1 bajo condiciones controladas, con alimento extruido, se observó un efecto en el peso final a las frecuencias más bajas (1 y 2 veces). La tasa de crecimiento de los camarones alimentados con dietas extruidas fue mayor comparada con aquella obtenida con alimento granulada. Los resultados sugieren que la mayor hidroestabilidad del alimento extruido, tiene un efecto de reducción de la lixiviación de nutrientes y permite al alimento tener una mejor estabilidad, en contraste con el alimento granulada (Misra et al. 2002).

Varios autores han encontrado ventajas en el uso de alimentos extruidos en crustáceos, por ejemplo, en *L. vannamei* (Tacon et al., 2003) demostró que el alimento extruido fue superior en términos de crecimiento al granulada cuando se ensayó en animales de 0.95 g en un sistema de tanques con agua clara en instalaciones bajo techo (Misra et al., 2002) en postlarvas de *Macrobrachium rosenbergii* (14.5-14.9 mg) alimentadas con alimento granulada o extruido por un periodo de 60 días, encontraron una mejor tasa de crecimiento específico, el alimento extruido presentó mejor hidroestabilidad, absorción de agua, mejor tasa de eficiencia proteica comparado con granulada, la pérdida de nutrientes fue mínima en el alimento extruido y se verificó una menor pérdida de nutrientes y factor de conversión.

En el experimento 1, el mayor crecimiento del camarón alimentado con dietas extruidas puede atribuirse a una mayor hidroestabilidad debido a que uno de los efectos de la extrusión es el alto grado de la gelatinización de los almidones lo que está directamente ligado a la temperatura y la presión

usadas en esta técnica. En este proceso el agua tiene un papel fundamental sobre los polímeros del almidón (deMan et al. 2018) transformándolos y haciendo que el alimento resista a la desintegración, proporcionando con ello una mejor durabilidad en comparación con el alimento granulado (Hardy y Barrows, 2002). Este proceso térmico no solo transforma los almidones sino que además desnaturaliza enzimas como lipoxidasas y desactiva algunos factores antinutricionales como los inhibidores de tripsina lo que potencia la biodisponibilidad de los ingredientes (van der Poel et al., 1992; Singh et al., 2007).

En concordancia con los hallazgos bajo condiciones controladas, los datos de campo también sugieren ventajas cuando se usa alimento extruido. A diferencia de la granulación, el proceso de extrusión incluye la cocción y mezclado de ingredientes a alta temperatura (110-150 °C) y presión (300-700 psi) en un tiempo relativamente corto (≈ 5 segundos) lo que tiene un impacto directo en las propiedades fisicoquímicas, que pueden afectar a la durabilidad y estabilidad de los pellets, así como a la calidad del agua resultante. Las condiciones durante el procesamiento también influyen en la calidad nutricional de los ingredientes y en consecuencia, influyen en la digestibilidad (Welker et al., 2018).

En nuestro estudio, se observaron efectos significativos en el crecimiento y la conversión alimenticia del juvenil *L. vannamei* en relación con la frecuencia de alimentación y la restricción de la ración. La alimentación de camarones cuatro veces al día, en comparación con dos veces al día, mejoró significativamente la conversión alimenticia, pero no tuvo un impacto positivo en el crecimiento. Además, cuando se administraron cuatro dosis, incluyendo una alimentación nocturna, se registró un crecimiento significativamente menor en las condiciones de nuestro estudio.

Es importante señalar que, en este estudio, el efecto de la frecuencia y la proporción de alimentación se mantuvo constante en ambas dietas estudiadas.

Los resultados de nuestra investigación destacan el impacto significativo de los horarios de alimentación y el tamaño de la ración en la eficiencia de la producción en la cría de camarón. Esto subraya la importancia de comprender esta correlación al desarrollar esquemas de manejo de la alimentación, como se ha señalado en estudios anteriores (Arnold et al., 2016).

El manejo adecuado de la alimentación es crítico para optimizar el crecimiento de los camarones y maximizar eficiencia y reducir el desperdicio (Chatvijitkul et al., 2017; Garlock et al., 2020, 2022; Kumar et al., 2017; Weldon et al., 2021) además de reducir los impactos ambientales de la producción de camarón (Boyd y Engle, 2017).

La alimentación restringida consiste en proporcionar una cantidad limitada de alimento en comparación con la capacidad de consumo total. Se usa como una estrategia para evitar desperdicio de alimento, reducir los costes de producción y optimizar la eficiencia de la conversión alimenticia, sin embargo, hay poca información disponible sobre los efectos de la restricción alimentaria moderada o severa sobre el crecimiento de *Litopenaeus vannamei*. (Nunes et al., 2006).

La alimentación restringida se puede aplicar de diversas formas, por ejemplo disminuyendo las horas efectivas de alimentación, restringiendo la cantidad, administrando un porcentaje menor al 100% de la ración, este porcentaje en algunos estudios ha alcanzado rangos desde 25 hasta el 75% (Nunes et al., 2006).

Una estrategia de alimentación restrictiva puede tener un impacto significativo en la tasa de crecimiento y, por lo tanto en la rentabilidad de la producción. Los resultados de este estudio realizado con 2 y 4 alimentaciones tanto con una ración completa a saciedad (100%) como con una ración del 80% sugieren un efecto desfavorable en el crecimiento del juvenil *L. vannamei* cuando la ración se restringe.

La tasa de crecimiento está directamente relacionada con la cantidad y calidad del alimento que reciben. Cuando se restringe la alimentación, la tasa de crecimiento tiende a disminuir. Esto se debe a que los camarones no pueden consumir suficientes nutrientes para crecer a su máximo potencial.

El presente estudio demuestra un efecto perjudicial de una ración restringida (20% por debajo de la saciedad) en *L. vannamei* juvenil, incluso cuando la frecuencia de alimentación se incrementó de dos a cuatro veces por día.

Una alimentación a aparente saciedad como se demuestra en el presente estudio tuvo como efecto un mejor crecimiento, ya que los camarones pueden consumir una cantidad de alimento que les permita satisfacer sus requerimientos nutricionales.

Además, la alimentación a aparente saciedad permite reducir el estrés asociado con una alimentación restringida. En esta estrategia, es menos probable que los camarones compitan por el alimento o muestren un comportamiento agresivo. La reducción de los niveles de estrés puede contribuir a una mejor salud general y a una mayor resistencia a las enfermedades.

Por otro lado, la reducción del tamaño de la ración al 80% mejora la eficiencia alimenticia, lo cual fue consistente para ambas dietas; la alimentación restrictiva ofrece una utilización óptima del alimento, aunque se produce a expensas del crecimiento

El aumento de los índices de conversión alimenticia observados en el presente estudio a medida que aumentó la tasa de crecimiento indica que probablemente el animal se estaba acercando al punto de ganancia máxima de peso (Weldon et al., 2021).

Los hallazgos observados en nuestro estudio contrastan con los informados por Arnold et al. (2016) que observaron beneficios en la eficiencia alimenticia de la ración restringida al aumentar la frecuencia de alimentación en *Penaeus monodon*. Sin embargo se observó una similitud en el FCR. En el estudio de Arnold et al. (2016) este parámetro disminuyó de $1,52 \pm 0,05$ a $1,26 \pm 0,04$ al reducir la ración del 100% al 80%; esto también ocurrió en el presente estudio en donde el FCR se redujo de $1,93 \pm 0,12$ a $1,64 \pm 0,07$ al pasar de 100% al 80% del tamaño de ración.

