

INCLUSIÓN DE HARINA DE CANGREJO
ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA
ALIMENTACIÓN DE ALEVINOS DE TRUCHA ARCO
IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)



INCLUSION OF CRAYFISH MEAL (*Procambarus
clarkii*) IN RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)
FINGERLINGS FEEDING

Rosado Puccini, Rafael; Landines Parra, Miguel Ángel; Rodríguez
Avella, Diego Alberto; González-Ruíz, Yesid de los Ángeles; Pimiento-
Ortega, Mabel Giovana; González-Gamboa, Isabella; Herrera-
Martínez, Yimy

-  **Rafael Rosado Puccini**
rrosadop@unal.edu.co
Truchas de La Sierra (Guasca-Colombia), Colombia
-  **Miguel Ángel Landines Parra**
malandinezp@unal.edu.co
Laboratorio de Fisiología de Peces, Universidad
Nacional de Colombia (Bogotá-Colombia), Colombia
-  **Diego Alberto Rodríguez Avella**
diegorodriguez@italcol.com
Italcol S. A. (Bogotá-Colombia), Colombia
-  **Yesid de los Ángeles González-Ruíz**
yesiddelosangeles.gonzalez@uptc.edu.co
Grupo de Investigación y Manejo Integrado de
Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÂ), Universidad
Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-
Colombia), Colombia
-  **Mabel Giovana Pimiento-Ortega**
mabel.pimiento@uptc.edu.co
Grupo de Investigación y Manejo Integrado de
Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÂ), Universidad
Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-
Colombia), Colombia
-  **Isabella González-Gamboa**
isabella.gonzalez@uptc.edu.co
Grupo de Investigación y Manejo Integrado de
Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÂ), Universidad
Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-
Colombia), Colombia
-  **Yimy Herrera-Martínez**

Resumen: **Contextualización:** el cangrejo rojo americano [*Procambarus clarkii*] es una especie invasora, cuya presencia está confirmada en la zona central de Colombia. En el sur de Estados Unidos, su área de distribución natural, es un importante recurso acuícola; sin embargo, se han documentado altos impactos ambientales en zonas donde ha sido introducido, precisamente por su elevada capacidad de colonización y la consecuente afectación a especies nativas. El creciente registro de su presencia en diferentes sistemas, del centro del país, sugiere un acelerado patrón de expansión y supone que, tal como se ha presentado en otros países, podrán ocurrir efectos negativos sobre la estructura general de estos ecosistemas del altiplano, de no aplicarse mecanismos que permitan algún nivel de control.

Vacío de conocimiento: la posibilidad de controlar la expansión del cangrejo rojo mediante erradicación manual es una alternativa viable, siempre que se valide algún tipo de uso; debe contemplarse un estímulo económico para motivar pobladores que se dediquen a su extracción por pesca. El proceso para obtener harina que sirva como fuente proteica para concentrados en acuicultura es una opción que debe valorarse.

Propósito: evaluar la inclusión de harina de cangrejo, como reemplazo parcial de harina de pescado, en un concentrado formulado para la etapa de alevinaje de truchas arcoíris.

Metodología: ejemplares de *P. clarkii* fueron capturados utilizando trampas con carnada animal y se procesaron hasta obtener harina. El alimento experimental se elaboró a partir de la valoración de la composición de harina, aplicando cuatro tratamientos por triplicado. Tres tratamientos contenían harina de cangrejo en diferentes porcentajes [T1: 2 %, T2: 4 % y T3: 6 %] y uno de los tratamientos [control] no incluía harina. Los tratamientos se suministraron a alevinos de trucha desde el inicio de la alimentación hasta que alcanzaron 6 cm de longitud total. Se realizaron muestreos de longitud total [cm] y peso [g] cada diez días, durante un periodo de 60 días. Mediante análisis de

yimyherrera@gmail.com

Grupo de Investigación y Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÂ), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Colombia), Colombia

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

ISSN: 2145-6097

ISSN-e: 2145-6453

Periodicidad: Semestral

vol. 14, núm. 2, 2024

riaa@unad.edu.co

Recepción: 31 Agosto 2022

Aprobación: 27 Febrero 2023

Publicación: 20 Junio 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1304312007/>

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.6154>

Financiamiento

Fuente: Proyecto de investigación "Uso del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en la formulación de dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y como mecanismo para el aprovechamiento y control de una especie invasora"

Nº de contrato: Código 66096 financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC] y contrato 80740-559-2019 MINCIENCIAS-REGALIAS

Beneficiario: INCLUSIÓN DE HARINA DE CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA ALIMENTACIÓN DE ALEVINOS DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

Fuente: Éste estudio fue financiado por la Gobernación del Departamento de Boyacá, Minciencias y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC].

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CÓMO CITAR: Rosado, R., Landines, M., Rodríguez, D., González-Ruíz, Y., Pimiento-Ortega, M., González-Gamboa, I. y Herrera-Martínez, Y. (2023). Inclusión de harina de cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la alimentación de alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 131 - 151. <https://doi.org/10.22490/21456453.6154>

varianza [ANOVA], se compararon las siguientes variables de los alevinos al final del periodo: peso final [Pf], ganancias en longitud total [GLT], peso [GP], factor de conversión alimenticia [FCA], tasa de crecimiento específico [TCE], factor de condición [K] y porcentaje de mortalidad [%].

Resultados y conclusiones: entre los tratamientos, y para las variables evaluadas, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Se concluye que, hasta la longitud alcanzada por los peces, la inclusión a un nivel del 6 % de harina de cangrejo es factible como reemplazo parcial de otros alimentos para peces. La obtención de la harina, a partir de ejemplares completos, dificulta balancear dietas de peces que requieran mayores porcentajes de proteína.

Palabras clave: acuicultura, especie invasora, harina de pescado, harina de crustáceos, nutrición.

Abstract: Contextualization: the American red crayfish [*Procambarus clarkii*] is an invasive species whose presence has been confirmed in central Colombia. In the southern part of the United States, where it is naturally distributed, it is an important aquaculture resource; however, high environmental impacts have been documented in areas where it has been introduced, precisely because of its high colonization capacity and the consequent impact on native species. The growing record of its presence in different systems, in the center of the country, suggests an accelerated expansion pattern and implies that, as has occurred in other countries, negative effects may occur on the general structure of these highland ecosystems if mechanisms are not applied that allow some level of control.

