



Dietas con ensilado biológico de harina de maíz mejoran el desempeño productivo del camarón de río *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae)

Diets with biological silage of cornmeal improve the productive performance of river shrimp *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae)

 Juan Gallardo-Carril ¹ ; W.E. Reyes-Avalos ^{2,*}
¹ Escuela de Biología en Acuicultura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional del Santa, Peru.

² Laboratorio de Acuicultura Ornamental. Departamento de Biología, Microbiología y Biotecnología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional del Santa Perú. Avenida Universitaria s/n Urbanización Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Peru.

Received February 29, 2020. Accepted May 15, 2020.

Resumen

El objetivo fue evaluar dietas con ensilado biológico de harina de maíz en el mejoramiento del desempeño productivo del camarón de río *Cryphiops caementarius*. Los camarones fueron cultivados en 12 acuarios (55 L). Los camarones fueron sembrados al azar (32 camarones m⁻²) y alimentados con dietas conteniendo 4,2%; 8,4% y 12,5% de ensilado de harina de maíz, y el control fue sin ensilado. El experimento duró 60 días. La calidad física, organoléptica y química del ensilado y de las dietas fueron analizadas al inicio. El ensilado tuvo 8,57% de proteínas; 16,49% de lípidos totales; 71,24% de carbohidratos y el pH fue de 4,40. El incremento del nivel de ensilado de maíz en las dietas ocasionó incremento de carbohidratos (31,82% a 47,10%), disminución de lípidos totales (22,83% a 14,99%), y las proteínas se mantuvieron con mínima variación (28% a 30%). La supervivencia de los camarones fue similar ($p > 0,05$) entre tratamientos (> 88%). La dieta con 12,5% de ensilado de maíz ocasionó mayores tasas de crecimiento en peso del camarón ($p < 0,05$) que aquellos alimentados con dieta sin ensilado; aunque fue similar ($p > 0,05$) con los alimentados con 8,4% y 4,2% de ensilado.

Palabras clave: Camarón de río; crecimiento; ensilado; maíz; *Cryphiops*.

Abstract

The aim was to evaluate diets with biological cornmeal silage in order to improve the productive performance of *Cryphiops caementarius* river shrimp. Shrimp were grown in 12 aquariums (55 L). Shrimp were randomly stocked (32 m⁻²) and fed diets containing 4.2%, 8.4% and 12.5% cornmeal silage and a control diet without silage. Experiment lasted 60 days. Physical, organoleptic and chemical quality of silage and the diets were analyzed at beginning. Silage had 8.57% protein; 16.49% total lipids; 1.45% fiber; 2.25% ash; 71.24% carbohydrates, and the pH was 4.40. Increase in level of corn silage (0% to 12.5%) in diets caused an increase in carbohydrates (38% to 47%) and a decrease in lipids (11% to 14%). Shrimp survival was similar ($p > 0.05$) between treatments (> 88%). Diet with 12.5% corn silage caused higher growth rates shrimp weight ($p < 0.05$) than those fed a diet without silage; although it was similar ($p > 0.05$) with those fed with 8.4% and 4.2% silage.

Keywords: Freshwater prawn; growth; silage; corn; *Cryphiops*.

1. Introducción

El camarón *Cryphiops caementarius* es la especie que se distribuye solo en los ríos costeros de Perú y Chile (Moscoso, 2012). En Chile, esta especie es considerada como

vulnerable e incluso en peligro de extinción en la región Metropolitana (Bahamonde *et al.*, 1998). En Perú, la especie soporta explotación comercial, dada su abundancia poblacional principalmente en los ríos de Arequipa, desde donde se extrajo alrededor de

Cite this article:

Gallardo-Carril, J.; Reyes-Avalos, W.E. 2020 Dietas con ensilado biológico de harina de maíz mejoran el desempeño productivo del camarón de río *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). Scientia Agropecuaria 11(3): 409-417.

* Corresponding author
E-mail: wreyes@uns.edu.pe (W.E. Reyes-Avalos).

mil toneladas, para abastecer principalmente al mercado de Lima (Wasiw y Yépez, 2015; Produce, 2018). En ambos países es considerada como una especie de preocupación (De Grave *et al.*, 2013) y por ello hay interés por el cultivo comercial, habiéndose realizado investigaciones en producción de postlarvas (Meruane *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2013), en cultivo de adultos en sistemas individuales (Reyes, 2016) y en sistema de biofloc (Ulloa *et al.*, 2019), así como en aspectos ecológicos (Escobar *et al.*, 2017; Reyes *et al.*, 2020) y nutricionales (Acosta *et al.*, 2018; Terrones y Reyes, 2018; Ramírez *et al.*, 2018), entre otros.

El camarón *C. caementarius*, es omnívoro no selectivo, que se alimenta de restos de vegetales, microalgas (Clorofitas, Cianofitas y Diatomeas), restos de moluscos, larvas de insectos (Efemerópteros, Dípteros, Quironómidos), copépodos y otros crustáceos (Bahamonde y Vila, 1971). Los camarones adultos aceptan alimento balanceado cuyos insumos son harina de pescado y harinas de soya, de trigo, de maíz, entre otros (Reyes, 2016; Acosta *et al.*, 2018).

En el cultivo de camarones, el alimento constituye entre 40% y 60% del costo operativo de la producción (Sarman *et al.*, 2018), donde la harina de pescado es la principal fuente de proteínas, pero encarece el costo de producción. Los carbohidratos son la fuente de energía primaria en las dietas de animales y es la menos costosa en las dietas de animales acuáticos (Wang *et al.*, 2016). Los crustáceos de agua dulce como *Macrobrachium rosenbergii* y *M. nipponense*, son capaces de digerir los carbohidratos complejos (Wang *et al.*, 2016) como el almidón de maíz crudo y pregelatinizado (Kong *et al.*, 2019). El maíz amarillo (*Zea mays*), contiene hasta 73% de almidón y las proteínas oscilan entre 7% y 11% que se encuentra en el endospermo (Gwartz y García-Casal, 2014).