Sin embargo este efecto de reducción del FCR a medida que disminuye el tamaño de la ración, no pudo ser demostrado en *L. vannamei* criado en estanques. Venero et al., (2007) reportó que la alimentación al 100% y al 75% condujo a rendimientos significativamente diferentes para los dos niveles de saciedad: 6482 kg/ha al 100% versus 5054 kg ha al 75%, respectivamente, y FCR similares para ambos tratamientos.

Adicionalmente, contrario a nuestros resultados, (Nunes, 2006) no encontraron diferencias entre saciedad aparente versus restricción del 25%, lo que sugiere que es posible reducir moderadamente la alimentación diaria sin efectos perjudiciales sobre el crecimiento; sin embargo, observamos un efecto adverso en el rendimiento del crecimiento con una restricción del 20% de alimento.

Los hallazgos del presente estudio sugieren que la alimentación restringida condujo a una tasa de crecimiento reducida; al limitar la cantidad de alimento disponible para los camarones, su crecimiento puede verse comprometido.

Es posible que los esquemas de alimentación restrictivos tampoco proporcionen todos los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y la salud óptimos de los camarones, lo que puede afectar diversas funciones fisiológicas. Esta restricción significa que ni siquiera un ingrediente mejor puede aprovecharse al máximo.

Por el contrario, las prácticas de alimentación eficientes garantizan que se proporcione la cantidad adecuada de alimento para evitar la sobrealimentación y, por lo tanto, la liberación de un aporte excesivo de nutrientes en el agua. Al proporcionar la cantidad precisa de alimento, es posible minimizar la liberación de nutrientes y materia orgánica, reduciendo los impactos ambientales de la producción del camarón (Boyd y Engle, 2017; Weldon et al. 2021).

La restricción del alimento (o nivel de alimentación) es una estrategia en la que no se ha llegado a un consenso. En peces, por ejemplo, Azevedo et al. (1998) reportan un crecimiento más rápido cuando se alimentaron cerca de la saciedad en comparación con una asignación de alimento reducida, pero no

reportan ningún efecto significativo sobre la eficiencia alimenticia, y la retención de nitrógeno digestible.

Por otro lado, Maciel et al. (2018) en *L. vannamei* criados en un sistema biofloc, reportaron que la restricción (1 a 3 días) es seguida por un crecimiento compensatorio siendo esta estrategia válida en estas condiciones para mejorar la eficiencia alimenticia y la productividad.

Nunes et al., (2006) en tres experimentos sobre restricción del tiempo de alimentación y restricción de la tasa encontraron que períodos de exposición más prolongados mejoraban el rendimiento del crecimiento. Los resultados de la restricción de dosis sugirieron que es posible “reducir moderadamente las tasas de alimentación diaria sin efectos perjudiciales sobre la supervivencia, el crecimiento y la eficiencia alimenticia”.

Por otro lado, respecto a la dispensación de la ración, los sistemas automatizados constituyen una tendencia importante en la nutrición de camarones en la última década. Esta tendencia ha dado lugar a una mejora de las estrategias de alimentación a través de las nuevas tecnologías de alimentación (Reis et al., 2022).

El grado de automatización de la alimentación de camarones ha evolucionado en los últimos años, pasando de la alimentación manual con bandejas a la alimentación con dispositivos que dispensan alimento cada cierto tiempo, hasta finalmente llegar a los dispositivos sónicos que funcionan con hidrófonos.

Los hidrófonos ubicados en las piscinas son los responsables de la detección del sonido generado por los camarones que están en actividad alimenticia. Estas ondas de sonido son transformadas en impulsos de energía eléctrica que puede ser registrada por un software y procesada en tiempo real a través de algoritmos especializados para generar un perfil sónico asociado a la actividad alimenticia del animal (Reis et al., 2022).

En el presente estudio realizado a partir de datos de campo, identificó notables impactos de las técnicas de alimentación en el crecimiento y la eficiencia alimentaria de *L. vannamei*.

En condiciones de campo, se observaron tasas de supervivencia entre el 50 y el 56 % independientemente de la estrategia de manejo de la alimentación.

Aunque la supervivencia no se vio afectada significativamente, un incremento en el peso final del camarón fue observado con frecuencias de alimentación más altas. La ventaja de dividir la alimentación en más de una dosis diaria puede explicarse por una menor pérdida de nutrientes por lixiviación (Carvahlo y Nunes 2006; Nunes et al., 2018; Aalimahmoudi et al., 2016) menor desintegración de las partículas de alimento (lo que puede dificultar la manipulación por parte de los camarones y, por tanto, su ingestión); pérdida de atractabilidad de las dietas después de una larga exposición al agua; y la incapacidad de los camarones para ingerir grandes cantidades de alimento debido a su sistema digestivo relativamente pequeño.

Al comparar el rendimiento productivo, los resultados sugieren una mayor cantidad de kg/ha/día usando alimentadores sónicos (23,86 kg/ha/día) vs la técnica manual y semiautomática por temporización (20,45 kg/ha/día y 20.0 kg/ha/día respectivamente). Esto representa un 14% más de rendimiento cuando se usa alimentadores sónicos. El mismo patrón se encontró en el crecimiento semanal, alimentadores que funcionan con acústicos pasivos dieron como resultado un crecimiento promedio de 1,58 g/semana en contraste a los resultados con las otras dos técnicas, manual y temporizador, en los que el crecimiento solamente llegó a 1,47 y 1,46 g/semana respectivamente.

El FCR prácticamente fue igual si se comparan las tres técnicas en conjunto sin hacer una distinción por tipo de alimento ($\sim 1,8$). Estos estudios están en concordancia con los reportados por (Napaupaiporn et al., 2013) en los que se comparó la eficiencia de tres técnicas diferentes de alimentación de camarón utilizadas en la producción intensiva de camarón blanco: alimentación manual, alimentación automática con ajuste de tiempo y alimentación automática con detección de sonido. En este estudio, la densidad fue de 75 postlarvas/m² y el período de producción fue de 120 días. Los resultados mostraron que el crecimiento diario promedio de las técnicas por temporizador y sonido fueron de 0,21 y 0,24 g/día, respectivamente, superiores al obtenido con alimentación manual (0,18 g/día). La tasa de conversión alimenticia de las técnicas 1 a 3 fue 1,5, 1,4 y 1,3, respectivamente.

El mejor peso corporal promedio, en el mismo estudio se encontró en los camarones alimentados con sonido: 24,52 g, mientras que el más bajo fue de 15,92 g en los camarones alimentados con alimentación manual. Al igual que en este estudio, no se encontraron diferencias significativas en las tasas de supervivencia entre tratamientos.

Estos datos también coinciden con los reportados por Ullman et al. (2019b) quienes también evaluaron la frecuencia de alimentación en condiciones de campo mediante alimentación manual, temporizada y sónica, y mejoraron el crecimiento y rendimiento productivo (kg/ha) con estas dos últimas estrategias. A pesar de ello, en un trabajo similar reportado por Jescovitch et al. (2018) se registraron niveles significativamente superiores de nitrito en el agua al final del experimento en el tratamiento sónico, por lo que todavía existiría un margen de mejora incluso cuando se usa esta tecnología.