Knowledge gap: the possibility of controlling the expansion of the red crayfish through manual eradication is a viable alternative, if some type of use is validated; this should include an economic incentive to motivate people to fish for it. The process to obtain a meal that serves as a protein source, for aquaculture concentrates, is an option that should be evaluated.

Purpose: evaluate the inclusion of crayfish meal, as a partial replacement of fish meal, in a concentrate formulated for rainbow trout at a fingerling stage.

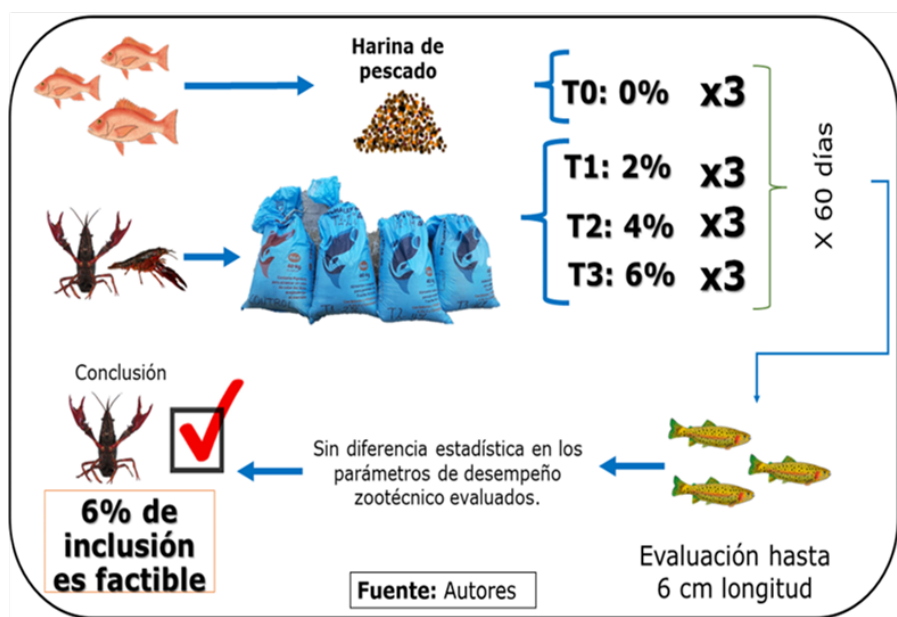
Methodology: specimens of *P. clarkii* were captured using traps with animal bait. The crayfish were processed to obtain a meal. The experimental food was elaborated after analyzing the composition of the meal. Four treatments were applied, three with different percentages of crayfish meal inclusion [T1: 2 %, T2: 4 % and T3: 6 %] and another treatment [control] did not include meal. The trout fingerlings were fed with the treatments until they reached 6 cm of total length. Total length [cm] and weight [g] were sampled every ten days for a period of 60 days. Through analysis of variance [ANOVA], the following variables of the fingerlings were compared at the end of the period: final weight [Pf, g], total length gains [GLT], weight [GP], feed conversion factor [FCA], specific growth rate [TCE], condition factor [K] and percentage of mortality [%]

Results and conclusions: among treatments, and for the variables evaluated, were no statistically significant differences among treatments. It was concluded that, until the length reached for the fishes, the inclusion at a level of 6 % of crayfish

meal is acceptable as a partial replacement of other fish meals. Obtaining the meal from whole specimens makes it difficult to balance the diets of fishes that require higher replacement percentages of protein.

Keywords: Aquaculture, invasive species, fish meal, crustacean meal, nutrition.

RESUMEN GRÁFICO



Autores

1. INTRODUCCIÓN

El cangrejo rojo americano [*Procambarus clarkii*] es originario del noreste de México y de la zona sur de los Estados Unidos. Se encuentra presente en, al menos, 15 estados norteamericanos y varias islas del Caribe, así como en América Central y del Sur, Asia, Europa y África; todos estos territorios no constituyen su área de distribución natural, de modo que ha ingresado tanto por acuicultura como por introducción accidental (Oficialdegui et al., 2019). *P. clarkii* se considera como una de las especies más ampliamente introducida en ambientes dulceacuícolas en el mundo, lo que ha sido motivado por su elevada importancia económica (Souty-Grosset et al., 2016). Después del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), es el crustáceo más cultivado a nivel mundial con en una tendencia de producción también creciente, ya que ha pasado de alrededor de 1,7 millones de toneladas en 2018 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020) a casi 2,5 millones en 2020 (FAO, 2022).

Su introducción a Colombia está bien documentada y se realizó en 1985, en el departamento del Valle del Cauca, con el objetivo de valorar la especie para fines de cultivo (Flórez-Brand y Espinosa-Beltran, 2011). Una fuga reportada permitió su expansión y el patrón actual de distribución, aunque no es claro, parece acelerarse; son cada vez más frecuentes los registros sobre su presencia en departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2018). Baptiste et al. (2010) incluyen a *P. clarkii* dentro del listado de las 506 especies reportadas como introducidas y/o trasplantadas en el territorio colombiano. Las autoridades ambientales regionales reconocen que puede llegar a impactar negativamente

los sistemas que invade y, en esa línea, ya se cuenta con protocolos e información estructurada en forma de un plan de manejo para la zona central del país en el que se precisan acciones como la erradicación manual, a través de pobladores que actúen ejerciendo presión de pesca como una de las modalidades para controlar su expansión (CAR, 2018).