En *C. caementarius* se ha formulado una dieta para engorde (Reyes, 2016), donde el uso del 15% de ensilado biológico de residuos blandos de molusco en reemplazo de la harina de pescado, no afecta el crecimiento (Terrones y Reyes, 2018). El ensilado biológico mejora la digestibilidad, el contenido nutricional y la palatabilidad de las dietas (Coelho-Emerenciano y Massamitu-Furuya, 2006), dado a las bacterias lácticas como *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, entre otras (Muck *et al.*, 2018), que al producir sustancias antimicrobianas reducen las bacterias patógenas (Hoseinifar *et al.*, 2018). Estas bacterias lácticas contribuyen con el proceso digestivo, la asimilación y con el crecimiento, como en postlarvas de *M. inca* (Dávila *et al.*, 2013).

El ensilado biológico de harina de maíz (24%) en la dieta de *M. rosenbergii* reemplaza a la harina de maíz, sin afectar el crecimiento en peso (Coelho-Emerenciano y Massamitu-Furuya, 2006). En *C. caementarius*, no se conoce si este tipo de ensilado mejora el crecimiento. Por consiguiente, el objetivo fue evaluar dietas con ensilado biológico de harina de maíz en el mejoramiento del desempeño productivo del camarón de río *C. caementarius*.

2. Materiales y métodos

Los camarones se capturaron del río Pativilca cerca del Centro Poblado Huayto (10°39'50" S, 77°39'22" O) (Lima, Perú) y se transportaron en un sistema individual donde cada camarón se introdujo en un vaso de plástico de 200 mL (los vasos se agujeraron para el flujo de agua) los que se acondicionaron en cajas de plástico (45 L) con agua del mismo río y con aireación (Reyes, 2016). La densidad de transporte fue de 60 camarones por caja. El transporte terrestre duró 4 h y no hubo mortalidad. Los camarones se aclimataron, en laboratorio, por 10 días en el mismo sistema de transporte y se alimentaron con la dieta basal (28% proteína cruda). Los cambios de agua (30%) y la extracción de restos de alimento y de desechos sólidos de excreción se realizaron cada tres días con sifón.

La especie *C. caementarius* se reconoció según Méndez (1981) y el sexo de los machos se verificaron por la presencia de gonóporos en los coxopoditos del quinto par de periópodos, además se diferenciaron por el tamaño de las quelas y la amplitud del abdomen (Reyes *et al.*, 2018).

El sistema de cultivo individual fue el empleado por Reyes (2016), el cual consistió de 12 acuarios de vidrio (0,60 m de largo; 0,31 m de ancho; 0,35 m de alto; de 0,186 m² y 55 L). En cada acuario el sistema de recirculación de agua fue del tipo air-water-lift (1,5 L min⁻¹) con filtro biológico percolador (2,5 L) con capas de esponja sintética, grava y conchuelas trituradas, además de difusores para circulación y aireación del agua. Dentro de cada acuario, se instalaron seis recipientes de plástico (19 cm de diámetro; 8 cm de altura y de 284 cm²) que se dispusieron en dos grupos de tres niveles. Los recipientes tuvieron orificios en los laterales para circulación de agua y en un extremo se instaló un tubo vertical (PVC de ½" Ø) por donde se introdujo los gránulos de alimento. En cada recipiente de cultivo se sembró un camarón que equivalió a seis camarones por acuario (32 camarones m⁻²) y por ello, fueron empleados 72 camarones machos

(4,90 cm a 5,03 cm de longitud total) que mostraron apéndices cefalotorácicos completos.

El ensilado se elaboró con el grano seco de maíz (*Z. mays*) el cual se molió, tamizó (120 μ m) y fue mezclado con 10% de melaza, 15% de inóculo de bacterias lácticas y 70% de agua hervida tibia (50°C). El homogenizado se introdujo en frascos de vidrio (1 L) y fue incubado a 40°C por 48 h hasta pH 4,4. El ensilado fue secado a 60°C por 24 h, molido y tamizado (120 μ m). El maíz amarillo duro se adquirió del mercado de abastos La Perla (Chimbote, Perú). La melaza de caña de azúcar (75° Brix) se obtuvo de la Empresa Agroindustrial San Jacinto SAC (Nepeña, Ancash, Perú). Las bacterias lácticas comerciales liofilizadas Lyofast Y 456 B-1UC (*Lactobacillus delbrueckii* y *Streptococcus thermophilus*) se activaron según Berenz (1996).

La dieta basal fue la formulada por Reyes (2016). En las dietas experimentales se reemplazó la harina de maíz por el ensilado de harina de maíz (Tabla 1). Las dietas se pelletizaron a temperatura ambiente en una prensa comercial. Los pellets se secaron a 50°C por 24 h, luego se quebraron (3 mm) y almacenaron en bolsas de plástico de cierre hermético. La hidroestabilidad de los gránulos de las dietas se determinó según Zettl *et al.* (2019). La tasa de alimentación de los camarones fue de 6% del peso húmedo por día y se reajustó después de cada muestreo. El alimento fue proporcionado a las 08:00 h (40%) y 18:00 h (60%).

El análisis químico proximal del ensilado y de las dietas comprendió proteínas, lípidos y fibra que se realizó en el Laboratorio Certificado COLECBI el cual empleó el método UNE-EN ISO 5983-2 Parte 2 dic.2006 con factor de 6,25 para el contenido proteico. Además, la humedad, lípidos, cenizas y fibra

se determinó por el método de la A.O.A.C. (1990). Para los carbohidratos se empleó la fórmula por diferencia: 100 – (% proteínas + % grasas + % fibra + % ceniza). El pH del ensilado de maíz se registró con pH metro digital ($\pm 0,01$) y según el método de Betancourt *et al.* (2014).