Además, en el presente estudio de campo, se encontró que la estrategia con alimentadores acústicos permite aumentar el número de animales por hectárea y, al mismo tiempo, lograr un mayor peso final. Corroborando estos hallazgos, Hamilton et al. (2023) reportan que el aumento en la densidad de población se asoció con una mayor emisión de sonido por parte de los camarones durante la alimentación y mostró una correlación positiva con el consumo de alimentos.

El uso de alimentadores automáticos basados en la detección de sonido no solo permite aumentar la frecuencia de alimentación, impulsando el crecimiento de los camarones, sino que también mejora la rentabilidad económica al reducir la necesidad de mano de obra y mejorar la eficiencia alimenticia (Ullman et al., 2019b). La aplicación de alimentadores automáticos ha demostrado varias ventajas en comparación con los métodos tradicionales. Los alimentadores automáticos con sistemas de retroalimentación acústica bajo demanda, han mostrado un mejor rendimiento que los alimentadores con temporizador (Ullman et al., 2019b).

El aumento de la disponibilidad de alimentadores temporizadores y comprensión de la preferencia de los camarones por una mayor frecuencia de alimentación ha resultado en un cambio considerable en la industria hacia la automatización, especialmente en granjas que operan en regiones donde los costes laborales son altos y la dispersión al voleo se vuelve ineficiente. Existen varios enfoques tecnológicos acústicos, pero el perfil acústico pasivo del camarón como una herramienta para desarrollar alimentadores de demanda ha sido una de las principales tendencias en el sector durante la última década. Las constantes mejoras en los alimentadores acústicos de demanda para la producción de camarón, así como la continua adopción de estos sistemas por parte de la industria son innegables (Reis et al., 2022).

En resumen, aunque los protocolos de alimentación estándar utilizados en este estudio, ya sean manuales o con temporizador, tienen margen de mejora, los sistemas automatizados de retroalimentación en tiempo real superan las prácticas convencionales hasta la fecha ya que permiten una dosificación precisa de las dietas evitando así el exceso o la falta de alimentación.

Tabla 4.4 . Promedios (\pm DE) de los parámetros zootécnicos para *L. vannamei* alimentados con dietas granuladas y extruidas a diferentes frecuencias y niveles de saciedad en condiciones controladas y comerciales.

	Frecuencia/Técnica	Días del ciclo		Supervivencia (%)		Peso final (g)		Biomasa final (g)		Crecimiento semanal (g/sem)		FCR						
		E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P					
1er Exp.	1 (100%)	60	60	97 $\pm 6^a$	97 ± 6	9.26 $\pm 0.48^b$	7.96 ± 0.32	71.68 $\pm 4.58^a$	61.76 ± 5.52	0.96 \pm 0.05 ^b	0.82 ± 0.04	1.99 \pm 0.08 ^a	1.66 ± 0.13					
	2 (100%)	60	60	100 $\pm 0^a$	100 ± 0	8.90 $\pm 0.45^{ab}$	8.17 ± 0.66	71.16 $\pm 3.60^a$	65.34 ± 5.26	0.92 \pm 0.05 ^{ab}	0.84 ± 0.08	2.02 \pm 0.25 ^a	1.66 ± 0.05					
	4 (100%)	60	60	97 $\pm 6^a$	97 ± 6	7.96 $\pm 0.50^a$	8.10 ± 0.40	61.91 $\pm 7.34^a$	62.82 ± 5.50	0.81 \pm 0.06 ^a	0.83 ± 0.05	1.66 \pm 0.08 ^b	1.65 ± 0.04					
	6 (100%)	60	60	97 $\pm 6^a$	100 ± 0	8.10 $\pm 0.82^{ab}$	7.74 ± 0.79	62.48 $\pm 3.86^a$	61.94 ± 6.35	0.83 \pm 0.09 ^a	0.79 ± 0.09	1.57 \pm 0.05 ^b	1.69 ± 0.12					
2do Exp.	2 (100%)	-	53	-	93 ± 6	97 ± 6	-	7,17 $\pm 0,23$	7,21 $+0,30$	-	66,87 $\pm 1,41$	69,67 $+5,56$	-	0,841 $\pm 0,04$	0,85 $\pm 0,04$	-	1,90 $\pm 0,05$	2,07 $\pm 0,14$
	4 (100%)	-	53	-	87 ± 12	93 ± 6	-	6,52 $\pm 0,33$	6,77 $\pm 0,56$	-	56,43 $\pm 6,25$	63,14 $\pm 4,94$	-	0,76 $\pm 0,04$	0,79 $\pm 0,07$	-	1,91 $\pm 0,16$	1,84 $\pm 0,04$
	2 (80%)	-	53	-	93 ± 6	100 ± 0	-	6,61 $\pm 0,18$	6,77 $\pm 0,35$	-	61,68 $\pm 2,85$	67,70 $\pm 3,50$	-	0,767 $\pm 0,02$	0,79 $\pm 0,05$	-	1,70 $\pm 0,03$	1,77 $\pm 0,10$
	4 (80%)	-	53	-	100 ± 0	97 ± 6	-	6,41 $\pm 0,37$	6,38 $\pm 0,13$	-	64,08 $\pm 3,69$	61,70 $\pm 3,99$	-	0,74 $\pm 0,05$	0,74 $\pm 0,02$	-	1,53 $\pm 0,08$	1,57 $\pm 0,06$
3er Exp.	Manual	115	103	57	53	23	22	5192*	1852*	1.44	1.49	1.93	1.72					
	Temp.	113	107	54	59	24	21	4989*	2005*	1.53	1.39	1.89	1.65					
	Sónico	110	128	52	52	27	26	6327*	2596*	1.72	1.44	1.67	1.96					

CAPITULO VI: Conclusiones y recomendaciones

1. El incremento de la frecuencia de alimentación de 1 a 6 veces al día con alimento extruido es una estrategia adecuada para preservar la calidad del agua en condiciones de laboratorio. A frecuencias más altas, con dietas extruidas, los resultados de la calidad del agua sugieren una reducción en los niveles de nitrógeno amoniacal total y nitrito.
2. El alimento extruido en un plan de alimentación durante el día con 1-2 comidas mejora la tasa de crecimiento.
3. Existe un notable impacto del tamaño de la ración y los horarios de alimentación en la eficiencia de la producción de camarón. Dos comidas en horario diurno dieron una mejor tasa de crecimiento que 4 comidas repartidas durante el día y la noche. Una alimentación restringida al 80% originó una menor tasa de crecimiento, al limitar la cantidad disponible de alimento incluso cuando la frecuencia de alimentación se incrementa de dos a cuatro veces al día. La alimentación a saciedad, frente a la alimentación restringida, asegura que los requerimientos nutricionales sean cubiertos y que el camarón pueda expresar en mayor medida su potencial de crecimiento.
4. Finalmente la combinación de dietas extruidas con alimentación automática a libre demanda, asistida por hidrófonos mostró un mejor crecimiento y FCR respecto a las otras técnicas de alimentación (manual y semiautomática con temporización). Por ello que se sugiere que esta combinación sería la más adecuada para lograr una producción eficiente en condiciones comerciales en Ecuador.
5. Mas estudios son necesarios a fin de conocer a nivel de granja si las estaciones del año y los periodos de transición tienen un efecto en las diferentes técnicas de alimentación a diferentes frecuencias, así como también verificar la viabilidad económica y técnica en escenarios específicos de producción de camarón a escala comercial.

