

Manejo y control de
Procambarus clarkii
EN EL PARQUE CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR



Si al Simón Bolívar voy.
¡CARBONO 
NEUTRO SOY!



IDRD

BOGOTÁ 

Instituto Distrital de Recreación y Deporte- IDRD
ISBN 978-628-7605-01-5

Alcaldesa Mayor de Bogotá
Claudia López

Secretaria de Cultura, Recreación y Deporte
Catalina Valencia

Blanca Durán
Directora IDRD

Subdirector Técnico de Parques
Javier Suarez

**MANEJO Y CONTROL DE *Procambarus clarkii* EN EL PARQUE
CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR**

Editora: Patricia Bejarano M.

Autores:
Patricia Bejarano M.
Nancy Elena Burgos Ortiz

Fotografías:
Claudia Ruiz
María Camila Sarmiento
Nancy Burgos

Cartografía:
Nancy Burgos

Equipo de trabajo
Patricia Bejarano M.
Nancy Elena Burgos Ortiz
Margo García
Adriana Triviño

Apoyo en campo
Jorge Roper

Coordinación editorial CI: Oficina Asesora de Comunicaciones IDRD
Corrección ortotipográfica: Oficina Asesora de Comunicaciones IDRD
Diseño y diagramación: Oficina Asesora de Comunicaciones IDRD

Primera edición, 2023.
ISBN: 978-628-7605-01-5

Citación sugerida

Bejarano, P. (ed). (2023). Manejo y control de *Procambarus clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar. Bogotá.



MANEJO Y CONTROL DE LA ESPECIE INVASORA *Procambarus clarkii* EN EL PARQUE CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR

a. Introducción

En la actualidad, se ha registrado la presencia de una especie invasora conocida comúnmente como cangrejo rojo californiano (*Procambarus clarkii*) en los ecosistemas y elementos de la Estructura Ecológica de Bogotá D.C. que tienen sistemas acuáticos lénticos como lagos y humedales. Esta especie invasora, perteneciente al grupo de los crustáceos, es de difícil manejo y control, y su presencia se ha confirmado en varios de los escenarios administrados por el Instituto Distrital de Recreación y Deporte - IDRD, incluyendo los lagos de los parques Simón Bolívar, El Tunal y Timiza, donde está generando importantes afectaciones a la biodiversidad presente, así como a las estructuras y equipos instalados para el adecuado funcionamiento de los lagos.

Procambarus clarkii tiene una estrategia de crecimiento "r", que consiste en una vida corta, cuerpo pequeño, crecimiento rápido, maduración temprana, elevado número de crías y más de tres ciclos reproductivos por año. Es un gran depredador de la fauna acuática nativa y genera una alta contaminación debido principalmente a la gran cantidad de biomasa que luego de los procesos de captura y sacrificio, producen altas emisiones de gases efecto invernadero por los procesos de descomposición. Sin embargo, estudios adelantados en diferentes partes del mundo que tienen esta problemática, así como algunas investigaciones llevadas a cabo en Colombia, han evidenciado las altas potencialidades que podría tener esta biomasa por su alto valor nutricional.

En el mes de octubre de 2021, la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA expidió la Resolución N.º 03919, mediante la cual se adoptó el **Protocolo Para el Manejo y Control Poblacional de la Langostilla de Río (*Procambarus clarkii*)** y la prevención de su propagación en Bogotá D.C. En este protocolo, se insta a las entidades encargadas del mantenimiento y administración de los parques del distrito a implementar las acciones allí descritas, para el manejo y control poblacional de esta especie en los parques distritales que contienen cuerpos de agua y donde se reporte su presencia. Adicionalmente, en enero de 2023, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la Resolución 0067 de 2023, incluyó al cangrejo rojo dentro de la lista de especies invasoras y adoptó el "Plan para la Prevención, el Manejo y Control en el Territorio Nacional de la especie *Procambarus clarkii*".

Como aporte al conocimiento de la especie y en cumplimiento de la Resolución N.º 03919 expedida por la SDA y la Resolución N.º 0067 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la presente publicación contiene los resultados obtenidos por parte del IDR D durante tres años de trabajo, para el manejo y control del cangrejo rojo americano, que ha permitido:

1. Tener una aproximación a la biología y ecología de la especie invasora *Procambarus clarkii* en los parques distritales de Bogotá D.C. (Cartilla 1).
2. Caracterizar el estado actual de la población de *Procambarus clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar (Cartilla 2).
3. Estandarizar un procedimiento que permite aplicar el protocolo para el manejo y control de *Procambarus clarkii*, elaborado por la SDA, en los ecosistemas lacustres de Bogotá D.C. (Cartilla 3).
4. Obtener harinas a partir de biomasa resultante del manejo y control libre de patógenos con caracterización de calidad nutricional para posibles usos potenciales (Cartilla 4).

Este último aspecto es de gran relevancia para avanzar en las posibles formas de aprovechamiento de esta biomasa, y para disminuir las cargas de contaminación que se generan por incineración o los demás métodos de manejo de la biomasa propuestos. Se plantea crear un ciclo cerrado de manejo de la materia orgánica, mediante tratamientos adecuados a los individuos capturados. Esto ha mostrado ser una estrategia efectiva para el manejo y control de otras especies invasoras como el pez león (*Pterois volitans*), que en la actualidad se utiliza para el consumo humano, dado que se ha fomentado su pesca y esto está contribuyendo a la disminución de sus poblaciones.

Lo anterior se adelanta en consonancia con el numeral 6.2.3. del Protocolo para el manejo y control poblacional de la langostilla de río (*Procambarus clarkii*), en el cual se aclara que “no está permitido el aprovechamiento de ningún tipo, hasta tanto la evidencia científica demuestre que el uso para consumo o agroindustrial de los individuos presentes en estado libre en Bogotá no genera riesgos ambientales o sanitarios para las personas y otros animales. Lo anterior, no excluye del trámite y obtención de los permisos ambientales, sanitarios y otros a que haya lugar”.