Dentro de las posibilidades para controlar la especie no se contempla el cultivo, por lo que la evaluación de otras alternativas de aprovechamiento es una condición necesaria para motivar esquemas continuos de extracción de *P. clarkii*. Esta especie tiene una elevada tasa de crecimiento, alta fecundidad y madurez temprana, lo que favorece su dispersión y establecimiento en ambientes naturales, con efectos negativos sobre la composición y abundancia de poblaciones de fauna nativa y estructura de la vegetación. Por estas razones se le considera como especie invasora en países fuera de su distribución natural (Elmossalami & Emara, 1999; Gherardi, 2006; Anastacio et al., 2009). Paradójicamente, las características que califican a *P. clarkii* como una especie de alto impacto, en los ecosistemas que invade, también la hacen atractiva en términos de explotación acuícola, lo que explica su introducción con fines de producción sin la previsión de los riesgos asociados a una liberación accidental. Una vez instalada en un hábitat y en expansión, su presencia es irreversible y la erradicación total muy difícil o imposible (Gherardi, 2006). Los medios de solución parcial implementados parten de que la remoción manual es uno de los principales instrumentos de control, a través de planes que combinan una regulación de manejo de la pesca con beneficios para comunidades locales (Conde & Domínguez, 2015; Lodge et al., 2012).

Pese a que el cultivo del cangrejo rojo no sea una opción como medio de control, sí se cultiva para el consumo humano (FAO, 2022); no obstante, por su contenido de proteína y pigmentos, se han promovido estudios para evaluar su aprovechamiento en la industria de concentrados para peces (Cremades et al., 2003; El-Rahman & Badrawy, 2007; Romero et al., 2010; Cheng et al., 2021). Si bien la principal fuente de proteína que se utiliza en los alimentos para piscicultura es la harina de pescado (Dallaire et al., 2007; Cheng et al., 2022), como una posible alternativa, Hamdi (2011) y Pulcini et al. (2021), mencionan que son varios los factores que soportan el uso de la harina de *P. clarkii* para la alimentación en acuicultura, debido a los valores nutricionales de su cuerpo y exoesqueleto, su contenido de proteína, el balance de aminoácidos, los perfiles de ácidos grasos insaturados, y sus minerales, vitaminas y carotenoides.

En piscicultura, el uso de cangrejo rojo como alimento se ha valorado con diferentes fines, especialmente por su efecto en los parámetros de crecimiento, en condiciones de cultivo, de varias especies de tilapias y carpas (Cheng et al., 2021); dichas valoraciones se han hecho por medio de ensayos en los que se analizan los efectos del reemplazo total o parcial de la harina de pescado. Igualmente, se ha evaluado su efectividad para mejorar aspectos de la coloración en especies de peces en los que este atributo es fundamental para comercialización del producto; Romero et al. (2010), encontraron que la concentración de carotenoides en la piel de *Pagruspagrus* se incrementa con la inclusión de la harina del *P. clarkii*. El cangrejo rojo también es fuente también de carotenoproteínas y quitina (Zaglol & Eltadawy, 2009; Hamdi, 2011; Pulcini et al., 2021) y, como en general pasa con las harinas de crustáceos, funciona como carnada, lo que estimula la aceptación y la ingesta (Hamdi, 2011; Hodar et al. 2020).

Las restricciones de inclusión o de reemplazo que existen para este tipo de harinas de crustáceos, en la alimentación de peces, se encuentran relacionadas con el proceso de elaboración. Al utilizar exclusivamente la parte comestible del cangrejo, los contenidos proteicos se elevan sustancialmente, con registros que van desde el 64,15 % hasta el 85,15 % (Pérez-Gálvez et al., 2008); suelen ser menores las variaciones en otros nutrientes, como en los lípidos [del 6-8 %] y una baja cantidad de carbohidratos [< 2 %] (Pérez-Gálvez et al., 2008; Hamdi, 2011). La astaxantina en *P. clarkii*, el carotenoide con mayor contenido en muchos crustáceos (Pérez-Gálvez et al., 2008), se ha determinado en concentraciones de 15,74 mg kg⁻¹ por Romero et al. (2010) y del 90,3 mg kg⁻¹ cuando el proceso de obtención de la harina de cangrejo finaliza con un polvo deshidratado a partir de los residuos (Cremades et al., 2003).

Con relación a la alimentación de los peces, las especies carnívoras, como la trucha arco iris (*O. mykiss*), demandan elevados contenidos de proteína en la dieta, especialmente durante la etapa de alevinaje (NRC, 2011); estos requerimientos tienen impacto en los costos de la producción piscícola, más aún si se tiene en cuenta que, para el caso nacional, los alimentos para peces son productos importados. Por eso, las tendencias actuales de investigación sobre nutrición de peces se enfocan en evaluar alternativas que permitan el reemplazo [parcial o total] de harinas que contengan proteína de origen marino (Hodar et al. 2020). Así se puede disminuir la presión de pesca sobre las poblaciones locales y reducir los costos sin afectar la calidad del producto final ni la nutrición de los peces que están en cultivo (Cheng et al., 2022).

Por lo expuesto anteriormente, en la línea de definir usos potenciales para *P. clarkii* que permitan su control y de encontrar reemplazos para las proteínas de origen marino en los sistemas de producción piscícolas, el objetivo del presente estudio fue evaluar el reemplazo de la harina de pescado [en diferentes porcentajes] por harina de cangrejo rojo americano, específicamente en la formulación de dietas para la alimentación de alevinos de trucha arco iris en sistemas de producción intensivos. En general, la evaluación consideró el desempeño zootécnico de los alevinos en términos de crecimiento [longitud total (cm) y peso (g)], además de los indicadores derivados de estas variables: tasa de Crecimiento Específico [TCE] y Factor de Condición [K]. Tanto la Conversión Alimenticia [FCA] como la mortalidad [%], al finalizar el periodo de seguimiento, también se compararon entre los tratamientos experimentales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Captura y proceso. La captura de los ejemplares de *P. clarkii* se realizó mediante trampas con carnada; se colectaron 11250 individuos, en un esfuerzo de pesca de una semana en los lagos de la empresa GENSA S. A. (Paipa – Boyacá). Los cangrejos se colocaron en contenedores con hielo y luego se transportaron hasta las instalaciones del laboratorio de Ecología Acuática, del Grupo de investigación XIUÂ, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja [UPTC], donde estuvieron almacenados a -20 °C hasta su procesamiento.