Referencias

- Aalimahmoudi, M., Reyshahri, A., & Bavarsad, S. S. (2016a). Effects of feeding frequency on growth , feed conversion ratio , survival rate and water quality of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei* , Boone , 1931). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(August 2015), 293–297.
- Adedeji, A. A., Zhou, Y., Fang, X., Davis, D. A., & Fahrenholz, A. (2017). *Utilization of sorghum distillers dried grains in extruded and steam pelleted shrimp diets*. 883–898. <https://doi.org/10.1111/are.12932>
- Aguiñaga-cruz, J. A., Sainz-hernández, J. C., García-rodríguez, L. D., García-ulloa, M., García-gutiérrez, C., & Montoya-mejía, M. (2019). *Trypsin polymorphism and modulation in Penaeus vannamei (Boone , 1931): a review*. 47(5), 723–732. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue5-fulltext-1>
- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability. *Environmental Management*, 63(2), 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>
- Akiyama, D. M., Coelho, S. R., Lawrence, L., & Robinson, E. H. (1989). Apparent Digestibility of Feedstuffs by the Marine Shrimp *Penaeus vannamei* BOONE. In *Nippon Suisan Gakkaishi* (Vol. 55, Issue 1). https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/55/1/55_1_91/_pdf/-char/en
- Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Björnsson, B. T., & Albrektsen, S. (2006). Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.025>
- Amirkolaie, A. K., Verreth, J. A. J., & Schrama, J. W. (2006). Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). *Aquaculture*, 260(1–4), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.039>
- An, W., He, H., Dong, X., Tan, B., Yang, Q., Chi, S., Zhang, S., Liu, H., & Yang, Y. (2020). Regulation of growth, fatty acid profiles, hematological characteristics and hepatopancreatic histology by different dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels in the first stages of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 17, 100321. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100321>
- Arnold, S., Smullen, R., Briggs, M., West, M., & Glencross, B. (2016a). The combined effect of feed frequency and ration size of diets with and without microbial biomass on the growth and feed conversion of juvenile *Penaeus monodon*. *Aquaculture Nutrition*, 22(6), 1340–1347. <https://doi.org/10.1111/anu.12338>
- Azevedo, P., Cho, Y., Leeso, S., & Bureau, D. (1998). Effect of feeding level and water temperature on growth nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout. *Aquaculture Living Resource*, 11(4), 227–238.
- Bardera, G., Usman, N., Owen, M., Pountney, D., Sloman, K. A., & Alexander, M. E. (2018). The importance of behaviour in improving the production of shrimp in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1104–1132. <https://doi.org/10.1111/raq.12282>

- Bardera, Guillermo; Owen, Matthew A. G.; Pountney, Daniel ; Alexander, Mhairi E.; Sloman, K. A. (2019). The effect of short-term feed-deprivation and moult status on feeding behaviour of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Basto-silva, C., Serra, C. R., Castro, C., & Nóvoa, G. S. (2022). *Effects of Feeding Frequency and Dietary Protein / Carbohydrate Ratios on Gilthead Seabream (Sparus aurata) Intestinal Functionality and Health*. 2022.
- Berge, G. M., & Storebakken, T. (1996). Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture*. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01355-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01355-5)
- Booth, M. A., Allan, G. L., Evans, A. J., & Gleeson, V. P. (2002a). Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture Research*, 33(14), 1163–1173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00773.x>
- Bortone, B. E. (2018). Twin screw technology for better extruded feeds. *Global Aquaculture Advocate*, 7–13.
- Bortone, E. (2005). *SME-Controlled Extrusion Process Enhances Water Stability of Shrimp Feed*.
- Bortone, E. (2017). Performance of aquafeed ingredients in extrusion cooking. *Global Aquaculture Advocate*, 1–6.
- Boyd, B. C. E. (2021). *A low feed conversion ratio is the primary indicator of efficient aquaculture*. December, 1–5.
- Boyd, C. (2016). Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camaron. *I*, 1–30.
- Boyd, C. E. (2015). Overview of aquaculture feeds: Global impacts of ingredient use. In *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (pp. 3–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.00001-5>
- Boyd, C. E., & Engle, C. (2017). *Resource Use Assessment of Shrimp, Litopenaeus vannamei and Penaeus monodon, Production in Thailand and Vietnam*. 48(2), 201–226. <https://doi.org/10.1111/jwas.12394>
- Bray, W. A., Lawrence, A. L., & Leung-Trujillo, J. R. (1994). The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture*, 122(2–3), 133–146. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90505-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90505-3)
- Cahu, C. L., & Infante, J. L. Z. (1995). Maturation of the pancreatic and intestinal digestive functions in sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effect of weaning with different protein sources. *Fish Physiology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1007/BF00004343>
- Cámara Nacional De Acuicultura. (2023). *Camarón – Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales*. <http://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>. Recuperado 08 de Enero del 2023.
- Carr, W. E. (1988). The molecular nature of chemical stimuli in the aquatic environment. In *Sensory biology of aquatic animals* (pp. 3–27). New York, NY: Springer, New York.
- Carvalho, A. P., Sá, R., Oliva-Teles, A., & Bergot, P. (2004). Solubility and peptide profile affect the utilization of dietary protein by common carp (*Cyprinus carpio*) during early larval stages. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.007>