Los camarones fueron muestreados cada 30 días. El peso total se determinó en balanza digital ADAM AQT 600 ($\pm 0,01$ g). La longitud total se midió con regla graduada ($\pm 0,5$ mm) y se consideró desde la escotadura postorbital hasta el extremo posterior del telson. El desempeño productivo se determinó con los siguientes parámetros:

$$\text{Ganancia Porcentual} = (X_2 - X_1/X_1) * 100$$

$$\text{Tasa de Crecimiento Absoluto} = X_2 - X_1/t_2 - t_1$$

$$\text{Tasa de Crecimiento Especifico} = [\ln X_2 - \ln X_1] / t_2 - t_1 * 100 \text{ (g)}$$

$$\text{Supervivencia} = (N_i * 100)/N_o$$

Donde, X_1 y X_2 fue el peso húmedo (g) o la longitud total (cm), inicial y final; t_1 y t_2 la duración en días; $\ln X_1$ y $\ln X_2$ fue el logaritmo natural del peso o la longitud inicial y final. N_o y N_i es el número inicial y final de camarones sembrados, respectivamente.

Los desechos sólidos acumulados en los acuarios se extrajeron con sifón dos veces por semana. La calidad del agua se monitoreó semanalmente y se determinó oxígeno disuelto y temperatura con Oxímetro digital Sension8 ($\pm 0,01$ mg L⁻¹; $\pm 0,01$ °C), el pH con pH-metro digital 110 ($\pm 0,01$ unidades), y el amonio total y los nitritos se determinaron semanalmente con kit Sera Aqua-test box ($\pm 0,1$ mg L⁻¹).

Los datos se analizaron con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y todos cumplieron con el supuesto de distribución normal. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron por análisis de varianza de una vía y con la prueba de Duncan.

Tabla 1

Composición porcentual de dietas para *C. caementarius*, de acuerdo a la proporción de ensilado biológico de harina de maíz

Ingredientes (%)	Ensilado de harina de maíz			
	0%	4,2%	8,4%	12,5%
Harina de pescado	30,0	30,0	30,0	30,0
Harina de soya	19,8	19,8	19,8	19,8
Harina de maíz	16,7	12,5	8,4	4,2
Ensilado de harina de maíz	0,0	4,2	8,4	12,5
Aceite de pescado	1,8	1,8	1,8	1,8
Aceite de soya	0,5	0,5	0,5	0,5
Aceite de maíz	0,5	0,5	0,5	0,5
Lecitina de soya	0,6	0,6	0,6	0,6
Polvillo de arroz	20,0	20,0	20,0	20,0
Melaza de caña	2,8	2,8	2,8	2,8
Zeolita	4,0	4,0	4,0	4,0
Sal común	3,0	3,0	3,0	3,0
Complexvit ¹	0,3	0,3	0,3	0,3

¹ Comprende (kg⁻¹): Vitaminas A 8 g; E 7 g; B1 8 g; B2 16 g; B6 11,6 g; B12 0,02 g; C 5 g; D3 5 g; K3 1 g; Nicotinamida 10 g; Niacina 6 g; Biotina 0,3 g; DL Metionina 20 g; Pantotenato de calcio 47 g; Cloruro de sodio 2.7 g; Cloruro de potasio 34 g; Sulfato de magnesio 7 g; Maca 5 g; y Excipientes 1 g.

Tabla 2

Calidad del agua de cultivo de *C. caementarius* alimentados con dietas con diferentes proporciones de ensilado biológico de harina de maíz, durante 60 días

Ensilado de harina de maíz	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg L ⁻¹)	pH	Amonio total (mg L ⁻¹)	Nitritos (mg L ⁻¹)
0%	25,50 ± 0,43 ^a	6,38 ± 0,10 ^a	8,12 ± 0,08 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^b
4,2%	25,50 ± 0,25 ^a	6,29 ± 0,03 ^a	8,14 ± 0,09 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,01 ^{ab}
8,4%	25,75 ± 0,00 ^a	6,37 ± 0,06 ^a	8,11 ± 0,04 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,00 ^a
12,5%	25,58 ± 0,38 ^a	6,32 ± 0,02 ^a	8,13 ± 0,03 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,01 ^a

Datos con letras diferentes en superíndices en una misma columna indica diferencia significativa ($p < 0,05$).

El nivel de significancia fue del 5%. El procesamiento estadístico se realizó con el programa estadístico SPSS versión 23 para Windows.

3. Resultados y discusión

Los parámetros de calidad del agua de cultivo del camarón *C. caementarius* fueron similares ($p > 0,05$) entre tratamientos, excepto los nitritos que fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en el agua donde los camarones se alimentaron con dietas con ensilado (Tabla 2). Sin embargo, la calidad del agua de los acuarios, estuvo dentro del rango informado para el ambiente donde habita la especie de camarón (Wasiw y Yépez, 2015).

El ensilado de harina de maíz (Tabla 3) tuvo bajo contenido de proteínas (8,57%), aunque los lípidos totales (16,49%) y las cenizas (2,25%) se mantuvieron en niveles cercanos al de los gránulos de maíz (Gwirtz y García-Casal, 2014). En cambio, los carbohidratos del ensilado (71,24%) fueron menores a la harina de maíz que contiene entre 84% a 90% de carbohidratos digeribles (Zainuddin et al., 2014). Esto sugiere que durante el proceso de fermentación láctica se utilizaron parte de los carbohidratos del maíz y es más probable que hayan sido los de la mezcla que posee sacarosa (68,36%) como azúcar principal, seguida de glucosa (18,50%) y maltosa (13,14%) (El-Gendy et al., 2013), que son utilizados como sustratos para el crecimiento de *Lactobacillus* (Barrazueta et al., 2019). Esto explicaría el mayor contenido de carbohidratos de las dietas conforme se incrementó la proporción del ensilado.