Posteriormente, los cangrejos se descongelaron a temperatura ambiente y se midieron en talla [mm] y peso [g]. Se sometieron a un baño de vapor por tres minutos para facilitar la extracción de la parte posterior del intestino, la cual se retiró halando del urópodo central o telsón. La molienda se realizó con los organismos completos por varias veces hasta obtener una masa uniforme, esta se llevó a un horno de secado a 70 °C por 26 horas hasta que el contenido de humedad se redujo a menos del 3 %. Una vez seca la masa, se efectuó una última molienda y la harina obtenida se tamizó hasta lograr un determinado tamaño de partícula [$<250 \mu\text{m}$].

Del producto final se tomaron muestras y se determinó el contenido de humedad por gravimetría, según el procedimiento 934.01 definido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), esto permitió definir la humedad final y el cálculo de aditivos; tanto para protección contra la oxidación de grasas y la degradación de vitaminas como para disminuir el riesgo de proliferación de *Salmonella*. La harina se empacó en bolsas con cierre hermético y se envió al laboratorio central de la empresa ITALCOL S. A., donde se llevó a cabo la formulación de las dietas de la fase experimental. También se realizaron análisis bromatológicos de humedad, proteína bruta, grasa total, ceniza bruta, calcio, fósforo y digestibilidad en pepsina de la harina de cangrejo conseguida [Tabla 1].

TABLA 1.
Composición proximal, contenidos de Calcio y Fósforo y
digestibilidad en Pepsina de la harina de *Procambarus clarkii*.

ANÁLISIS	CONTENIDO (%)
Humedad	1,61
Proteína cruda	35,5
Grasa total	0,56
Ceniza cruda	46,94
Calcio	16,95
Fósforo	1,18
Digestibilidad en Pepsina	74,93

Autores.

Formulación y elaboración. Se evaluaron cuatro formulaciones experimentales para alevinos de trucha arco iris, isoproteicas [50 % de Proteína Cruda] e isoenergéticas [4700 Kcal de Energía Bruta], balanceadas de acuerdo con los requerimientos nutricionales para la especie en estas primeras etapas de iniciación, según lo establece el National Research Council (NRC, 2011). Para la formulación de las dietas se utilizó, como herramienta de balanceo, el software ©ALLIX3, la cantidad final de los ingredientes en cada tratamiento se presenta en la Tabla 2. En lo que se refiere a digestibilidad, los referentes que se utilizan, por la empresa productora del alimento, corresponden a cálculos realizados siguiendo la metodología de Bureau et al. (1999), los resultados se muestran en la Tabla 3. En la tabla 4 se incluye el análisis proximal de las dietas experimentales.

TABLA 2.

Cantidad de cada ingrediente en los tratamientos experimentales (g kg^{-1} , como base seca), con niveles crecientes de inclusión de harina de *P. clarkii*.

INGREDIENTE	0% <i>P. clarkii</i> (Control)	2% <i>P. clarkii</i> (T1)	4% <i>P. clarkii</i> (T2)	6% <i>P. clarkii</i> (T3)
Harina de pescado 65 %	600,0	580,0	560,0	540,0
Arroz cristal	189,7	178,3	170,0	170,0
Harina de vísceras de pollo	68,4	79,4	77,5	66,9
Aceite de pescado	61,6	62,0	63,9	64,2
Plasma animal	50,0	50,0	50,0	50,0
Hemoglobina	20,0	20,0	28,1	42,8
Lisofosfolípidos	5,0	5,0	5,0	5,0
Premezcla vitamínica	2,6	2,6	2,6	2,6
DL Metionina 99 %	2,3	2,3	2,5	3,0
Cloruro de colina 60 %	2,0	2,0	2,0	2,0
Premezcla mineral	1,2	1,2	1,2	1,2
Sal	1,0	1,0	1,0	1,0
Atrapante de micotoxinas	1,0	1,0	1,0	1,0
Antioxidante	0,3	0,3	0,3	0,3
Harina de cangrejo rojo	0	20,0	40,0	60,0

Autores.

TABLA 3.

Coefficientes de Digestibilidad Aparente de los ingredientes de mayor inclusión en las dietas experimentales.

INGREDIENTE	CDA MS (%)	CDA CP (%)	CDA EE-EXT (%)	CDA EB-EXT (%)	CDA ALMIDÓN-EXT (%)
Harina de pescado 65%	80	90	94	88	0
Arroz cristal	84	92	85	84	85
Harina de vísceras de pollo	82	90	85	88	0
Aceite de pescado	89	0	90	90	0
Plasma animal	89	92	80	93	0
Hemoglobina	88	90	70	90	0

Autores.

CDA MS: Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Materia Seca, CDA CP: Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Proteína Cruda, CDA EE: Coeficiente de Digestibilidad Aparente del Extracto Etéreo, CDA EB-EXT: Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Energía Bruta en Dieta Extruida, CDA ALMIDÓN-EXT: Coeficiente de Digestibilidad Aparente del Almidón en Dieta Extruida.

TABLA 4.
Análisis proximal de cada una de las dietas experimentales,
con niveles crecientes de inclusión de harina de *P. clarkii*

NUTRIENTE	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)
Energía Bruta (kcal/kg)	4,627	4,604	4,589	4,598
Energía Digestible Trucha (kcal/kg)	3,991	3,962	3,939	3,934
Proteína Cruda (%)	50,0	50,0	50,0	50,0
Proteína Digestible Trucha (%)	45,3	45,1	45,1	45,0
Extracto Etéreo (%)	12,0	12,0	12,0	12,0
Fibra Cruda (%)	0,7	0,9	1,1	1,3
Cenizas (%)	13,3	14,1	14,7	15,0

Autores.

Los tratamientos experimentales se fabricaron utilizando una extrusora de tornillo sencillo ©Exteec, en el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Los pellets, obtenidos por extrusión, fueron secados en un horno con circulación abierta [55 °C x 24 h] y se les aplicó aceite de pescado por aspersión; posteriormente, se enfriaron a temperatura ambiente y almacenados en empaques sellados hasta su utilización. Para el suministro, durante los primeros 30 días se utilizó la harina proveniente de la molienda de los pellets y se pasó por un tamiz de 500 µm, en los últimos 30 días del seguimiento se utilizó el grano partido con tamaño de partícula inferior a 1 mm.