- Carvalho, E. A., & Nunes, A. J. P. (2006). Effects of feeding frequency on feed leaching loss and grow-out patterns of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed under a diurnal feeding regime in pond enclosures. *Aquaculture*, 252(2–4), 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.07.013>
- Casillas-Hernández, R., Nolasco-Soria, H., Lares-Villa, F., García-Galano, T., Carrillo-Farnes, O., & Vega-Villasante, F. (2006a). Ritmo circadiano de la actividad enzimática digestiva del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y su efecto en el horario de alimentación. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2(2), 55–64.
- Chamberlain, G. W. (2004a). Extruded shrimp feeds reemerge. *Global Aquaculture Advocate*, 8–12.
- Chan, S.-M., Rankin, S. M., & Keeley, L. L. (1988). Characterization of the Molt Stages in *Penaeus vannamei* : Setogenesis and Hemolymph Levels of Total Protein, Ecdysteroids, and Glucose. *The Biological Bulletin*, 175(2), 185–192. <https://doi.org/10.2307/1541558>
- Chatvijitkul, S., Boyd, C. E., Davis, D. A., & McNevin, A. A. (2017). Embodied Resources in Fish and Shrimp Feeds. In *Journal of the World Aquaculture Society* (Vol. 48, Issue 1, pp. 7–19). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/jwas.12360>
- Chen, S., Shi, C., Migaud, H., Song, C., & Mu, C. (2022). Light Spectrum Impacts on Growth , Molting , and Oxidative Stress Response of the Mud Crab *Scylla paramamosain*. *Frontiers in Marine Science*, 9(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.840353>
- Córdova-Murueta, J. H., & García-Carreño, F. L. (2002). Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. *Aquaculture*, 210 (1–4), 371–384. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00011-X)
- Coutteau, P., Camara , M. R., & Sorgeloos, P. (1996). Aquaculture The effect of different levels and sources of dietary phosphatidylcholine on the growth, survival, stress resistance, and fatty acid composition of postlarval *Penaeus vannamei*. In *Aquaculture* (Vol. 147).
- Abramo, D. (1989, February). Lipid requirements of shrimp. In *Advances in Tropical Aquaculture, Workshop at Tahiti, French Polynesia, 20 Feb-4 Mar 1989*. Dall, W. (1986). Estimation of routine metabolic rate in a penaeid prawn, *Penaeus esculentus* Haswell. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 96(1), 57–74. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90013-4](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90013-4)
- Dall, W., Hill, B. J., Rothlisberg, P. C., & Sharples, D. J. (1990). *MARINE BIOLOGY The Biology of the Penaeidae* by (Vol. 27).
- Daniel, D. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2), 164–179.
- Darodes de Tailly, J. B., Keitel, J., Owen, M. A. G., Alcaraz-Calero, J. M., Alexander, M. E., & Sloman, K. A. (2021). Monitoring methods of feeding behaviour to answer key questions in penaeid shrimp feeding. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 1828–1843. <https://doi.org/10.1111/raq.12546>
- Delgado, E., Reyes-jaquez, D., Delgado, E., & Reyes-jaquez, D. (2018). Extruded Aquaculture Feed : A Review. In *Extrusion of metals, polymers and food products. Qamar SZ (Ed), IntechOpen, Oman*. (pp. 145–163). <https://doi.org/10.5772/intechopen.69021>
- deMan, J. M., Finley, J. W., & Hurst, W. J. (2018). Principles of Food Chemistry. In *Biochemical Education* (Vol. 6, Issue 4). [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(78\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0307-4412(78)90049-3)

- Dinesh Kumar, S., Santhanam, P., Ananth, S., Kaviyarasan, M., Nithya, P., Dhanalakshmi, B., Park, M. S., & Kim, M. K. (2017). Evaluation of suitability of wastewater-grown microalgae (*Picochlorum maculatum*) and copepod (*Oithona rigida*) as live feed for white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* post-larvae. *Aquaculture International*, 25(1), 393–411. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0037-6>
- Espe, M., Lied, E., & Torrissen, K. R. (1993a). Changes in plasma and muscle free amino acids in atlantic salmon (*Salmo salar*) during absorption of diets containing different amounts of hydrolysed cod muscle protein. *Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology*. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(93\)90434-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(93)90434-6)
- Espinosa-Chaurand, D., Vega-villasante, F., Carrillo-farnés, O., & Nolasco-soria, H. (2017). Effect of circadian rhythm, photoperiod, and molt cycle on digestive enzymatic activity of *Macrobrachium tenellum* juveniles. *Aquaculture*, 479(February), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.029>
- Eusebio, P. S. (1991). Effect of dehulling on the nutritive value of some leguminous seeds as protein sources for tiger prawn, *Penaeus monodon*, juveniles. *Aquaculture*, 99(3-4), 297-308.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards blue transformation*. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FEDEXPOR. (2022). *Reporte estadístico de comercio exterior* (p. 17).
- Forster, I., Babbitt, J., & Smiley, S. (2004). Nutritional quality of fish meals made from by-products of the alaska fishing industry in diets for pacific white shrimp (*litopenaeus vannamei*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 13(2), 115–123. https://doi.org/10.1300/J030v13n02_10
- Forster, I. P., Bechtel, P., Dominy, W. G., Lane, S., Avena, R., Ju, Z. Y., & Conquest, L. (2011). Use of fish hydrolysates and fish meal byproducts of the Alaskan fishing industry in diets for pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *North American Journal of Aquaculture*, 73(3), 288–295. <https://doi.org/10.1080/15222055.2011.598371>
- Galicia-González, A. (2009). Uso de cártamo (*Carthamus Tinctorius L.*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. *Tesis Doctoral*.
- Gao, S., Jin, J., Liu, H., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., & Xie, S. (2019a). Effects of pelleted and extruded feed of different ingredients particle sizes on feed quality and growth performance of gibel carp (*Carassius gibelio* var. CAS V). *Aquaculture*, 511(June), 734236. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734236>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2020). A Global Blue Revolution: Aquaculture Growth Across Regions, Species, and Countries. In *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* (Vol. 28, Issue 1, pp. 107–116). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Ceballos-Concha, A., Love, D. C., Osmundsen, T. C., & Pincinato, R. B. M. (2022). Aquaculture: The missing contributor in the food security agenda. *Global Food Security*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100620>
- Gilannejad, N., Rønnestad, I., Lai, F., Olderbakk-Jordal, A. E., Gottlieb Almeida, A. P., Martínez-Rodríguez, G., Moyano, F. J., & Yúfera, M. (2021). Daily rhythms of intestinal cholecystokinin and

pancreatic proteases activity in Senegalese sole juveniles with diurnal and nocturnal feeding. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 253(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110868>

Glencross, B., Hawkins, W., Evans, D., Rutherford, N., McCafferty, P., Dods, K., & Hauler, R. (2011a). A comparison of the effect of diet extrusion or screw-press pelleting on the digestibility of grain protein products when fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 312(1–4), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.025>

Glencross, B., & Turchini, G. (2011). *Fish Oil Replacement in Starter, Grow-Out and Finishing Feeds for Farmed Aquatic Animals*. <http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30031366>.

Gong, H., Lawrence, A. L., Jiang, D.-H., Castille, F. L., & Gatlin Iii, D. M. (2000). Lipid nutrition of juvenile *Litopenaeus vannamei* I. Dietary cholesterol and de-oiled soy lecithin requirements and their interaction. In *Aquaculture* (Vol. 190). www.elsevier.nl/locate/aqua-online

Gucic, M. (2008). *Digestibilidad in vivo de alimentos comerciales y experimentales para camarón blanco (Litopenaeus vannamei) cultivado a diferentes salinidades*. Tesis Doctoral.

Hamilton, S., Jos, P., Soares, R., & Peixoto, S. (2023a). The loud crowd : Interactions between stocking density and acoustic feeding activity of different size classes of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 563(October 2022), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738904>

Hardy, R. W., & Barrows, F. T. (2002a). Fish Nutrition. In *Fish Nutrition*. <https://doi.org/10.1201/9781351058070-16>

Haws, M., & Boyd, C. (2001). *Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*. p 296.

Heales, D. S., Vance, D. J., & Loneragan, N. R. (1996). *Field observations of moult cycle, feeding behaviour, and diet of small juvenile tiger prawns Penaeus semisulcatus in the Embley River, Australia* (Vol. 145).

Hernandez-Cortes, P., Quadros-Seiffert, W., del Toro, M. A. N., Portillo, G., Colado, G., & Garcia-Carreño, F. L. (1999). Rate of Ingestion and Proteolytic Activity in Digestive System of Juvenile White Shrimp, *Penaeus vannamei*, During Continual Feeding. *Journal of Applied Aquaculture*, 9(1), 35–45. https://doi.org/10.1300/J028v09n01_03

Hertrampf, J., & Piedad-Pascual, F. (2000a). *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic Publishers.