El incremento de carbohidratos en las dietas experimentales permitió dar mayor hidroestabilidad a los gránulos de alimento (Tabla 3), lo que debe haber evitado la lixiviación de los nutrientes. De acuerdo con Xiao et al. (2014), el mayor nivel de almidón de maíz en las dietas de *Procambarus clarkii*, ocasiona que estas sean más estables en el agua debido al efecto de unión del almidón.

El crecimiento en longitud de los camarones fue similar ($p > 0,05$) entre tratamientos (Figura 1A, Tabla 4). De igual manera, sucedió con el crecimiento en peso, aunque hubo tendencia a incrementar a partir de los 30 días de cultivo, con las mayores proporciones de ensilado (Figura 1B). Es probable que se requiera mayor tiempo de cultivo para observar resultados diferentes en el peso de los camarones entre tratamientos. En cambio, los parámetros de crecimiento en peso (GP, TCA y TCE) fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) con 12,5% de ensilado en relación con la dieta control, pero fue similar ($p > 0,05$) con 4,2% y 8,4% de ensilado (Tabla 4). Estos resultados, demuestran por primera vez, que el crecimiento en peso de *C. caementarius* fue mayor cuando se alimentaron con dietas que tuvieron ensilado de harina de maíz, en comparación con los alimentados sin ensilado. Además, la harina de maíz (16,7%) de la dieta puede ser reemplazada hasta 75% de ensilado, es decir con 12,5% de ensilado de dicho insumo, sin afectar el crecimiento del camarón adulto. Los resultados de la investigación son consistentes con los obtenidos en postlarvas de *M. rosenbergii* cuyo crecimiento en peso fue mayor con el reemplazo total de la harina de maíz por el de ensilado de harina de maíz (24%) en la dieta, y la que tuvo una mayor palatabilidad (Coelho-Emerenciano y Massamitu-Furuya, 2006).

Los parámetros de crecimiento en peso de *C. caementarius* fueron mayores, conforme se incrementó el ensilado de harina de maíz (4,2% a 12,5%) en la dieta, aunque sin diferencias ($p > 0,05$) entre ellos, pero si con el control. Estos resultados indicarían que este ensilado debe contener algunas sustancias que contribuyeron con la digestión o asimilación de nutrientes por el camarón. El ensilado de maíz posee aminos biogénicos como cadaverina, putrescina, espemina y espermidina, debido a la acción de las bacterias ácido lácticas durante el proceso fermentativo (Barbieri et al., 2019). Aunque, no fue determinado estas aminos en las dietas experimentales, sin embargo, se conoce que la espermina es promotora del crecimiento en *Litopenaeus stylirostris* (Tapia-Salazar et al., 2001).

Tabla 3

Composición química proximal y características físicas y organolépticas de dietas con diferentes proporciones de ensilado biológico de harina de maíz

	Ensilado de harina de maíz	Dietas con ensilado de harina de maíz			
		0%	4,2%	8,4%	12,5%
Composición proximal (%)					
Proteína cruda	8,57	28,39	30,49	29,31	28,36
Lípidos totales	16,49	18,75	22,83	12,02	14,99
Carbohidratos	71,24	38,64	31,82	42,36	47,10
Carbohidratos/Lípidos		2,06	1,39	3,52	3,14
Fibra	1,45	1,02	0,69	1,67	0,53
Cenizas	2,25	13,20	14,17	14,64	9,02
Humedad	15,98	18,69	4,82	8,05	9,11
Hidroestabilidad de gránulos		90,3 ± 0,6 ^c	92,3 ± 0,6 ^b	92,7 ± 0,6 ^b	94,3 ± 0,6 ^a
Características organolépticas					
Aroma	A melaza	A pescado	A pescado	A pescado	A pescado
Color	Amarillento	Marrón	Marrón	Marrón claro	Marrón claro
Sabor	Ácido-amargo	Salado/A pescado	Salado/A pescado	Salado/A pescado	Ligeramente salado

Datos con letras diferentes en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ($p < 0,05$).

Las bacterias del ensilado (*L. delbrueckii* y *S. thermophilus*), por el hecho de haber sido incubadas a 40°C y procesadas a 50°C, deben haber permanecido vivas, que al ser ingeridas por el camarón *C. caementarius* podrían haber contribuido con mejorar la flora microbiana y con ello la asimilación de nutrientes, como lo sugerido para la misma especie cuando se alimentó con dietas con ensilado procesado a 40 °C (Terrones y Reyes, 2018). La temperatura óptima para el crecimiento y producción de ácido láctico por *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* es de 44 °C (Aghababaie et al., 2014). En esta condición, *Lactobacillus* por ser homofermentativo, tiene una velocidad de fermentación más rápida, una proteólisis reducida, mayores concentraciones de ácido láctico, menores contenidos de ácido acético y butírico, menor contenido de etanol y mayor recuperación de energía y materia seca (Santos et al., 2013). El ácido láctico, obtenido de la fermentación del almidón de maíz por especies de *Lactobacillus*, inhibe el crecimiento de levaduras y bacterias oportunistas con lo cual se mejora la estabilidad aeróbica del ensilado (Kleinschmit y Kung, 2006) y contribuye con la flora benéfica del huésped.