Localización y diseño experimental. La fase experimental se adelantó en las instalaciones de una granja de producción especializada en la producción de trucha arcoíris. Se ubica en el municipio de Guasca [Cundinamarca], a 60 km de la ciudad de Bogotá y los 2860 msnm, y cuenta con el río Siecha como fuente hídrica de la que se capta un caudal de 84L s⁻¹. En general, las condiciones del sitio son particularmente aptas para adelantar las etapas de incubación y alevinaje de trucha arcoíris, con temperatura del agua cercana a los 10,5 °C y niveles de oxígeno disuelto superiores al 90 % de saturación.

A través de un distribuidor certificado, se adquirió un lote de 60000 ovas embrionadas importadas desde los Estados Unidos, 100 % hembras, que habían estado desarrollándose a 240 grados día⁻¹; presentaron un diámetro medio de 4,5 mm, que equivale a 11,29 ovas mL⁻¹ y un volumen aproximado de 5474 ml para el lote completo. En el ingreso, se adelantó un proceso de aclimatación gradual a una tasa de incremento de 2 °C h⁻¹, desde 2 hasta 10 °C, y se utilizaron incubadoras de flujo vertical descendente en las que las ovas se repartieron en 12 bandejas, con una medida de 450 ml, para una cantidad aproximada de 5150 ovas en cada bandeja. La eclosión se presentó entre los días siete y diez después del ingreso, y las larvas fueron trasladadas a las canaletas cinco días después. La reabsorción se completó en 14 días, en este día el lote se distribuyó al azar en 12 canaletas de 1,3 x 0,3 x 0,25 m; cada una con un volumen útil de 90L y flujo constante de 0,3L s⁻¹. La separación en los grupos experimentales se realizó al azar, ubicando en cada unidad 350 g de biomasa; los promedios iniciales de longitud total y peso de las larvas fueron de 1,909 ± 0,1366 cm y 0,078 ± 0,0021 g respectivamente.

Con base en el porcentaje de inclusión de harina de *P. clarkii* en las dietas se establecieron los tratamientos: T1 [2 %], T2 [4 %] y T3 [6 %], además de otro tratamiento [control] al que no se le adicionó el ingrediente. Todos los tratamientos se aplicaron por triplicado, en total fueron 12 unidades experimentales, con una cantidad inicial estimada en 4500 individuos por unidad. El suministro del alimento experimental se realizó

de acuerdo con la saciedad aparente, en diez raciones diarias, cada hora durante todo el periodo. El factor de conversión alimenticia se calculó con el registro y tabulación del consumo, y el incremento en biomasa para cada intervalo de muestreo. Al finalizar el seguimiento, los peces presentes en cada canaleta se contaron. Con este dato y la mortalidad total, que fue retirada y registrada diariamente, se obtuvo el número inicial real presente en las unidades al comienzo de la etapa experimental.

Al final, para cada tratamiento se calcularon las siguientes variables: ganancia de longitud total [GLT] = Longitud promedio final–Longitud promedio inicial; ganancia de peso [GP] = Peso promedio final–Peso promedio inicial; Factor de Conversión Alimenticia, [FCA] = cantidad de alimento suministrado/incremento en biomasa; Tasa de Crecimiento Específico [TCE] = (peso final–peso inicial)/número de días*100; Factor de Condición [K] = (peso promedio/longitud promedio³)*100 y Mortalidad [%]. El seguimiento tuvo una duración de 60 días, con muestreos para la longitud total [aproximación al mm] y el peso [aproximación a 0,01 g] cada diez días. El registro de la temperatura del agua, en sala de incubación, se realizó tres veces al día [08:00 am, 12:00 m y 05:00 pm] y en cada fecha de muestreo se analizaron parámetros de oxígeno disuelto, saturación, pH y conductividad.

Análisis de datos. Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar. Posterior a la verificación del cumplimiento de los supuestos del modelo, la comparación se realizó mediante análisis de varianza de una vía y en los casos en que se presentaron diferencias significativas, estas se precisaron a través de una prueba de Tukey, con $\alpha = 0,05$ como criterio de significancia. Se presentan, con su correspondiente comparación, los datos parciales de crecimiento en longitud total y peso durante el seguimiento. Se utilizó, para los análisis, el paquete estadístico SPSS V.27 con licencia de la Universidad Nacional de Colombia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso y la longitud total promedio de los individuos de *P. clarkii*, utilizados en la fabricación de la harina, fue de 19,7 g y de 8,8 cm respectivamente. En términos de rendimiento, con base en la composición de la captura realizada en este caso, se requieren 4,6 kg de biomasa procesada [230 individuos adultos] para obtener 1 kg de harina de cangrejo. En lo referente a las condiciones de las truchas, durante las fases de incubación y reabsorción, la temperatura media en la granja fue de $10,95 \pm 0,65$ °C, [con una temperatura mínima de $10,41$ °C [8 am] y una máxima de $11,47$ °C [5 pm]]. La conductividad fue de $36,3 \pm 4,34$ $\mu\text{S cm}^{-1}$; el pH, $7,29 \pm 0,06$; y el oxígeno disuelto, $7,88 \pm 0,5$ mg L^{-1} [> 90 % de saturación]. Estos valores en el agua se encuentran dentro de los límites considerados adecuados para esta etapa de producción.

El acumulado de mortalidad fue del 3,61 % en incubación y del 2,17 % en reabsorción, que están dentro de los rangos que se tienen en las condiciones del sitio. La aceptación de las dietas, por parte de los alevinos, fue aparentemente normal durante todo el seguimiento, lo que sugiere que no hubo incidencia en el consumo asociada a los diferentes niveles de inclusión de la harina. Durante el periodo tampoco se presentaron síntomas de enfermedad ni mortalidades atípicas, por lo que no se aplicó tratamiento alguno. Al comienzo de la alimentación experimental se detectaron diferencias en la longitud total de los alevinos entre los tratamientos; estas diferencias no fueron estables, ya que el esquema se fue modificando a través del tiempo con variaciones en los diferentes tratamientos (Tabla 5). Por el contrario, en el peso se mantuvo igualdad estadística entre los tratamientos durante todo el periodo experimental (Tabla 6).