Hindley, J. P. R. (1975a). Effects of endogenous and some exogenous factors on the activity of the juvenile banana prawn *Penaeus merguensis*. *Marine Biology*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/BF00395521>

Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G., & Wu, G. (2017). Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0153-9>

Hoyos, J. L., Villada, H. S., Fernández, A., & Ortega-Toro, R. (2017). Parámetros de Calidad y Metodologías para Determinar las Propiedades Físicas de Alimentos Extruidos para Peces. *Información Tecnológica*, 28(5), 101–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000500012>

- Hu, B. (2022). *Effects of Pelleted and Extruded Diets of Different Protein Levels on Growth , Digestive Enzyme Activity , Antioxidant Capacity , Non-specific Immunity , and Ammonia-N Stress Tolerance of Postlarval Pacific White Shrimp*. 239–248. <https://doi.org/10.1002/naaq.10234>
- Jannathulla, R., Chitra, V., Vasanthakumar, D., Nagavel, A., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J. S. (2019). Effect of dietary lipid/essential fatty acid level on Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) reared at three different water salinities – Emphasis on growth, hemolymph indices and body composition. *Aquaculture*, 513. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734405>
- Jescovitch, L. N., Ullman, C., Rhodes, M., & Davis, D. A. (2018). Effects of different feed management treatments on water quality for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 49(1), 526–531. <https://doi.org/10.1111/are.13483>
- Jiang, S., Zhou, F., Yang, Q., & Huang, J. (2021). Effect of feeding frequency on the growth performance of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) "Nanhai NO. 2" in cement ponds culture. *The Israeli Journal of Aquaculture*, 3(2).
- Kamarudin, M. S., de Cruz, C. R., Saad, C. R., Romano, N., & Ramezani-Fard, E. (2018a). Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 236(July 2017), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.007>
- Kanazawa, A., Teshima, S., & Sasaki, M. (1984). Requirements of Juvenile prawn for calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, manganese, and iron. *Mem. Fac Fish*, 33(1), 63–71.
- Kanmani, N., Romano, N., Ebrahimi, M., Nurul Amin, S. M., Kamarudin, M. S., Karami, A., & Kumar, V. (2018). Improvement of feed pellet characteristics by dietary pre-gelatinized starch and their subsequent effects on growth and physiology in tilapia. *Food Chemistry*, 239, 1037–1046. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.061>
- Kavalek M, Plachy, V. (2019a). *Feed Extrusion: A way to increase efficiency*. <https://www.allaboutfeed.net/animal-feed/feed-processing/feed-extrusion-a-way-to-increase-efficiency/> Recuperado septiembre 19, 2022.
- Kawamura, G., Uy Bagarinao, T., Syallinaz Seniman, N., Seok-Kian Yong, A., & Lim, L.-S. (2018a). Comparative morphology and function of feeding appendages in food intake behaviour of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, and the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture*, December, 26–39.
- Kearns, J. P. (n.d.). *Technological Advances in the Manufacture of Feeds for Marine Farmed Shrimp: Pelleted versus Extruded Rations*.
- Kotzamanis, Y. P., Gisbert, E., Gatesoupe, F. J., Zambonino Infante, J., & Cahu, C. (2007). Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 147(1), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.12.037>

- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish Protein Hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 40, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Lee, C., & Lee, K. J. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences*, *21*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0105-0>
- Lemos, D., Ezquerro, J. M., & Garcia-Carreño, F. L. (2000). Protein digestion in penaeid shrimp: Digestive proteinases, proteinase inhibitors and feed digestibility. *Aquaculture*, *186*(1–2), 89–105. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00371-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00371-3)
- Lemos, D., & Weissman, D. (2021). Moulting in the grow-out of farmed shrimp: a review. *Reviews in Aquaculture*, *13*(1), 5–17. <https://doi.org/10.1111/raq.12461>
- Li, D., Xu, L., & Liu, H. (2017). Detection of uneaten fish food pellets in underwater images for aquaculture. *Aquacultural Engineering*, *78*, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.001>
- Lin, Y. C., & Chen, J. C. (2003). Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, *224*(1–4), 193–201. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00220-5)
- Liu, T., Zhang, G., Feng, Y., Kong, C., & Larbi, C. (2019a). Fish and Shellfish Immunology Dietary soybean antigen impairs growth and health through stress-induced non-specific immune responses in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, *84*(September 2018), 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.062>
- Maciel, J. C., Francisco, C. J., & Miranda-Filho, K. C. (2018). Compensatory growth and feed restriction in marine shrimp production, with emphasis on biofloc technology. *Aquaculture International*, *26*(1), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0209-z>
- Martínez-Córdova, L. R., & Peña-Messina, E. (2005). Biotic communities and feeding habits of *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) and *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson 1974) in monoculture and polyculture semi-intensive ponds. *Aquaculture Research*, *36*(11), 1075–1084. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01323.x>
- Méndez, J. P., Hinojosa, C. U. R., Gutiérrez, A. D. R., Marzo, M. a M., González, C. a, & Prieto, F. (2009). Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos Degradation of Barley Starch (*Hordeum sativum* Jess). Correlation Between the Gelatinisation and the Size of Grains. *Multiciencias*, *9*(5), 115–125.
- Merican, Z. (2020a). Aquafeeds in 2019 : Pulled by market demand. *AQUA Culture Asia Pacific Magazine*, *16*(3), 1–7.
- Misra, C. K., Sahu, N. P., & Jain, K. K. (2002a). Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, water absorption and physical response of *Macrobrachium rosenbergii*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *15*(9), 1354–1358. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.1354>
- Molina, C., Cadena, E., & Orellana, F. (2000a). Alimentación de camarones en relación a la actividad enzimática como una respuesta natural al ritmo circadiano y ciclo de muda . *Cenaim*, 358–380.

- Molina-Poveda, C. (2016a). Nutrient requirements. In *Aquafeed Formulation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800873-7.00004-X>
- Molina-Poveda, Cesar, & Espinoza-Ortega, M. (2018). Rising use of automatic feeders in shrimp ponds poses new feed requirements. *Global Aquaculture Advocate*.
- Molina-Poveda, Cesar; Espinoza-Ortega, M. (2019). La extrusión mejora las características nutricionales del alimento y contribuye a la preservación del medio acuícola. *Aquacultura CNA*.
- Napaumpaiporn, T., Chuchird, N., & Taparhudee, W. (2013). Study on the Efficiency of Three Different Feeding Techniques in the Culture of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Kasetsart University Fisheries Research Bulletin*, 37(2), 8–16.
- National Research Council. (2011). *Nutrient Requirements of fish and shrimp*. National Academy Press.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Forster, I., Gatlin, D. M., Goldberg, R. J., & Hua, K. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103–15110.
- Nguyen, H. T. M., Pérez-Gálvez, R., & Bergé, J. P. (2012). Effect of diets containing tuna head hydrolysates on the survival and growth of shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 324–325, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.014>
- Nunes, A. J. P., Goddard, S., & Gesteira, T. C. V. (1996a). Feeding activity patterns of the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. *Aquaculture*, 144(4), 371–386. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(96\)01297-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)01297-5)
- Nunes, A. J. P., Sá, M. V. C., Andriola-Neto, F. F., & Lemos, D. (2006). Behavioral response to selected feed attractants and stimulants in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 260(1–4), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.027>
- Nunes, A. J. P., Sabry-Neto, H., da Silva, F. H. P., de Oliveira-Neto, A. R., & Masagounder, K. (2019). Multiple feedings enhance the growth performance and feed efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei* when fed a low-fish meal amino acid-supplemented diet. *Aquaculture International*, 27(2), 337–347. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0330-7>
- Nunes, A., Sá, M., Carvalho, E., & Sabry Neto, H. (2006). Growth performance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared under time- and rate-restriction feeding regimes in a controlled culture system. *Aquaculture*, 253(1–4), 646–652. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.09.023>
- Nunes Antunes, C. R., Da Silva, C., Clovis, P., & Dos Santos, J. (2018). *Evaluation of feeding rates in the production of Litopenaeus vannamei shrimp using artificial substrates*.
- Peixoto, S., Soares, R., & Allen Davis, D. (2020). An acoustic based approach to evaluate the effect of different diet lengths on feeding behavior of *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 91(July), 102114. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102114>
- Peixoto, S., Soares, R., Silva, J. F., Hamilton, S., Morey, A., & Davis, D. A. (2020a). Acoustic activity of *Litopenaeus vannamei* fed pelleted and extruded diets. *Aquaculture*, 525(April). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735307>