La presente publicación está estructurada en cinco cartillas; en la cartilla uno, se hace una aproximación a la biología y ecología de la especie; en la cartilla dos, se incluye la caracterización del estado actual de la población presente en el parque central Simón Bolívar. En la cartilla tres se describe el procedimiento detallado que, en virtud del protocolo expedido por la SDA, se viene realizando para el manejo y control de la langostilla de río; en la cartilla cuatro se presentan los resultados preliminares de la calidad sanitaria y nutricional de las harinas obtenidas de la biomasa de *P. clarkii*, que evidencian su potencialidad de aprovechamiento como materia prima en procesos de compostaje para producción de abono orgánico o como complemento alimenticio para mascotas. Finalmente, en la cartilla cinco, se presentan las referencias bibliográficas que complementan esta publicación y que fueron utilizadas para su producción.

1. APROXIMACIÓN A LA BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA ESPECIE INVASORA *Procambarus clarkii* EN LOS PARQUES DISTRITALES DE BOGOTÁ

1.1. Generalidades de la especie

Los crustáceos pertenecen a uno de los grupos de artrópodos con mayor éxito biológico (García et al., 2012). Los astacidae o cangrejos de río, también llamados cangrejos de agua dulce, son crustáceos decápodos representados por más de 300 especies distribuidas por todo el mundo. En el caso de Colombia, hay un número considerable de especies gracias a la diversidad de hábitats que existen a lo largo del territorio nacional, donde se pueden encontrar condiciones cruciales para su establecimiento (Lemaitre y Álvarez, 1992, citado en Pedroza, 2017).

Los decápodos desempeñan un papel crucial en los ecosistemas marinos y dulceacuícolas, pues son un recurso que es utilizado por muchos otros animales para alimentarse o relacionarse ecológicamente (Sánchez et al., 2007). Otra razón que les otorga un grado de importancia es el uso que le atribuye el ser humano, ya que son empleados como una fuente económica a partir de su utilidad gastronómica (Gherardi y Panov, 2006).

El cangrejo rojo americano *P. clarkii* pertenece a la familia Cambaridae. Es una especie originaria de las regiones centro-meridionales de los Estados Unidos y del noroeste de México (M. López, 2006), que además está presente en zonas septentrionales, donde ocupa masas de agua poco profundas que pueden estar sometidas a fuertes fluctuaciones de nivel (Huner y Barr, 1984). Por fuera de esta distribución, *P. clarkii* se considera una especie invasora que genera grandes afectaciones en los ecosistemas en donde se establece, y se le considera responsable de la desaparición a gran escala de especies nativas, lo que causa graves impactos a los ecosistemas acuáticos debido a su acelerado ciclo de vida, alta capacidad de dispersión, habilidad para excavar y construir cárcavas y mantener altas densidades de población (Souty-Grosset et al., 2016).

En Colombia, su introducción se registró en 1985 y fue permitida mediante la expedición de un registro sanitario como especie experimental para cultivo con fines comerciales en el Valle del Cauca (Pachón y Valderrama, 2018; Valencia et al., 2012). Sin embargo, después de presentarse una fuga accidental de individuos, estos se dispersaron por los municipios de Palmira, Jamundí, Santiago de Cali, Guacarí, Yotoco y Guadalajara de Buga, y cuencas del río Cauca (Flórez-Brand y Espinoza-Beltrán, 2011). En el año 2004, ya se registraba en la sabana de Bogotá (Campos, 2005) y desde el año 2008 en la laguna de Fúquene y el área de influencia del río Suárez (Pachón, 2017; Valencia et al., 2012).

En épocas más recientes, se vienen generando alertas sobre la creciente presencia de poblaciones de *P. clarkii*, particularmente en Cundinamarca y Boyacá (Pachón y Valderrama, 2018) y desde el año 2017 se ha registrado con preocupación en los humedales de Bogotá y en los lagos artificiales de los parques recreativos a cargo del IDRD.

Las grandes afectaciones que genera *P. clarkii* han provocado que en Europa sea considerada como la especie que más alto riesgo ocasiona en los ecosistemas lacustres. Esta clasificación de alto riesgo se ha sustentado en tres aspectos: (1) alta capacidad de excavar zonas litorales, generando afectaciones devastadoras a los sistemas de drenaje; (2) es una plaga que acaba con los cultivos en áreas de humedales como el arroz, y (3) se considera una amenaza para los procesos de restauración en humedales (Souty-Grosset et al., 2016).

En Colombia, son muy pocos los estudios sobre esta especie y no se contaba con experiencias prácticas y documentadas sobre la forma de llevar a cabo procesos de manejo y control. Por esta razón, el IDRD inició en 2020 un proceso que ha permitido aproximarse a entender el comportamiento de *P. clarkii* en el contexto de Bogotá y, a partir de esto, proponer la mejor estrategia procedimental para el manejo, control y potencial aprovechamiento de la biomasa resultante luego de su captura.

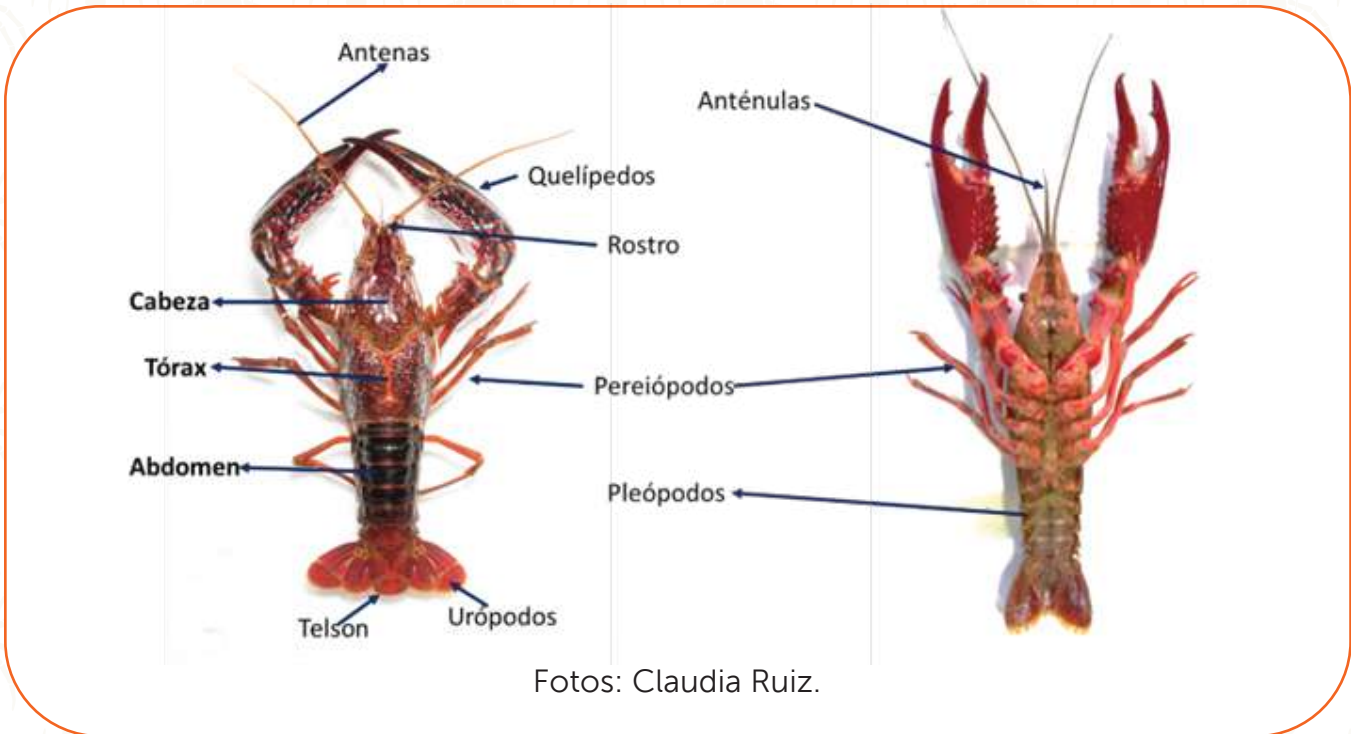
1.2. Clasificación taxonómica y morfología