TABLA 5.
Registros de crecimiento en longitud total de alevinos de trucha arco iris (cm) durante el periodo experimental

DÍA	TRATAMIENTOS			
	2% <i>P. clarkii</i> (T1)	4% <i>P. clarkii</i> (T2)	6% <i>P. clarkii</i> (T3)	0% <i>P. clarkii</i> (Control)
1	2,33±0,10 a	2,34±0,10 a	2,37±0,10 b	2,37±0,11 b
10	2,93±0,18 bc	2,94±0,18 c	2,87±0,17 a	2,89±0,19 ab
20	3,40±0,22 bc	3,36±0,22 ab	3,33±0,22 a	3,43±0,23 c
30	3,88±0,29 ab	3,97±0,28 c	3,83±0,28 a	3,93±0,30 bc
40	4,45±0,36 a	4,54±0,33 b	4,44±0,39 a	4,57±0,31 b
50	5,21±0,35 a	5,31±0,36 b	5,21±0,42 a	5,32±0,35 b
60	5,86±0,45 a	5,97±0,42 ab	5,91±0,53 ab	5,99±0,44 b

Autores.

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas entre filas.

TABLA 6.
Registros de crecimiento en peso (g) de alevinos de trucha arco iris durante el periodo experimental

DÍA	TRATAMIENTOS			
	2% <i>P. clarkii</i> (T1)	4% <i>P. clarkii</i> (T2)	6% <i>P. clarkii</i> (T3)	0% <i>P. clarkii</i> (Control)
1	0,14±0,00	0,14±0,01	0,14±0,00	0,14±0,00
10	0,21±0,01	0,22±0,01	0,20±0,01	0,21±0,01
20	0,35±0,09	0,37±0,02	0,34±0,01	0,36±0,01
30	0,60±0,01	0,62±0,04	0,57±0,00	0,62±0,02
40	0,96±0,026	0,99±0,05	0,98±0,03	1,03±0,07
50	1,61±0,08	1,65±0,06	1,65±0,09	1,68±0,13
60	2,46±0,13	2,56±0,20	2,62±0,34	2,60±0,32

Autores.

En general, como se muestra en la tabla 7, los registros de los parámetros de desempeño evaluados y comparados indican un comportamiento equivalente entre los tratamientos; por lo que, en este caso, y teniendo en cuenta la forma del proceso, las restricciones y las condiciones de formulación, parece que la inclusión de hasta un 6 % de harina del cangrejo rojo, como ingrediente en un concentrado destinado a la iniciación de las truchas, es factible. Es decir, el comportamiento en el alevinaje temprano fue equivalente, en parámetros de desempeño, tanto para los tratamientos experimentales como para el control. Las tasas de crecimiento observadas en longitud total [aprox. 0,06 mm día⁻¹] y en peso [aprox. 0,04 g día⁻¹] corresponden a un desarrollo consecuente con lo que se espera de alevinos de trucha, mantenidos a la temperatura en la cual se adelantó el trabajo experimental (Klontz, 1991).

TABLA 7.
Resumen de los parámetros de desempeño en alevinos de trucha arco iris para cada uno de los diferentes tratamientos experimentales

	TRATAMIENTOS			
	2% <i>P. clarkii</i> (T1)	4% <i>P. clarkii</i> (T2)	6% <i>P. clarkii</i> (T3)	0% <i>P. clarkii</i> (Control)
Longitud inicial (cm)	2,33±0,10 a	2,34±0,10 a	2,37±0,10 b	2,37±0,11 b
Longitud final (cm)	5,87±0,45 a	5,97±0,42 ab	5,91±0,53 ab	5,99±0,44 b
Crecimiento en longitud (cm)	3,54±0,09	3,63±0,12	3,54±0,26	3,62±0,19
Peso inicial (g)	0,141±0,01	0,140±0,01	0,149±0,01	0,14±0,01
Peso final (g)	2,46±0,13	2,56±0,20	2,62±0,34	2,60±0,32
Crecimiento en peso (g)	2,31±0,13	2,42±0,20	2,47±0,34	2,45±0,32
Tasa de Crecimiento Específico (%)	2,47±0,051	2,51±0,06	2,51±0,14	2,50±0,12
Factor de Condición (K)	1,21	1,20	1,26	1,20
Factor de Conversión Alimenticia	0,85±0,10	0,80±0,05	0,94±0,073	0,78±0,10
Mortalidad (%)	15,32±3,74	14,53±3,91	15,87±3,15	13,22±3,03

Autores

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas entre filas.

La menor longitud final de los peces con T1 [inclusión de harina del 2 %] no guarda correspondencia con los pesos finales, que fueron iguales para todos los tratamientos; la recuperación en la condición [K] que se manifestó para este tratamiento en particular explica el resultado. Más aún, K fue equivalente en todos los tratamientos con un valor mayor, pero sin ser significativo en el caso de la inclusión del 6 % de harina de cangrejo [T3], en este tratamiento también se presentó la peor conversión de alimento [valor más alto]. Los registros de K superiores a 1 están indicando pesos mayores a los que, para la especie, corresponden con las longitudes promedio registradas (Klontz, 1991); estos resultados se explican por la práctica de alimentación a saciedad que se estableció para el seguimiento y que, sin embargo, no tuvo incidencia en las conversiones observadas, todas menores a 1, lo que es normal para esta fase temprana. De forma indirecta, también indica una formulación adecuada de los tratamientos experimentales utilizados.

En estudios con tilapias [*Oreochromis niloticus*] se confirma una relación directa entre la ingesta y el nivel de inclusión de harina de *P. clarkii*, con una disminución general de los indicadores de desempeño conforme se incrementa el porcentaje de incorporación de la harina (El-Rahman & Badrawy, 2007; Hamdi, 2011). Estos resultados se pueden asociar tanto a los elevados contenidos de ceniza que afectan de forma adversa la digestibilidad de las dietas para peces como a la presencia de quitina, la cual es un polisacárido de baja digestión que, en las harinas de crustáceos, puede alcanzar niveles del 50 al 80 % (Romero et al., 2010); también parece causar una disminución de la cantidad de lípidos disponibles, pues estos se ligan a la quitina en el tracto digestivo y reducen la absorción de los nutrientes (Cheng et al., 2022). Lo anterior causa un desbalance en la energía disponible que podría, en contraposición, generar un mayor consumo de alimento por los peces como compensación, explicando las variaciones en el factor de condición (Romero et al., 2010). En el 6 %, porcentaje máximo de inclusión de harina que se utilizó, y hasta los 6 cm de longitud total, no se reflejó un efecto deletéreo en los alevinos de trucha, al menos sobre los parámetros de desempeño evaluados.