- Peixoto, S., Strebel, L., Soares, R., & Davis, D. A. (2022). Acoustic feeding responses using marine chemoattractants in plant-based diets for naive and non-naive *Litopenaeus vannamei*. *Applied Animal Behaviour Science*, 257(November), 105792. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105792>
- Plattner, B. (2007). Raw Materials and Their Impact on the Extrusion of Aqua Feeds Presented by : Fundamentals of Extrusion Processing Raw materials and their. *Aquafeed Horizons Victam 2007, May*, 1–25.
- Pokniak, J., Cornejo, S., Galleguillos, C., Larrain, C., & Battaglia, J. (1999). Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorda sobre la respuesta productiva de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 31(1), 141–150. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X1999000100017>
- Ponce-Palafox, J., Martinez-Palacios, C. A., & Ross, L. G. (1997). The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1–2), 107–115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00148-8)
- Pontes, C. (2015). Feeding frequency and growth performance of juvenile pink shrimp. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 67, 1415–1420.
- Pontes, C. S., & Arruda, M. D. F. (2005a). Comportamento de *Litopenaeus vannamei* (Boone) (Crustacea , Decapoda , Penaeidae) em função da oferta do alimento artificial nas fases clara e escura do período de 24 horas artificial fases clara escura horas. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3), 648–652.
- Pontes, C. S., Arruda, M. D. F., De Lara Menezes, A. A., & De Lima, P. P. (2006a). Daily activity pattern of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) juveniles under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 37(10), 1001–1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01519.x>
- Pontes, C. S., Arruda, M. D. F., & Pereira de Lima, P. (2006). Daily activity pattern of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) juveniles under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 37(10), 1001–1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01519.x>
- Pontes, C. S., Lima, P. P. De, & Fa, M. De. (2008). Feeding responses of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed at different frequencies under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 1416–1422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02011.x>
- Porchas-Cornejo, M. A., Martinez-Porchas, M., Rafael Martinez-Cordova, L., & Ramos, L. (2012). Consumption of Natural and Artificial Foods by Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Reared in Ponds with and without Enhancement of Natural Productivity. *The Israeli Journal of Aquaculture*. <https://www.researchgate.net/publication/237153343>
- Reis, J., Novriadi, R., Swanepoel, A., Guo, J., Rhodes, M., & Davis, D. A. (2019). Optimizing feed automation: improving timer-feeders and on demand systems in semi-intensive pond culture of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 734759. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734759>
- Reis, J., Peixoto, S., Soares, R., Rhodes, M., Ching, C., & Davis, D. A. (2021). Passive acoustic monitoring as a tool to assess feed response and growth of shrimp in ponds and research systems. *Aquaculture*, 546 (August 2021), 737326. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737326>

- Reymond, H., & Lagardère, J. P. (1990a). Feeding Rhythms and Food of *Penaeus japonicus* Bate (Crustacea, Penaeidae) in Salt Marsh Ponds: Role of Halophilic Entomofauna. *Aquaculture*, *84* (1990) 125-143, *84*, 125–143.
- Robertson L., Lawrence A.L., & C. E. L. (1993). Effect of Feeding Frequency and feeding time on growth of *Penaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture and Fisheries Management*, *24*.
- Robertson L., Lawrence A.L., & C. E. L. . (1993). Effect of feeding frequency and feeding time on growth of *Penaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, *24*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1993.tb00823.x>
- Rokey, G. J. (2004). Modern extrusion systems for shrimp feed production. *Aqua Feeds*, 21–24.
- Rokey, G. J., Plattner, B., & Souza, E. M. De. (2010). *Revista Brasileira de Zootecnia Feed extrusion process description Descrição do processo de extrusão do alimento*. 2010, 510–518.
- Romano, N., & Kumar, V. (2018). Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals. *Reviews in Aquaculture, Wilson 1994*, 1–14. <https://doi.org/10.1111/raq.12291>
- Rout, R. K., & Bandyopadhyay, S. (1999). A comparative study of shrimp feed pellets processed through cooking extruder and meat mincer. *Aquacultural Engineering*, *19*(2), 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00034-X)
- Ruvalcaba-Márquez, J. C., Álvarez-Ruiz, P., Zenteno-Savín, T., Martínez-Antonio, E., Goytortúa-Bores, E., Casillas-Hernández, R., Mejía-Ruiz, H., & Magallón-Barajas, F. J. (2021). Performance, immune response, and oxidative stress parameters of *Litopenaeus vannamei* fed diets containing varying carbohydrate/protein, lipid/protein, and energy/protein ratios. *Aquaculture Reports*, *21*. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100771>
- Sarac, Z., Thaggard, H., Saunders, J., Gravel, M., Neill, A., & Cowan, R. T. (1993). Observations on the chemical composition of some commercial prawn feeds and associated growth responses in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, *115*(1–2), 97–110. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90361-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90361-2)
- Schwamborn, R., & Criales, M. M. (2000). *Feeding strategy and daily ration of juvenile pink shrimp (Farfantepenaeus duorarum) in a South Florida seagrass bed*. 139–147.
- Sedgwick, R. W. (1979). Effect of ration size and feeding frequency on the growth and food conversion of juvenile. *Aquaculture*, *16*, 279–298.
- Sick, L. V., White, D., & Baptist, G. (1973). The effect of duration of feeding, amount of food, light intensity, and animal size on rate of ingestion of pelleted food by juvenile penaeid shrimp. *Progressive Fish-Culturist*, *35*(1), 22–26. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1973\)35\[22:TEODOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1973)35[22:TEODOF]2.0.CO;2)
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, *42*(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singh, S. K. (2016). *Open PRAIRIE: Open Public Research Access Institutional Repository and Information Exchange Understanding the Effect of Extrusion Processing Parameters on Physical*

, *Nutritional and Rheological Properties of Soy White Flakes Based Aquafeed in a Single Screw Extruder*. 2016.