La harina de maíz, en las dietas experimentales, solo fue reemplazada por el ensilado de harina de maíz, sin modificar la proporción de los otros insumos, lo que permitió mantener mínima variación de proteínas de las dietas (28% a 30%). De acuerdo con Arcari et al. (2016), el contenido de proteína bruta del maíz molido húmedo no se altera durante el tiempo de ensilado; es por ello que el contenido de proteínas (8,57%) del ensilado de maíz, estuvo dentro del rango (7% a 11%) del contenido de maíz amarillo (Gwartz y García-Casal, 2014), lo que confirmaría que no hubo proteólisis durante el ensilado o esta fue muy reducida. Las especies de *Lactobacillus* ocasionan reducida

proteólisis durante el ensilado de maíz (Santos et al., 2013). Además, por el hecho de que durante el proceso del ensilado hubo acidez del medio (pH 4,40) generada por las bacterias ácido lácticas, sugiere que la melaza o los carbohidratos de las otras harinas empleadas en la dieta, hayan contribuido con la fermentación hasta disminuir el pH del medio.

Las bacterias y las enzimas del núcleo del maíz, contribuyen con la proteólisis de la matriz y de la superficie del gránulo del almidón del maíz, así como a su digestibilidad (Junges et al., 2017), lo cual podría estar limitada en la harina de maíz empleada, toda vez que se conoce que las proteínas de la superficie de los gránulos de almidón, afectan la digestibilidad del almidón (Svihus et al., 2005). Estas investigaciones explicarían el menor crecimiento en peso de *C. caementarius* alimentado con la dieta control (sin ensilado), que aunado a la baja proporción de harina de maíz (16,7%) empleada, ocasionó bajo contenido de carbohidratos (38,64%) en dicha dieta. En *M. idae* el mayor crecimiento se logra con dietas que contienen entre 29% y 37% de harina de maíz, cuya digestibilidad fue de 76,9% la cual es usada como fuente de energía (Sundaravadi vel y Sethuramalingam, 2017). Es conveniente investigar en el camarón *C. caementarius*, la digestibilidad aparente de la harina de maíz y del ensilado biológico de la harina de maíz. En las dietas experimentales, el incremento del ensilado de harina de maíz ocasionó aumento de carbohidratos y disminución de lípidos, y la proporción carbohidratos/lípidos incrementó de 1,39 a 3,14 con la proporción de ensilado (4,2% y 12,5%, respectivamente) (Tabla 3). Además, las mayores tasas de crecimiento en peso de *C. caementarius* se obtuvo con 12,5% de ensilado en la dieta, cuya proporción de carbohidratos/lípidos fue de 3,14:1, que correspondió a 47,10% de carbohidratos y de 14,99% de lípidos.

Tabla 4

Parámetros de crecimiento en longitud y peso de *C. caementarius* alimentado con dietas con diferentes proporciones de ensilado biológico de harina de maíz, durante 60 días

Parámetros	Dietas con ensilado de harina de maíz			
	0%	4,2%	8,4%	12,5%
Longitud total inicial (cm)	4,97 ± 0,15 ^a	4,90 ± 0,53 ^a	4,93 ± 0,47 ^a	5,03 ± 0,15 ^a
Longitud total final (cm)	5,10 ± 0,20 ^a	5,33 ± 0,46 ^a	5,00 ± 0,52 ^a	5,50 ± 0,35 ^a
GP (%)	2,67 ± 1,09 ^a	2,68 ± 1,23 ^a	4,21 ± 2,48 ^a	7,79 ± 5,13 ^a
TCA (cm día ⁻¹)	0,002 ± 0,001 ^a	0,007 ± 0,010 ^a	0,003 ± 0,002 ^a	0,007 ± 0,004 ^a
TCE (% longitud día ⁻¹)	0,044 ± 0,018 ^a	0,143 ± 0,192 ^a	0,068 ± 0,039 ^a	0,124 ± 0,080 ^a
Peso total inicial (g)	5,23 ± 0,65 ^a	5,17 ± 1,07 ^a	5,55 ± 1,51 ^a	5,87 ± 0,21 ^a
Peso total final (g)	5,70 ± 0,79 ^a	6,07 ± 0,70 ^a	6,47 ± 2,12 ^a	7,67 ± 0,74 ^a
GP (%)	8,86 ± 4,37 ^b	18,89 ± 12,13 ^{ab}	18,11 ± 3,32 ^{ab}	34,26 ± 14,06 ^a
TCA (g día ⁻¹)	0,008 ± 0,005 ^b	0,015 ± 0,008 ^{ab}	0,018 ± 0,006 ^{ab}	0,033 ± 0,012 ^a
TCE (% peso día ⁻¹)	0,141 ± 0,068 ^b	0,283 ± 0,172 ^{ab}	0,277 ± 0,047 ^{ab}	0,485 ± 0,172 ^a
Supervivencia (%)	88,89 ± 19,25 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	100,00 ± 0,00 ^a

GP: Ganancia Porcentual. TCA: Tasa de Crecimiento Absoluto. TCE: Tasa de Crecimiento Específico. Datos con letras desiguales en superíndices en una misma fila indica diferencia significativa (p < 0,05).

En *Cherax quadricarinatus* mayor crecimiento se logra con dietas cuya proporción de carbohidratos/lípidos fue de 3,60:1, que corresponde a 29% de carbohidratos y 8% de lípidos (Zhu *et al.*, 2013). En consecuencia, los resultados sugieren que los machos adultos de *C. caementarius* utilizan los carbohidratos como fuente de energía en vez de las proteínas en la dieta, lo que explica los mayores parámetros de crecimiento en peso del camarón.

la dieta con 30% de proteínas y bajo contenido de carbohidratos (16,3% a 23,5%) ocasiona altos índices de crecimiento y una eficiente utilización de las proteínas de la dieta, lo que sugiere que la especie usa los carbohidratos dietarios como principal fuente de energía para ahorrar proteínas y maximizar el crecimiento. Los camarones machos adultos de *C. caementarius* tendrían capacidad de utilizar alto contenido de carbohidratos (47,10%) en la dieta que tuvo un nivel de proteínas de 28,36% (Tabla 3), y que, de acuerdo a los resultados de los parámetros de crecimiento en peso, indicaría que los carbohidratos de las dietas con ensilado estarían siendo utilizados como fuente de energía, dejando a las proteínas para la conformación de masa muscular.