Procambarus clarkii fue descrita como especie por Girard en 1852, y su ubicación dentro del sistema taxonómico es la siguiente:

Reino	Animal
Rama	Artrópodos
Clase	Crustácea
Subclase	Malacostraca
Superorden	Eucarida
Orden	Decápoda
Familia	Astacidae
Género	Procambarus
Especie	Procambarus clarkii
Nombre común	Cangrejo de río americano, langostilla de río

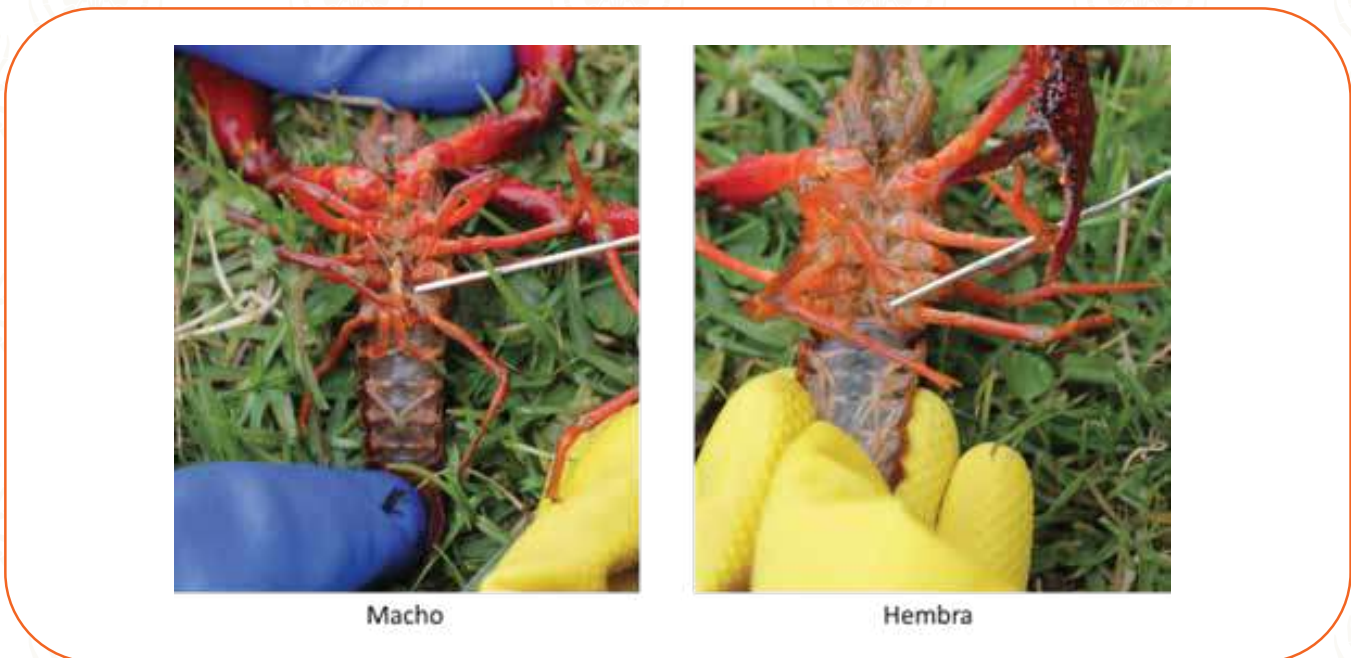
Morfológicamente, la langostilla de río presenta las características que se ilustran en la figura 1.

Figura 1. Morfología de *P. clarkii*



P. clarkii presenta un claro dimorfismo sexual representado en la modificación anatómica en los machos, del primer y segundo par de pleópodos, como órgano copulador (figura 2).

Figura 2. Dimorfismo sexual en *P. clarkii*



1.3. *Ciclo de vida y hábitos de crecimiento*

Para ilustrar el ciclo de vida de la especie, se tomó como base la información que se extrajo de la revisión de literatura, la cual se corroboró con observaciones de campo efectuadas en el lago del Simón Bolívar.

Tal como se muestra en la figura 2, en esta especie hay un claro dimorfismo sexual, ya que los machos presentan el primer par de pleópodos modificados en dos órganos copuladores, con los que deposita el esperma en un receptáculo seminal que se encuentra en los pereiópodos de las hembras, en el que puede permanecer viable durante varios meses o hasta que la hembra haga una muda (Mingorance y Gómez, 2003). Este dimorfismo sexual es fácilmente perceptible desde muy temprana edad, y se observa en ejemplares que alcanzan una talla aproximada de 3,5 cm.