- Smith, D. (2002). The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*, 207(1–2), 125–136. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00757-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00757-8)
- Soares, R., Peixoto, S., Davis, R. P., & Davis, D. A. (2021a). Feeding behavior and growth of *Litopenaeus vannamei* fed soybean-based diets with added feeding effectors. *Aquaculture*, 536 (February). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736487>
- Soares, R., Peixoto, S., Davis, R. P., & Davis, D. A. (2021c). Feeding behavior and growth of *Litopenaeus vannamei* fed soybean-based diets with added feeding effectors. *Aquaculture*, 536(January). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736487>
- Soares, R., Peixoto, S., Galkanda-Arachchige, H. S. C., & Davis, D. A. (2021). Growth performance and acoustic feeding behavior of two size classes of *Litopenaeus vannamei* fed pelleted and extruded diets. *Aquaculture International*, 29(1), 399–415. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00636-8>
- Sørensen, M. (2007). Ingredient formulation and extrusion processing parameters interferes with nutritional and physical quality of aqua feeds. *Feed Technology Update*, 2(6).
- Steinberg, C. E. W. (2018). *Aquatic Animal Nutrition A mechanistic perspective from individuals to generations*.
- Stern, S., & Sonnenholzner, S. (2010). *The Shrimp Book* (V. Alday-Sanz, Ed.). Nottingham University Press.
- Tacon, A. G. J. (2017a). Biosecure Shrimp Feeds and Feeding Practices: Guidelines for Future Development. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(3), 381–392. <https://doi.org/10.1111/jwas.12406>
- Tacon, A. G. J., Cody, J. J., Conquest, L. D., Divakaran, S., Forster, I. P., & Decamp, O. E. (2002a). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, 8(2), 121–137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x>
- Tacon, A. G. J., Dominy, W. G., & Forster, I. P. (2003a). Trial finds extruded feeds superior to steamed pellets. *Global Aquaculture Advocate*, 6(February), 44–45.
- Tacon, A. G., Jory, D., & Nunes, A. (2013). Shrimp feed management: issues and perspectives. *On-Farm Feeding and Feed Management in Aquaculture*, 481–488.
- Tan, B., Mai, K., Zheng, S., Zhou, Q., Liu, L., & Yu, Y. (2005). Replacement of fish meal by meat and bone meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, 36(5), 439–444. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01223.x>
- Thomas, M., & Poe, A. F. B. Van Der. (1996). *Physical quality of pelleted animal feed 1 . Criteria for pellet quality*. 8401(96).
- Ullman, C., Rhodes, M. A., & Davis, D. A. (2019a). The effects of feed leaching on the growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in a green - water tank system. *Aquaculture Research*, June, 1–4. <https://doi.org/10.1111/are.14237>

- Ullman, C., Rhodes, M., Hanson, T., Cline, D., & Davis, D. A. (2019b). Effects of Four Different Feeding Techniques on the Pond Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, *50*(1), 54–64. <https://doi.org/10.1111/jwas.12531>
- Van der Poel, A. (Thomas)F B., Stolp, W., & Van Zuilichem, D. J. (1992). Twin-screw extrusion of two pea varieties: Effects of temperature and moisture level on antinutritional factors and protein dispersibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *58*(1), 83–87. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740580114>
- Velasco, M., Lawrence, A. L., & Castille, F. L. (1999). Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture*, *179*(1–4), 141–148. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00158-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00158-1)
- Velasco, M., Lawrence, A. L., Castille, F. L., & Obaldo, Leonard. (2000). Dietary protein requirement for *Litopenaeus vannamei*. In *Memorias del Quinto Simposio Internacional de Nutrición Acuícola* (pp. 181–191).
- Venero, J. A., Davis, D. A., & Rouse, D. B. (2007). Variable feed allowance with constant protein input for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared under semi-intensive conditions in tanks and ponds. *Aquaculture*, *269*(1–4), 490–503. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.055>
- Venou, B., Alexis, M. N., Fountoulaki, E., & Haralabous, J. (2009). Performance factors, body composition and digestion characteristics of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed pelleted or extruded diets. *Aquaculture Nutrition*, *15*(4), 390–401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00603.x>
- Vidal, N. P., Roman, L., Swaraj, V. J. S., Ragavan, K. V., Simsek, S., Rahimi, J., Kroetsch, B., & Martinez, M. M. (2022a). Enhancing the nutritional value of cold-pressed oilseed cakes through extrusion cooking. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *77*(February), 102956. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102956>
- Wajsbrodt, N., Krom, M. D., Samocho, T. M., & Gasith, A. (1990). Effect of dissolved oxygen and the molt stage on the acute toxicity of ammonia to juvenile green tiger prawn *Penaeus semisulcatus*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *9*(4), 497–504. <https://doi.org/10.1002/etc.5620090413>
- Weldon, A., Davis, D. A., Rhodes, M., Reis, J., Stites, W., & Ito, P. (2021). Feed management of *Litopenaeus vannamei* in a high density biofloc system. *Aquaculture*, *544*(April), 737074. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737074>
- Welker, T. L., Overturf, K., Snyder, S., Liu, K., Abernathy, J., Frost, J., & Barrows, F. T. (2018a). Effects of feed processing method (extrusion and expansion-compression pelleting) on water quality and growth of rainbow trout in a commercial setting. *Journal of Applied Aquaculture*, *30*(2), 97–124. <https://doi.org/10.1080/10454438.2018.1433095>
- Woumbo, C. Y., Kuate, D., Klang, M. J., & Womeni, H. M. (2021a). Valorization of Glycine max (Soybean) Seed Waste: Optimization of the Microwave-Assisted Extraction (MAE) and Characterization of Polyphenols from Soybean Meal Using Response Surface Methodology (RSM). *Journal of Chemistry*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4869909>

- Xie, S., Wei, D., Fang, W., Wan, M., Guo, T., Liu, Y., Yin, P., Tian, L., & Niu, J. (2019). Optimal dietary lipid requirement of postlarval white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in relation to growth performance, stress tolerance and immune response. *Aquaculture Nutrition*, 25(6), 1231–1240. <https://doi.org/10.1111/anu.12937>
- Xu, H., Li, X., Sun, W., Chen, J., Gao, Q., Shuai, K., & Leng, X. (2017). Effects of different feeding rates of extruded and pelleted feeds on growth and nutrient retention in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture International*, 25(3), 1361–1372. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0119-0>
- Yan, M., Wang, W., Huang, X., Wang, X., & Wang, Y. (2020). Interactive effects of dietary cholesterol and phospholipids on the growth performance, expression of immune-related genes and resistance against *Vibrio alginolyticus* in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Fish and Shellfish Immunology*, 97, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.11.048>
- Zambonino Infante, J. L., Cahu, C. L., & Peres, A. (1997). Partial Substitution of Di- and Tripeptides for Native Proteins in Sea Bass Diet Improves *Dicentrarchus labrax* Larval Development. *The Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1093/jn/127.4.608>
- Zhang, P., Zhang, X., Li, J., & Gao, T. (2009). Effect of salinity on survival, growth, oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 40(12), 1419–1427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02240.x>
- Zhu, M., Long, X., & Wu, S. (2018). Effects of dietary trehalose on the growth performance and nonspecific immunity of white shrimps (*Litopenaeus vannamei*). *Fish and Shellfish Immunology*. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.04.035>