De acuerdo con Xiao *et al.* (2014), cuando los niveles de carbohidratos en la dieta exceden el óptimo, los animales no crecen porque dicho exceso disminuye la capacidad de digerir, absorber y asimilar los carbohidratos de la dieta, incluso llegan a reducir la ingesta de alimento. Esto no sucedió en la investigación, aun cuando los carbohidratos de la dieta con alta proporción de ensilado (12,5%) fue de 47,10%, por lo que se conjetura que los machos adultos de *C. caementarius* requieren una dieta con alto contenido de carbohidratos sin afectar la ingesta del alimento ni el crecimiento, como ha sido informado en otras especies de crustáceos (Tabla 5), donde *M. rosenbergii* requiere 24% de ensilado de maíz (Coelho-Emerenciano y Massamitu-Furuya, 2006), *P. clarkii* 20% (Xiao *et al.*, 2014) y *M. nipponense* 18% (Kong *et al.* 2019). Aunque no se conocen las enzimas digestivas de *C. caementarius* que digieran carbohidratos, sin embargo, el hecho de lograr mayores parámetros de crecimiento en peso con la dieta que contiene 12,5% de ensilado, sugiere que esta especie de camarón aprovecha los carbohidratos de dicha dieta; y es probable que fue estimulado por las bacterias del ensilado.

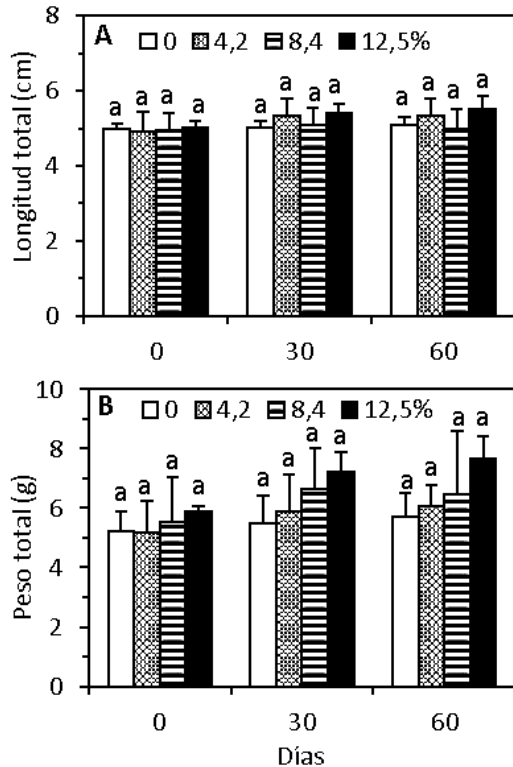


Figura 1. Crecimiento en longitud (A) y peso (B) de *C. caementarius* alimentados con diferentes proporciones de ensilado biológico de harina de maíz en la dieta, durante 60 días.

Salgado-Leu y Tacon (2015), determinaron en juveniles de *Samastacus spinifrons*, que

Tabla 5

Comparación de las mejores proporciones de ensilado biológico de maíz y de almidón de maíz en dietas, para crecimiento de crustáceos de agua dulce

Tipo de carbohidrato	Proporción en dieta	Especie	Estado	Tamaño	Ref.
Ensilado de harina de maíz	12,5%	<i>C. caementarius</i>	Adulto	5,23 – 5,87 g	EE
Ensilado de harina de maíz	24,0%	<i>M. rosenbergii</i>	Postlarva	0,12 g	1
Almidón de maíz	15%	<i>M. nipponense</i>	Postlarva	0,13 g	2
Almidón de maíz crudo	18%	<i>M. nipponense</i>	Postlarva	0,12 g	3
Almidón de maíz pregelatinizado	18%	<i>M. nipponense</i>	Postlarva	0,12 g	3
Almidón de maíz	20%	<i>P. clarkii</i>	Juveniles	0,39 g	4

EE. Este estudio. 1) Coelho-Emerenciano y Massamitu-Furuya, 2006. 2) Ding *et al.*, 2016. 3) Kong *et al.* 2019. 4) Xiao *et al.*, 2014.

En *C. cainii*, las mayores cantidades de microvellosidades por pliegue intestinal se deben a las bacterias del fermentado con *L. casei* que actúan como probióticos y son responsables de una mejor absorción y utilización de nutrientes (Siddik *et al.*, 2020). El almidón de maíz contiene entre 20% a 25% de amilosa y de 75% a 80% de amilopectina (Hamaker *et al.*, 2019), donde la amilopectina es digerida relativamente bien por los camarones peneidos (Gaxiola *et al.*, 2006) y es probable que sea similar en los carídeos. Se conoce que durante la hidrólisis del almidón se produce al azar ruptura de los enlaces α 1-4 y α 1-6, cuyos productos de degradación de la amilosa son la maltosa y maltotriosa, y de la amilopectina son la dextrina y oligómeros formados por enlaces α 1-6 (Alcázar-Alay y Meireles, 2015). La amilopectina tiene un área de superficie, por molécula, mucho mayor que la amilosa, que lo convierte en un sustrato preferible para el ataque amilolítico (Singh *et al.*, 2010). Estas investigaciones probablemente expliquen la utilización de los carbohidratos de las dietas por los camarones machos adultos de *C. caementarius*, toda vez que la especie es omnívora que, en su dieta natural, se alimenta de microalgas y de restos de diversos vegetales y también de animales (Bahamonde y Vila, 1971), por lo que deben estar adaptados para metabolizar carbohidratos. En postlarvas de *M. nipponense* las dietas con 18% de almidón de maíz crudo o pregelatinizado mejoran el crecimiento (Ding *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2019) y en *P. clarkii* con 20% de almidón de maíz (Xiao *et al.*, 2014). Sin embargo, es conveniente continuar las investigaciones para entender mejor la nutrición de la especie con diferentes fuentes de carbohidratos en la dieta, principalmente para utilizarlos en el engorde del camarón.