De acuerdo con Gómez (2014), para que sea efectiva la cópula, los machos deben ser del mismo tamaño o ligeramente más grandes que las hembras, ya que este debe cogerla y virarla, con el fin de dejarla en posición ventral. Es frecuente, después de una cópula o de un intento, que uno o ambos ejemplares resulten con mutilación de alguno de sus apéndices. Semanas antes de que la hembra vaya a hacer la puesta, aparecen en la cara ventral de su abdomen unas "marcas de puesta", que consisten en manchas de color blanquecino (Mingorance y Gómez, 2003). Para el desove, la hembra se tumba sobre uno de sus costados y con movimientos del abdomen va expulsando los huevos de los oviductos, y fecundándolos con el esperma que tenía retenido. En un primer momento, los huevos están sueltos, por lo que bastaría cualquier alteración pequeña para que la puesta se pierda. La hembra segrega una sustancia pegajosa a través de unas glándulas situadas en el lado ventral de los segmentos abdominales que, en poco tiempo, hace posible que los huevos fecundados queden adheridos a los pleópodos o apéndices abdominales. Una vez que la puesta está adherida a su cuerpo, la hembra busca un refugio, prácticamente no se alimenta, y muestra una conducta muy agresiva cuando otros ejemplares se acercan. Durante el periodo de incubación, la hembra airea y mueve los huevos fecundados con movimientos del abdomen y del urópodo. Además, los huevos van cambiando de color a medida que se van desarrollando (Campos, 2005).

De acuerdo con las observaciones hechas en el lago del Simón Bolívar, las hembras permanecen con los huevos adheridos en el abdomen por aproximadamente cuatro semanas. A lo largo de este tiempo, la coloración de los huevos pasa de morado oscuro a una tonalidad naranja. Posteriormente, eclosionan las larvas, que conservan la morfología propia de los adultos (desarrollo epimórfico). El cuidado parental se extiende durante un tiempo, en el que la hembra conserva sus larvas adheridas al abdomen para disminuir la tasa de mortalidad en las primeras semanas de desarrollo (figura 3).

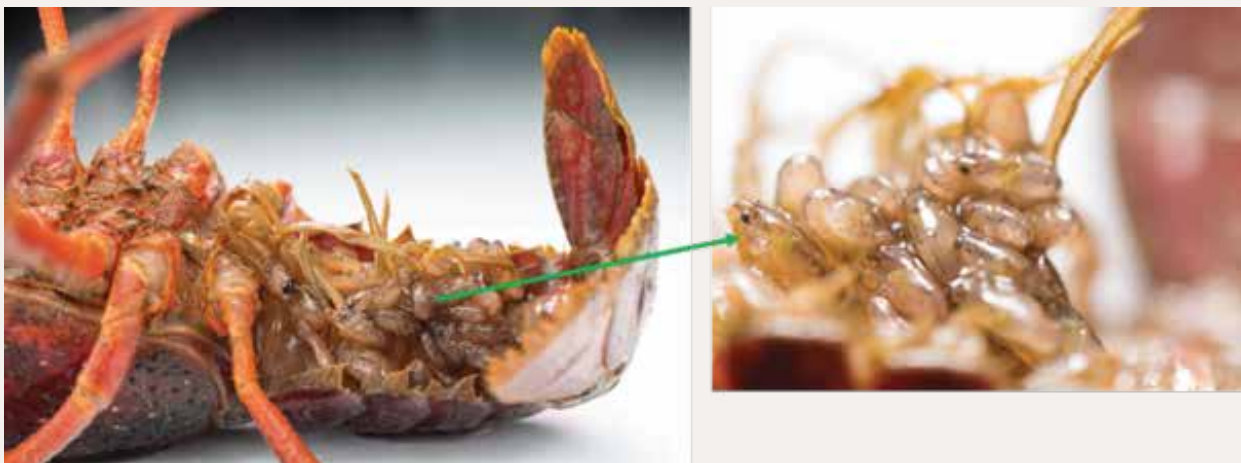
Figura 3. Hembras con postura adherida en su abdomen



b. Huevos inmaduros. Fotos: Claudia Ruiz.



c. Huevos maduros. Foto: tomada con estereoscopio por Nancy Burgos.



d. Crías adheridas al abdomen de la madre.
Foto izquierda: Claudia Ruiz. Foto derecha: Camila Sarmiento.

El tiempo que tardan en eclosionar los huevos es variable, y depende básicamente de la temperatura. De acuerdo con la literatura, y teniendo en cuenta la temperatura media del agua en la zona litoral del lago del Simón Bolívar (alrededor de 19 °C), se estima que los huevos eclosionan entre 20 y 30 días. Una vez lo hacen, las crías permanecen unos días en el abdomen de la madre y luego buscan refugio rápidamente, pues, de lo contrario, son devoradas por ella. Una madre puede poner entre 200 a 400 huevos de acuerdo con su tamaño. Esto se pudo corroborar al contabilizar los huevos adheridos en el abdomen de una hembra de 18 gramos (el peso promedio de un adulto es de 36 g), en el que se registraron 222 (figura 4).

Según Gómez (2014), la mortalidad observada después de la eclosión es muy alta, hasta del 70 % en condiciones de cautiverio, lo que también se evidenció experimentalmente al llevar al laboratorio dos hembras con huevos, en las que se observaron muy pocas larvas después de un mes de maduración. El desarrollo larvario tiene lugar en el interior del huevo, del que nacen las crías totalmente formadas, aunque existe una clara diferencia de coloración entre los neonatos, los juveniles y los ejemplares adultos tal como se ilustra en la figura 5.

Figura 4. Conteo de huevos adheridos en el abdomen de una hembra de aproximadamente 18 g