Es común que, en los referentes de calidad nutricional, se registren variaciones en la composición de la harina de cangrejo, lo que se relaciona principalmente con estas variables: la forma en la que se procesa, la parte del organismo que es finalmente utilizada para elaborar la harina, el origen de los individuos usados para extraer la harina y la época en la que se realiza la captura. Se reportan estudios en los que se ha encontrado un rango amplio de proteína en la harina de cangrejo: Zaglol & Eltadawy (2009), con datos de 13,88 %; El-Sherif & Abd El-Ghafour (2015), 15,22 %; Pérez-Gálvez et al. (2008), entre 28,87 % y 35 %; El-Rahman & Badrawy (2007), 33,13 %; Hamdi (2011); y 42,24 %, Romero et al. (2010). el 35,5 % determinado en este trabajo se encuentra en la parte superior del rango.

Se mencionó que, por el valor en el mercado, el *P. clarkii* se comercializa principalmente entero y para consumo directo; ya sea en actividades de producción acuícola o por captura en el ambiente. Se tienen industrias consolidadas para la producción de este cangrejo, incluso hay zonas en las que la introducción de esta especie ha derivado en problemas de tipo ambiental, lo que es reflejo de la importante producción mundial anual del crustáceo (FAO, 2020).

De forma adicional, el procesamiento del cangrejo rojo genera subproductos que se emplean como ingredientes suplementarios para la alimentación animal en sistemas de producción, incluyendo la acuicultura, ya que es una fuente de proteína, astaxantina y quitina (Cremades et al., 2003; Pérez-Gálvez et al., 2008; Cheng et al., 2021). Las evaluaciones en diferentes especies de peces indican que la harina de cangrejo es una alternativa factible para el reemplazo parcial de la harina de pescado, aun cuando se establecen limitantes cuando los porcentajes de inclusión de esta son elevados (Pulcini et al., 2021). Estas restricciones se relacionan con los altos contenidos de ceniza que tiene el producto cuando la molienda se efectúa sobre ejemplares completos, los cuales pueden ser del 49,74 % (Abd et al., 2019), del 33 al 43,7 % (El-Rahman & Badrawy, 2007) y del 30,69 % (Romero et al 2010). Estos porcentajes son similares al 46,94 % de cenizas encontrado en este caso.

Para *O. niloticus*, El-Sherif & El-Ghafour (2015) y Abd et al. (2019) coinciden en que reemplazos del 25 % y del 50 % de harina de pescado por harina de cangrejo son viables sin afectación de los peces en términos de crecimiento, utilización del alimento y condición general; en comparación con alimentos cuya fuente proteica se basa exclusivamente en harina de pescado. Romero et al. (2010), para el caso de *P. pagrus*, probaron niveles de inclusión de harina de cangrejo del 10 y del 20%, en contraste con un control en el que la fuente proteica fue harina de pescado, con resultados equivalentes a los controles hasta una incorporación del 10 %. En carpa común, *Cyprinus carpio*, Cheng et al. (2021), con un nivel de reemplazo de un 25 %, registraron una ganancia en peso superior a la obtenida con la harina de pescado en un seguimiento de 8 semanas. Con estos resultados parece confirmarse que, más que la calidad del producto, las limitaciones para alcanzar mayores niveles de reemplazo parecen estar centradas en los elevados contenidos de ceniza que se generan cuando la harina es obtenida de ejemplares enteros. En general, para los casos evaluados, los autores coinciden en el potencial de este tipo de harinas como reemplazo de las de pescado, en alimentos para peces. Para alevinos

de trucha, con la inclusión de un 6 % no se manifiestan resultados diferenciales en crecimiento respecto al tratamiento control, los indicadores de desempeño fueron equivalentes entre los tratamientos, al menos hasta los 6 cm de longitud total.

4. CONCLUSIONES

En concreto, Desde una perspectiva amplia, los resultados indican la harina de *P. clarkii* es una alternativa viable para ser utilizada como ingrediente en la formulación de alimento para etapas tempranas del desarrollo de truchas. El elevado contenido de cenizas de esta harina es una importante limitación al nivel de inclusión, por lo que el balanceo de las dietas de iniciación solo permitió utilizarla hasta un 6%; con este nivel los parámetros de crecimiento de alevinos hasta talla de distribución fueron equivalentes a los del grupo control. Una consecuencia indirecta de la evaluación está dada en la ampliación del espectro de utilización del cangrejo rojo. La captura, con fines de obtención de harina, puede generar estímulos para la extracción por pesca como mecanismo de control para disminuir los posibles impactos asociados a su propagación.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado en el marco del proyecto de investigación “Uso del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en la formulación de dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y como mecanismo para el aprovechamiento y control de una especie invasora” [código 66096], financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC] y con recursos de regalías del departamento de Boyacá, a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia (Minciencias), por medio del contrato de financiación de recuperación contingente No. 80740-559-2019. Este contrato contó con el apoyo técnico y científico de la Universidad Nacional de Colombia, la empresa Italcol S. A., la Fundación Neotropical y Corpoboyacá.

Los autores agradecemos a los integrantes del grupo del grupo de investigación XIUÂ de la UPTC: C. Sarmiento, C. Romero, S. Fernández, F. Silva, F. Galán, K. Téllez, L. Reyes, C. Vargas y C. Neira por su apoyo en campo. También agradecemos a Z. Ojeda, C. Duarte y N. Menjura, funcionarias de Corpoboyacá, por su apoyo técnico y logístico.