4. Conclusiones

Los camarones machos adultos de *C. caementarius* utilizan dietas con alto contenido de ensilado de harina de maíz (12,5%), cuya proporción carbohidratos/lípidos fue

de 3,14:1 lo que ocasionó mayores tasas de crecimiento en peso ($p < 0,05$) en relación con aquellos alimentados con dieta sin ensilado. La supervivencia fue alta ($> 88\%$) e independiente de los tratamientos. Es conveniente continuar con las investigaciones con el uso del ensilado biológico de otras fuentes de carbohidratos en la dieta que permita mejorar el engorde del camarón.

ORCID

J. Gallardo-Carril  <https://orcid.org/0000-0002-1738-1677>

W.E. Reyes-Avalos  <http://orcid.org/0000-0002-4277-9521>

Referencias bibliográficas

- Acosta, A.; Quiñones, D.; Reyes, W. 2018. Efecto de dietas con lecitina de soya en el crecimiento, muda y supervivencia de machos del camarón de río *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria* 9(1): 143-151.
- Aghababaie, M.; Beheshti, M.; Khanahmadi, M. 2014. Effect of temperature and pH on formulating the kinetic growth parameters and lactic acid production of *Lactobacillus bulgaricus*. *Nutrition and Food Sciences Research* 1(1): 49-56.
- Alcázar-Alay, S.C.; Meireles, M.A.A. 2015. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Sci. Technol. Campinas* 35(2): 215-236.
- A.O.A.C. 1990. Official methods of analyses. 15th edition. En: Helrich, K. (Comp.). Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA, USA.
- Arcari, M.A.; Martins, C.; Tomazi, T.; *et al.* 2016. Effect of the ensiling time of hydrates ground corn on silage composition and *in situ* starch degradability. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 53(1): 60-71.
- Bahamonde, N.; Vila, I. 1971. Sinopsis sobre la biología del camarón de río del norte. *Biología Pesquera* 5: 3-60.
- Bahamonde, N.; Carvacho, A.; Jara, C.; *et al.* 1998. Categorías de conservación de decápodos nativos de aguas continentales de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 47: 91-100.
- Barbieri, F.; Montanari, C.; Gardini, F.; *et al.* 2019. Biogenic amine production by lactic acid bacteria: A review. *Food* 8(7): 1-27.
- Barrazueta, S.G.; Yáñez, G.D.; Mendoza, G.X.; *et al.* 2019. Uso y análisis químicos de distintos sustratos para el desarrollo de biomasa bacteriana. *Ciencia Digital* 3(3.4): 152-166.
- Berenz, Z. 1996. Ensilado de residuos de pescado. En XI Curso Internacional de Procesamiento de Productos Pesqueros. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. Callao, Perú. Pp. 9-31.
- Betancourt, S.; Ayala, A.; Ramírez, C. 2014. Efecto del proceso de fermentación con bacterias ácido