Figura 5. Diferenciación en la coloración de críos, juveniles y adultos



Críos de 5 y 7mm de longitud total



Juvenil de 5 cm de longitud total

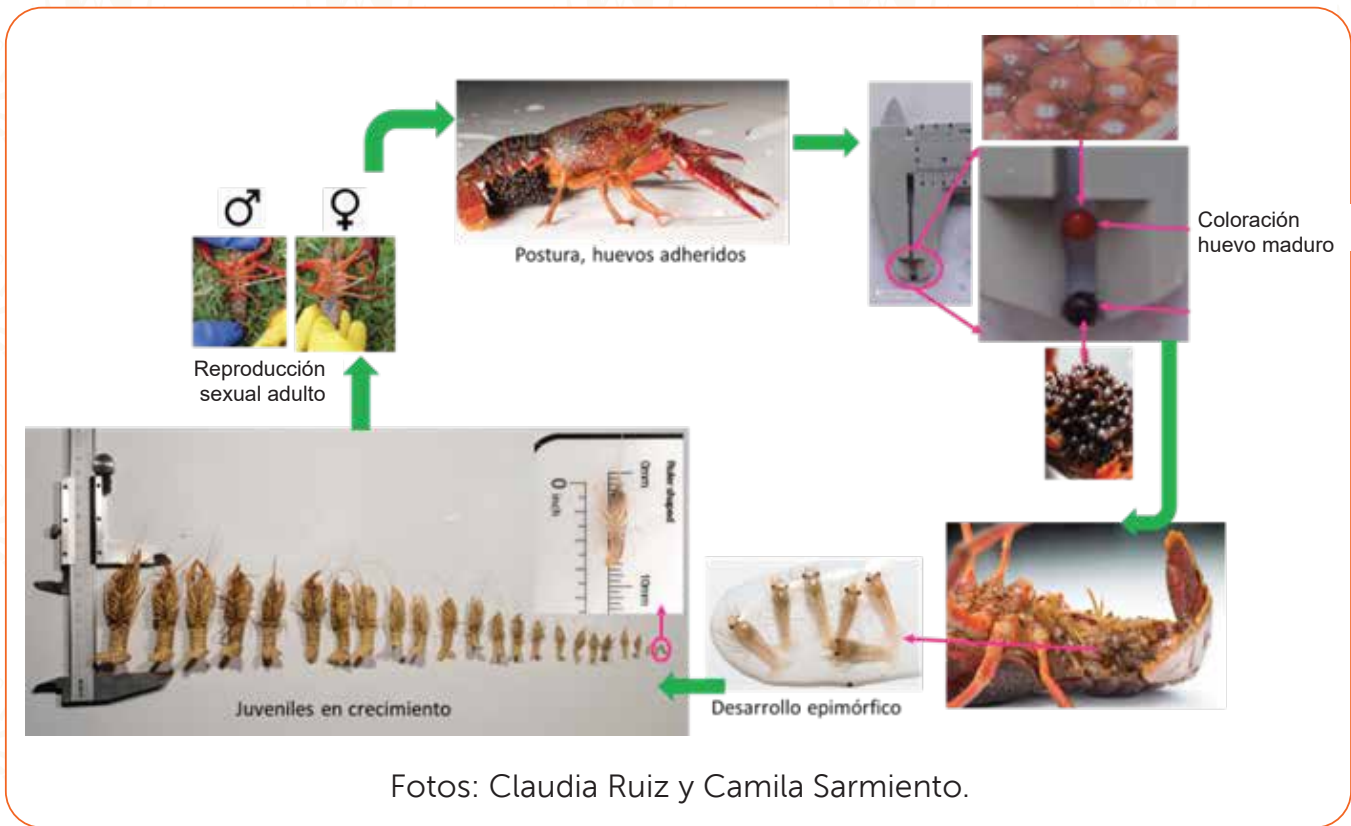


Adulto de 11 cm de longitud total

Foto izquierda: Camila Sarmiento con estereoscopio de 50X;
centro: Patricia Bejarano; derecha: Camila Sarmiento.

El proceso de crecimiento de *P. clarkii* está determinado por factores tales como la disponibilidad de alimento, calidad del agua y temperatura. A mayor temperatura, más rápido es su crecimiento. Los adultos pueden alcanzar una longitud de 20 cm (Campos, 2005). En el lago del Simón Bolívar el adulto más grande registrado en tres meses de muestreo fue una hembra de 19,5 cm. Rodríguez-Almaraz (2001) define que el crecimiento en esta especie, como en el resto de los crustáceos, se produce mediante el proceso de muda o ecdisis (Aiken y Waddy, 1992; Huner y Barr, 1984). Tal como ya se mencionó y se ilustra en la figura 5, los juveniles tienen una coloración verde-grisácea, muy diferente a la de los adultos, la cual cambia cuando alcanzan la madurez sexual. Durante este proceso, los individuos presentan cambios en su fisiología, bioquímica, conducta y anatomía. Los juveniles de *P. clarkii* llevan a cabo 11 mudas durante su crecimiento, hasta alcanzar su madurez sexual (Black, 1966; Huner y Barr, 1984). Huner y Barr (1984) señalan que esta especie tiene un desarrollo epimórfico. Esto significa que los estadios embrionarios de mórula, gástrula, nauplios y embrión tardío ocurren en el interior del huevo, del que eclosiona una post-larva (larva parecida al adulto) (Corey, 1991; Goyert y Avualt, 1978; Huner, 1990). A manera de ilustración, en la figura 6 se resume el ciclo de vida de *P. clarkii*.

Figura 5. Diferenciación en la coloración de críos, juveniles y adultos



1.4. Impactos de *Procambarus clarkii* sobre los ecosistemas

En este numeral se presenta una síntesis de los impactos que se han documentado en diferentes partes del mundo cuando *P. clarkii* invade los ecosistemas. Varios de estos impactos, como los altos procesos erosivos que generan por la construcción de madrigueras; su alta tasa de dispersión, que afecta a la biodiversidad propia de los sistemas; el aumento de la sedimentación en el lago; los problemas en las estructuras para el mantenimiento del mismo, entre otros, se han registrado en el lago del parque metropolitano Simón Bolívar.

La especie ocupa humedales naturales o seminaturales y zonas húmedas terrestres como prados o los manejados como arrozales. Recientemente, este cangrejo de río invasor fue encontrado por primera vez en cuevas europeas, específicamente en Portugal e Italia (Mazza et al., 2014). De hecho, es destacable la presencia de *P. clarkii* en las cuevas, pues representa una nueva amenaza para los ecosistemas de aguas subterráneas por los posibles impactos negativos en las comunidades nativas: puede depredar varias especies endémicas de cuevas, ya que se alimenta de diversos elementos en proporción a su disponibilidad (Mazza et al., 2014). La mayoría de los reportes en Alemania se limitan a los lagos artificiales y a los estanques de verano. Actualmente, se está experimentando una propagación activa en áreas caracterizadas por lagos de grava, como a lo largo de las llanuras de los ríos Rin y Danubio (Chucholl, 2011b; Dümpelmann et al., 2009; Gross, 2013).