LITERATURA CITADA

- Abd, F. K., El Deeb, R. M., Saad, A. S. & Abd, F. A. A. (2019). Effect of partial or total replacement of fish meal with *Procambarus clarkii* by-product meal in *Oreochromis niloticus* diets. The Egyptian Journal of Experimental Biology (Zoology), 15(2), 277-288. <https://doi.org/10.5455/egyseb.20191209062931>
- Anastacio, P. M., Leitao, A. S., Boavida, M. J., Correia, A. M. (2009). Population dynamics of the invasive crayfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) at two marshes with differing hydroperiods. International Journal of Limnology, 45(4), 247-256. <https://doi.org/10.1051/limn/2009025>
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist.
- Baptiste, M.P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez F. P., Gil, D. L., Lasso, C. A. (2010). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Bureau, D. P., Harris, A. M., Cho, C. Y. (1999). Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 180(3-4), 345-358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00210-0)

- Cheng, X. F., Wu, H., Gao, J. W., Xiang, J., Liu, L., Li, S. M., Li, C. W. & Song, R. (2021). Effect of dietary replacement of fish meal protein with crawfish shell meal (*Procambarus clarkii*) on the growth performance, digestive enzyme activity and anti-oxidative capacity of Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. color). *Journal of Applied Ichthyology*, 37(4), 585-592. <https://doi.org/10.1111/jai.14202>
- Cheng, X., Xiang J., Tian, J., Tian, X., Wu, H., Yuan, X., He, Z., Xie, M. & Song, R. (2022). Effects of varying levels of crawfish (*Procambarus clarkia*) shell meals on growth, fillet quality, and health of koi carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 564. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739030>
- Conde, A. & Domínguez, J. (2015). Proposal for the Feasible Exploitation of the Red Swamp Crayfish *Procambarus Clarkii* in Introduced Regions. *Conservation Letters*, 8(6), 440–448. <https://doi.org/10.1111/conl.12164>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2018). Plan de Prevención, Control y Manejo (PPCM) del Cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b90329b881a7.pdf>
- Cremades, O., Parrado, J., Alvarez-Ossorio, M. C., Jover, M., Collantes, L., Gutiérrez, J. F. & Bautista, J. (2003). Isolation and characterization of carotenoproteins from crayfish (*Procambarus clarkii*). *Food Chemistry*, 82(4), 559-566. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00011-6)
- Dallaire, V., Lessard, P., Vandenberg, G. & De La Noüe, J. (2007). Effect of algal incorporation on growth, survival and carcass composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Bioresource Technology*, 98(7), 1433–1439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.043>
- Elmossalami, M. K. & Emara, M. T. (1999). Safety and quality of fresh water crayfish *Procambarus clarkii* in the river Nile. *Molecular Nutrition & Food Research*, 43(2), 126-128.
- El-Rahman, A. A. & Badrawy, N. A. (2007). Evaluation of using crayfish (*Procambarus clarkii*) as partial or complete replacement of fish meal protein in rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 11(3), 31-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.21608/EJABF.2007.1949>
- El-Sherif, S. A. E. & Abd, S. (2015). Nutritive value of canned River Nile Crayfish (*Procambarus clarkii*) products. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 41(3), 265-272. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.06.002>
- Flórez-Brand, P. E., y Espinosa-Beltrán, J. O. (2011). Presencia y dispersión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) (*Decapoda: Cambaridae*) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2), 57-62. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/252>
- Gherardi, F. (2006). Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkia*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39(3), 175-191. <https://doi.org/10.1080/10236240600869702>
- Hamdi, S. A. (2011). Muscle and exoskeleton extracts analysis of both fresh and marine crustaceans *Procambarus clarkii* and *Erugosquilla massavensis*. *African journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(13), 1589-1597. <https://doi.org/10.5897/ajpp11.360>
- Hodar, A. R., Vasava, R. J., Mahavadiya, D. R. & Joshi, N. H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *Journal of Experimental Zoology*, 23(1), 13-21.
- Klontz, G. W. (1991). A manual for rainbow trout production on the family-owned farm. Thomas Nelson & Sons.
- Lodge, D. M., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D. C., Arcella, T., Baldrige, A. K., Barnes, M. A., Chadderton, W. L., Feder, J. L., Gantz, C. A., Howard, G. W., Jerde, C. L., Petters, B. W., Peters, J. A., Sargent, L. W., Turner, C. R. Wittman, M. E. & Zeng, Y. (2012). Global introductions of crayfishes: evaluating the impact of species invasions on ecosystem services. *Annual review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 449-472. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-111511-103919>
- National Research Council [NRC]. (2011). Nutrient Requirements of fish and shrimp. National Academies Press.
- Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., Klose, K., Kawai, T. & Lejeune, C. (2019). Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshwater Biology*, 64(8), 1382-1400. <https://doi.org/10.1111/fwb.13312>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. [2020]. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación Y la Agricultura [FAO]. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Pérez-Gálvez, A., Negro-Balmaseda, J. J., Mínguez-Mosquera, M. I., Cascajo-Almenara, M. V. & Garrido-Fernandez, J. (2008). Astaxanthin from crayfish (*Procambarus clarkii*) as a pigmentary ingredient in the feed of laying hens. *Grasas y aceites*, 59(2), 139-145. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i2.502>
- Pulcini, D., Capoccioni, F., Franceschini, S., Martinoli, M., Faccenda, F., Secci, G., Perugini, A., Tibaldi, E. & Parisi, G. (2021). Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans. *Aquaculture*, 543. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736989>
- Romero, J., Kalinowski C. T. H., Izquierdo, M. S. L. & Robaina, L. E. R. (2010). Marine and freshwater crab meals in diets for red porgy (*Pagrus pagrus*): effect on growth, fish composition and skin colour. *Aquaculture Research*, 41(12), 1759-1769. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02476.x>
- Souty-Grosset, C., Anastácio, P. M., Aquiloni, L., Banha, F., Choquer, J., Chucholl, C. & Tricarico, E. (2016). The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologica*, 58, 78-93. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.03.003>
- Zaglol, N. F. & Eltadawy, F. (2009). Study on chemical quality and nutrition value of fresh water crayfish (*Procambarusclarkii*). *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 4(1), 1-18.

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/6154> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/6154/6113> (pdf)