- lácticas sobre propiedades reológicas de masas de maíz QPM. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 17(2): 503-511.
- Coelho-Emerenciano, M.G.; Massamitu-Furuya, W. 2006. Ensilado de maíz en dietas para postlarvas de camarón de agua dulce *Macrobrachium rosenbergii*. Investigaciones Marinas, Valparaíso 34(2): 57-61.
- Dávila, E.; Medina, J.; Reyes, W. 2013. Crecimiento y supervivencia de postlarvas de *Macrobrachium inca* (Holthuis, 1950) (Crustacea, Palaemonidae) alimentadas con ensilado biológico. Revista Intropica 8: 79-86
- De Grave, S.; Villalobos, J.; Alvarez, F.; et al. 2013. *Cryphiops caementarius* (errata). The IUCN Red List of Threatened Species 2013. e.T197608A107024710.
- Ding, Z.; Kong, Y.; Li, J. 2016. Scavenger Receptor Class B, Type I, a CD36 Related Protein in *Macrobrachium nipponense*: Characterization, RNA Interference, and Expression Analysis with Different Dietary Lipid Sources. International Journal of Genomics 2016: 6325927.
- El-Gendy, N.S.; Madian, H.R.; Amr, S.S.A. 2013. Design and optimization of a process for sugarcane molasses fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* using response surface methodology. International Journal of Microbiology 2013: 815631.
- Escobar, C.; Pachamoro, M.; Reyes, W. 2017. Supervivencia y crecimiento de machos adultos del camarón de río *Cryphiops caementarius* Molina, 1782 (Crustacea, Palaemonidae) expuestos a salinidades. Ecología Aplicada 16(2): 75-82.
- Gaxiola, G.; Rosas, C.; Arena, L.; et al. 2006. Requerimientos de carbohidratos. En: Rosas, C.; Carrillo, O.; Wilson, R.; Andreatta, E. (Comp.). Estado actual y perspectivas de la nutrición de los camarones peneidos cultivados en Iberoamérica. Publidisa Mexicana, Mexico, DF. Pp. 143-153.
- Gwartz, J.A.; Garcia-Casal, M.N. 2014. Processing maize flour and corn meal food products. Annals of the New York Academy of Science 1312: 66-75.
- Hamaker, B.R.; Tuncil, Y.E.; Shen, X. 2019. Carbohydrates of the kernel. Corn 305-318.
- Hoseinifar, S.H.; Sun, Y.Z.; Wang, A.; et al. 2018. Probiotics as means of disease control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. Frontiers in Microbiology 9:2429.
- Junges, D.; Morais, G.; Spoto, M.H.F.; et al. 2017. Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. Journal of Dairy Science 100: 9048-9051.
- Kleinschmit, D.H.; Kung, L. 2006. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. Journal of Dairy Science 89: 4005-4013.
- Kong, Y.; Ding, Z.; Zhang, Y.; et al. 2019. Types of carbohydrate in feed affect the growth performance, antioxidant capacity, immunity, and activity of digestive and carbohydrate metabolism enzymes in juvenile *Macrobrachium nipponense*. Aquaculture 512: 734282.
- Méndez, M. 1981. Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decápoda) del mar y ríos de la costa del Perú. Boletín del Instituto del Mar del Perú - Callao 5: 1-170.
- Meruane, J.; Rivera, M.; Morales, C.; et al. 2006. Juvenile production of the freshwater prawn *Cryphiops caementarius* (Decapoda: Palaemonidae) under laboratory conditions in Coquimbo, Chile. Gayana 70(2): 228-236.
- Moscoso, V. 2012. Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. Boletín Instituto del Mar del Perú 27(1-2): 8-207.
- Muck, R.E.; Nadeau, E.M.G.; McAllister, T.A.; et al. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science 101:3980-4000.
- Produce (Ministerio de la producción). 2018. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2017. La actividad productiva del sector en números. Ministerio de la Producción. Perú.
- Ramírez, M.; Cántaro, R.; Reyes, W. 2018. Growth and survival of males of *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae) with diets supplemented with common salt. Latin American Journal Aquatic Research 46(2): 469-474.
- Reyes, W. 2016. Efecto del recipiente de cultivo sobre la supervivencia y el crecimiento de machos de *Cryphiops caementarius* en sistemas individualizados. Revista Bio Ciencias 3(4): 311-325.
- Reyes, W.; Ferrer, K.; Sernaqué, J. 2018. Dimorfismo sexual del camarón *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). En: Reyes, W.E. (Comp.). Memoria del XVIII Congreso Nacional de Estudiantes de Biología. Trabajos de investigación escritos en extenso. Nuevo Chimbote, del 3 al 8 de septiembre de 2017. Pp. 14-16.
- Reyes, W.; Campoverde, L.; Ferrer, K.; et al. 2020. Preferencia termal de postlarvas del camarón de río *Cryphiops caementarius* previamente aclimatados a diferentes temperaturas. Ecosistemas 29(1):1802.
- Romero, H.; Zelada, C.A.; Álvarez, J. 2013. Producción larval del camarón de río (*Cryphiops caementarius*) en condiciones de laboratorio, Huacho, Perú. Infinitum 3(1): 35-40.
- Salgado-Leu, I.; Tacon, A.G.J. 2015. Effects of different protein and carbohydrate contents on growth and survival of juveniles of southern Chilean freshwater crayfish, *Samastacus spinifrons*. Latin American Journal Aquatic Research 43(5): 836-844.
- Santos, E.M.; da Silva, T.C.; Macedo, C.H.O.; et al. 2013. Lactic acid bacteria in tropical grass silages. En: Kongo, M. (Comp.). Lactic acid bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes. IntechOpen. Pp. 335-362.
- Sarman, V.; Vishal, R.; Mahavadiya, E.; et al. 2018. Nutritional aspect for freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming. International Journal of Fauna and Biological Studies 5(2): 172-175.
- Siddik, M.A.B.; Fotedar, R.; Chaklader, M.R.; et al. 2020. Fermented animal source protein as substitution of fishmeal on intestinal microbiota, immune-related cytokines and resistance to *Vibrio mimicus* in freshwater crayfish (*Cherax cainii*). Frontier in Physiology 10:1635.
- Singh, J.; Dartois, A.; Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. Trends in Food Science & Technology 21: 168-180.
- Sundaravadivel, C.; Sethuramalingam, T.A. 2017. Growth performance of *Macrobrachium idae* juveniles fed with carbohydrate rich diets. Journal of Advanced Zoology 38(1): 33-42.
- Svihus, B.; Uhlen, A.K.; Harstad, O.M. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Animal Feed Science and Technology 122: 303-320.
- Tapia-Salazar, M.; Smith, T.K.; Harris, A.; et al. 2001. Effect of dietary histamine supplementation on growth and tissue amine concentrations in blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. Aquaculture 193: 281-289.
- Terrones, S.; Reyes, W. 2018. Efecto de dietas con ensilado biológico de residuos de molusco en el crecimiento del camarón *Cryphiops caementarius* y tilapia *Oreochromis niloticus* en co-cultivo intensivo. Scientia Agropecuaria 9(2): 167-176.
- Ulloa, D.A.; Morales, M.C.; Coelho, M.G. 2019. Biofloc technology: principles focused on potential species and the case study of Chilean river shrimp *Cryphiops caementarius*. Reviews Aquaculture 1-24.
- Wang, X.; Li, E.; Chen, L. 2016. A review of carbohydrate nutrition and metabolism in crustaceans. North American Journal of Aquaculture 78(2): 178-187.
- Wasiw, J.; Yépez, V. 2015. Evaluación poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en ríos de la costa sur del Perú. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 26(2): 166-181.

- Xiao, X.; Han, D.; Zhu, X.; *et al.* 2014. Effect of dietary cornstarch levels on growth performance, enzyme activity and hepatopancreas histology of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). *Aquaculture* (426-427): 112-119.
- Zainuddin; Haryati; Aslamyah, S. 2014. Effect of dietary carbohydrate levels and feeding frequencies on growth and carbohydrate digestibility by white shrimp *Litopenaeus vannamei* under laboratory conditions. *Journal of Aquaculture Research and Development* 5(6): 274.
- Zettl, S.; Cree, D.; Soleimani, M.; *et al.* 2019. Mechanical properties of aquaculture feed pellets using plant-based proteins. *Cogent Food & Agriculture* 5: 1656917.
- Zhu, H.; Jiang, Q.; Wang, Q.; *et al.* 2013. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, hepatic enzyme activities, and digestive enzyme activities of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Journal of the World Aquaculture Society* 44(2): 173-186.