Entre las 27 especies exóticas más importantes introducidas en Europa para la acuicultura y actividades relacionadas, *P. clarkii* mostró el mayor impacto (ocho tipos), desde superar a las especies nativas hasta alterar la composición de la red trófica y la estructura del hábitat (Savini et al., 2010; figura 7). La literatura refiere como principales afectaciones la depredación, la herbivoría, el cambio de hábitat, la competencia, el dominio de la comunidad, la bioacumulación y la alteración de la red alimentaria. Al ser omnívoro, *P. clarkii* tiene un efecto importante en la estructura trófica de aguas dulces y estuarios invadidos, pues interactúa con diferentes niveles en las cadenas alimenticias y cambia la forma en que funciona el ecosistema (Angeler et al., 2001; Cruz et al., 2008; Dorn y Wojdak, 2004; Gherardi y Acquistapace, 2007).

Como se puede apreciar en la figura 7, *P. clarkii* tiene el mayor número de tipos de impactos, representados en: (1) alteración de la red alimentaria; (2) bioacumulación de sustancias tóxicas en los tejidos; (3) dominio de la comunidad en el ecosistema nativo; (4) competencia por la comida o el espacio con especies nativas; (5) introducción de nuevos elementos en el ecosistema; (6) modificación de las propiedades físico-químicas de los hábitats; (7) consumo de plantas acuáticas y algas; (8) hibridación con especies nativas y pérdida de integridad genética, y (9) actividad depredadora sobre especies nativas (modificado de Savini et al., 2010).

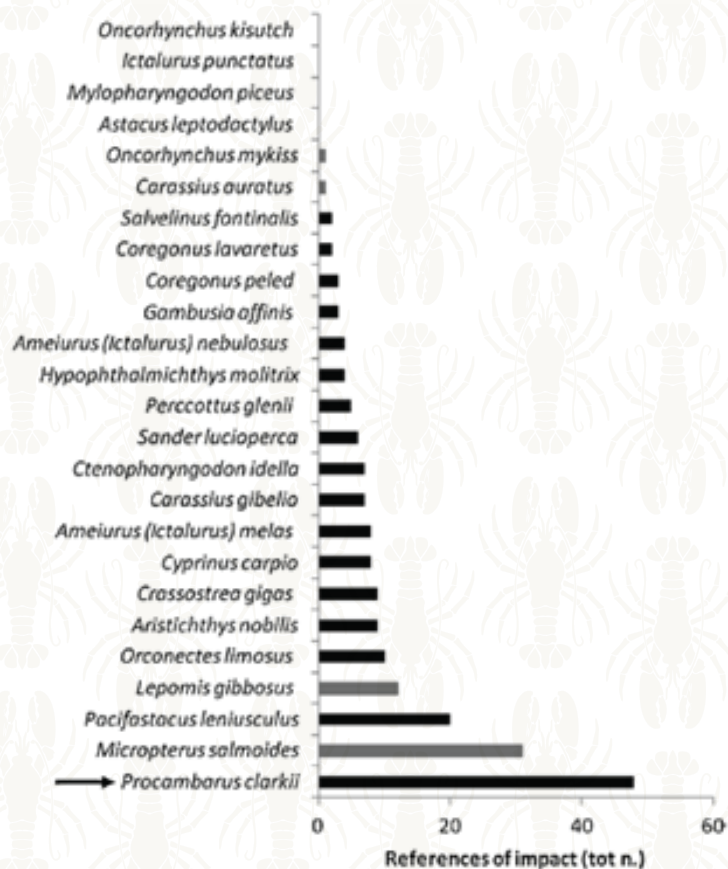


Figura 7. Número de referencias sobre el impacto medioambiental de las 27 principales especies invasoras acuáticas cultivadas en Europa. En negro: confianza muy alta en el impacto de referencia; en gris: "confianza alta"
Fuente: Souty-Grosset et al., 2016.

1.4.1. Actividad de excavación

El cangrejo rojo americano transforma casi completamente los hábitats que invade. El uso de madrigueras le permite a esta especie soportar condiciones ambientales extremas (por ejemplo, altas temperaturas y deshidratación) y la protege de los depredadores durante las fases sensibles de su ciclo de vida (Gherardi, 2006). En Europa, la especie suele cavar madrigueras simples en sedimentos finos, aunque es posible que existan estructuras más complejas (Barbaresi et al., 2004), como las que se evidenciaron en las zonas litorales y terrestres del lago del Simón Bolívar. Allí se han encontrado madrigueras de múltiples ingresos y salidas, con profundidades variables de entre 20 cm a 2 m, que les garantizan avanzar hacia las franjas litorales del lago y establecer espacios con suficiente aireación, una temperatura estable media de 17 °C y óptimas condiciones de humedad. En estas áreas es donde suelen permanecer las hembras durante los procesos de postura, cuidado de los huevos y los primeros estadios de las crías (figura 8).

Figura 8. Salidas y entradas de madrigueras identificadas en el sector oriental del lago del Simón Bolívar



La actividad de excavación tiende a ocurrir cuando la proporción de partículas finas sobre partículas más gruesas es superior a 0,1-0,2; el periodo de excavación más intenso en Portugal es de mayo a octubre (Correia y Ferreira, 1995). En el mismo estudio, la profundidad media del túnel a través de varios tipos de hábitats fue de 0,28 a 0,58 m, pero incluso alcanzó los 4,2 m. Las madrigueras se encontraban principalmente al nivel de la superficie del agua en los campos de arroz y por encima del nivel del agua en los embalses de las marismas.

Souty-Grosset et al. (2014) demostraron que, en estanques de peces en el centro de Francia, la actividad de excavación de *P. clarkii* aumenta en casos de fugas rápidas de agua y pérdida de humedad en el sustrato. Arce y Diéguez-Uribeondo (2015) confirmaron que las áreas de cultivo de arroz en España (Europa) se han visto afectadas en gran medida por los hábitos de la especie, principalmente debido a su comportamiento de excavación. Por ejemplo, en el Parque Natural del Delta del Ebro (NESpain), una de las principales zonas productoras de arroz de la región mediterránea, establecieron vínculos entre las densidades locales de cangrejo rojo americano, la abundancia de madrigueras que utilizan para refugiarse y la intensidad de los daños por la actividad de excavación. Además, el comportamiento de excavadores puede causar la erosión de las orillas de los ríos o canales y aumentar la turbidez del agua (Anastácio y Marques, 1997; Rodríguez et al., 2003). Barbaresi y col. (2004) mostró el uso "consumista" de las madrigueras: el tiempo de ocupación de las madrigueras es corto, los cangrejos no son "fieles" a la misma madriguera y al final de sus aventuras de búsqueda, excavan nuevas. La excavación del cangrejo de río en los humedales costeros europeos (Scalici et al., 2010) podría reducir la protección costera de las tormentas severas y el aumento del nivel del mar. En el norte de Italia, la excavación de cangrejo de río daña el 30 % de los canales de riego, lo que representa el 8 % de los ingresos anuales de la autoridad de gestión (M. Fantesini citado en Lodge et al., 2012).

ESTADO ACTUAL DE LA POBLACIÓN DE *Procambarus clarkii*

Para llevar a cabo un proceso exitoso de manejo y control de una especie invasora, resulta imperativo llevar a cabo un seguimiento y monitoreo continuo. Esto es esencial para evaluar la respuesta de la especie a las estrategias de manejo y control, permitiendo así la implementación de medidas correctivas según sea necesario.

En el caso de *P. clarkii*, considerada una de las especies invasoras más agresivas en los ecosistemas lacustres, es fundamental comprender su dinámica poblacional. Factores como sus estrategias reproductivas, momentos de mayor actividad reproductiva, distribución por edades, distribución por sexos, hábitos alimenticios y preferencias de hábitat son determinantes para planificar la aplicación de técnicas y procedimientos de control.

Por esta razón, durante tres años se llevó a cabo un monitoreo de la población de cangrejo rojo americano en el lago del Parque Central Simón Bolívar. Este monitoreo proporcionó una aproximación al estado de la población y permitió observar sus variaciones en respuesta a las condiciones climáticas y las presiones generadas por el proceso de control.

A pesar de que existen algunos estudios que hacen referencia a la presencia de esta especie y ofrecen algunas aproximaciones a su comportamiento en ciertos sistemas lacustres en el país, este es el primer intento exitoso de estandarizar un método de monitoreo para esta especie invasora durante un período de tres años. Esto motivó al IDR D a publicar los resultados encontrados con el propósito de proporcionar información útil que pueda ser aplicada en otros territorios donde se enfrenten infestaciones de *P. clarkii*.

1. Metodología

Durante tres años (2021 a 2023) se llevó a cabo un monitoreo de la población de *P. clarkii* en el Parque Simón Bolívar. Este monitoreo se basó en el registro de todos los individuos capturados como parte del proceso de manejo y control de esta especie. Dicho proceso se lleva a cabo en toda la franja perimetral del lago y utiliza tres técnicas de captura: trampas, jamas y captura manual en las madrigueras (Figura 1).

Figura 1. Técnicas de captura utilizadas durante el muestreo



a. Trampas con cebo



b. Captura con jama



c. Captura manual



Fotos: Nancy Burgos

Durante el primer trimestre del muestreo, todos los individuos capturados fueron sexados y pesados, y se realizaron medidas de longitud total y ancho de tórax dos veces por semana, con el fin de establecer si existían diferencias significativas en la población en cuanto a sus dimensiones por sexo.

Durante el proceso de muestreo, se observó que los métodos de captura mediante jamas y captura manual se complementaban, por lo que se decidió combinar los datos de individuos capturados utilizando el método de captura manual. Estos datos se procesaron de forma independiente de los individuos capturados mediante trampas. A partir de estos muestreos, se llevaron a cabo estimaciones de las distribuciones por sexos, las relaciones entre longitud, ancho de tórax y peso según el sexo, las diferencias espaciales en función del número de individuos capturados, las densidades poblacionales y la estimación de la abundancia total de la población.

Es importante destacar que esta caracterización se realizó a lo largo de todo el año para registrar diferentes condiciones climáticas. Los resultados indicaron la necesidad de ajustar tanto la ubicación de las trampas como los intervalos de tiempo utilizados en las capturas manuales. Esto se debe a que la especie presenta picos poblacionales y desplazamientos a lo largo del año, lo que provoca que los lugares de mayor abundancia varíen en distintos momentos.

Al inicio del proceso de manejo y control, lo más recomendable es sectorizar la franja litoral en fragmentos equidistantes donde se ubiquen las trampas y se hagan las capturas manuales. A partir de los resultados encontrados, se pueden identificar los sectores donde se registran las mayores abundancias que al cruzarlas con variables ambientales, permitan identificar las razones que expliquen las preferencias de hábitats. En total se instalaron 20 trampas tal como se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Sectorización en el Lago del Parque Central Simón Bolívar a partir de fragmentos equidistantes en cuyo centro se localizó una trampa



Elaboración: Nancy Burgos

2. Estimaciones de la estructura poblacional

Como se ha señalado, *P. clarkii* es una especie que sigue una estrategia de crecimiento tipo "r". Esta estrategia, cuyas principales características se detallan en la Tabla 1, favorece la rápida colonización de espacios disponibles. Esta rápida propagación, combinada con la ausencia de depredadores, una alta tolerancia ambiental y una dieta diversificada, la convierte en una especie altamente invasora capaz de alterar significativamente las condiciones ecológicas de los ecosistemas que ocupa, desplazando a la biodiversidad nativa que existía previamente a su introducción.

En el caso del lago del Parque Central Simón Bolívar, la presencia de *P. clarkii* ha tenido un impacto considerable. Además de generar una erosión significativa en las franjas litorales debido a la abundancia de madrigueras, ha provocado la casi desaparición de la población de cangrejo sabanero *Neostrengeria macropa*, una especie catalogada como en peligro crítico de extinción que antes habitaba el lago.

A continuación se muestran los resultados encontrados en cuanto a las características poblacionales referentes a la distribución de acuerdo con el sexo, la densidad poblacional, abundancia total y se registran diferencias estadísticamente significativas entre machos y hembras.

Tabla 1. Características de la estrategia de crecimiento "r" Fuente: Pianka (1970)

Características	Estrategia r	Estrategia K
Tiempo de vida	Corto. Generalmente inferior a 1 año	Largo, más de un año
Mortalidad	Episodios catastróficos de gran mortalidad afectando a todos los individuos. Independiente de la densidad	Depende de la densidad de la población
Población	Muy variable en el tiempo y muy inferior a la capacidad de carga del medio	Muy constante y próxima al equilibrio y al límite de carga
Competencia intraespecífica e interespecífica	Variable y en general, poco intensa	Muy intensa
Adaptación a:	Variaciones ambientales frecuentes e impredecibles o especies no bien adaptadas a medio que ocupan. Colonizadores. Climas variables	Condiciones muy constantes y predecibles.
La selección favorece:	Desarrollo rápido Madurez precoz Reproducción única Pequeño tamaño Descendencia numerosa	Desarrollo lento Madurez retrasada Reproducción cíclica Capacidad competitiva y eficacia Mayor tamaño Descendencia poco numerosa y cuidado de la prole

3. Distribución por sexos

Como se puede observar, hay una tendencia a encontrar distribuciones equitativas por sexo, lo cual se ha señalado en otros estudios como los realizados por Pedroza (2017) en la Laguna de Fúquene en donde la proporción encontrada de machos y hembras fue proporcionalmente 1:1 (Figura 3). Sin embargo, existen diferencias en la abundancia y distribución de machos y hembras de acuerdo con las épocas del año (Figura 4).

Estos patrones se hicieron evidentes al agrupar las abundancias en tres cuatrimestres que representan las épocas secas y lluviosas. Se ha registrado una mayor actividad por parte de las hembras durante las épocas de lluvias más intensas, posiblemente relacionada con el aumento de hábitats y disponibilidad de alimentos, especialmente en las franjas litorales y canales de escorrentía del lago del Parque Simón Bolívar.

Durante la temporada de sequía (ver Figura 5, noviembre a febrero), se registró un aumento de ocho puntos porcentuales en la captura de machos en comparación con las hembras. Esto podría deberse al hecho de que las hembras tienden a pasar más tiempo en sus madrigueras, especialmente durante el período de postura y cuidado de los huevos. Como resultado, se observa una mayor proporción de machos capturados utilizando el método de trampas.

Figura 3. Distribución de la población según el sexo

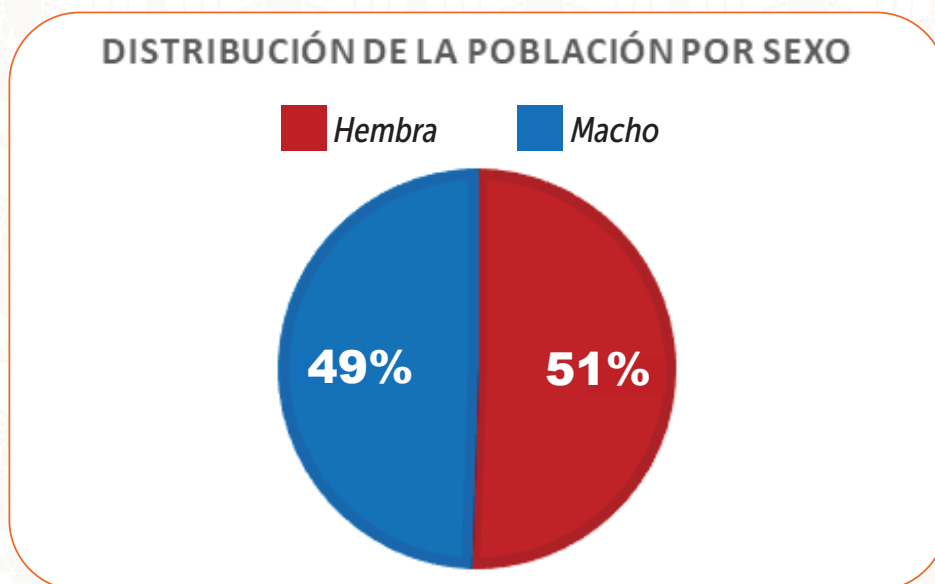


Figura 4. Distribución de la población por sexo, según época del año

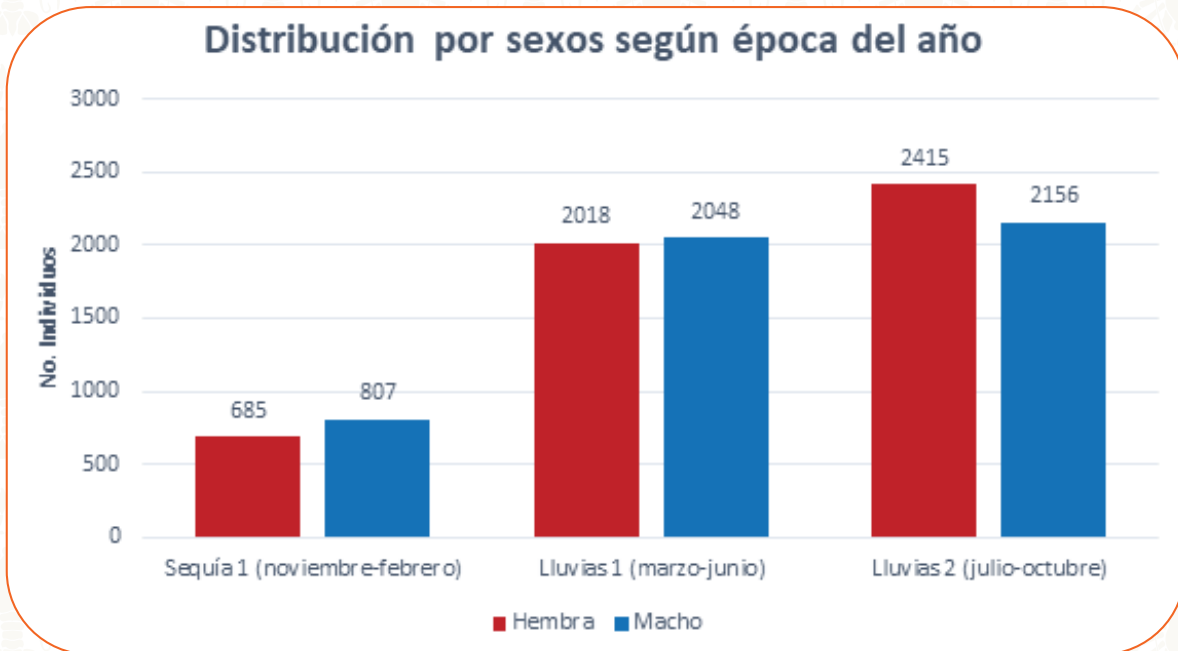
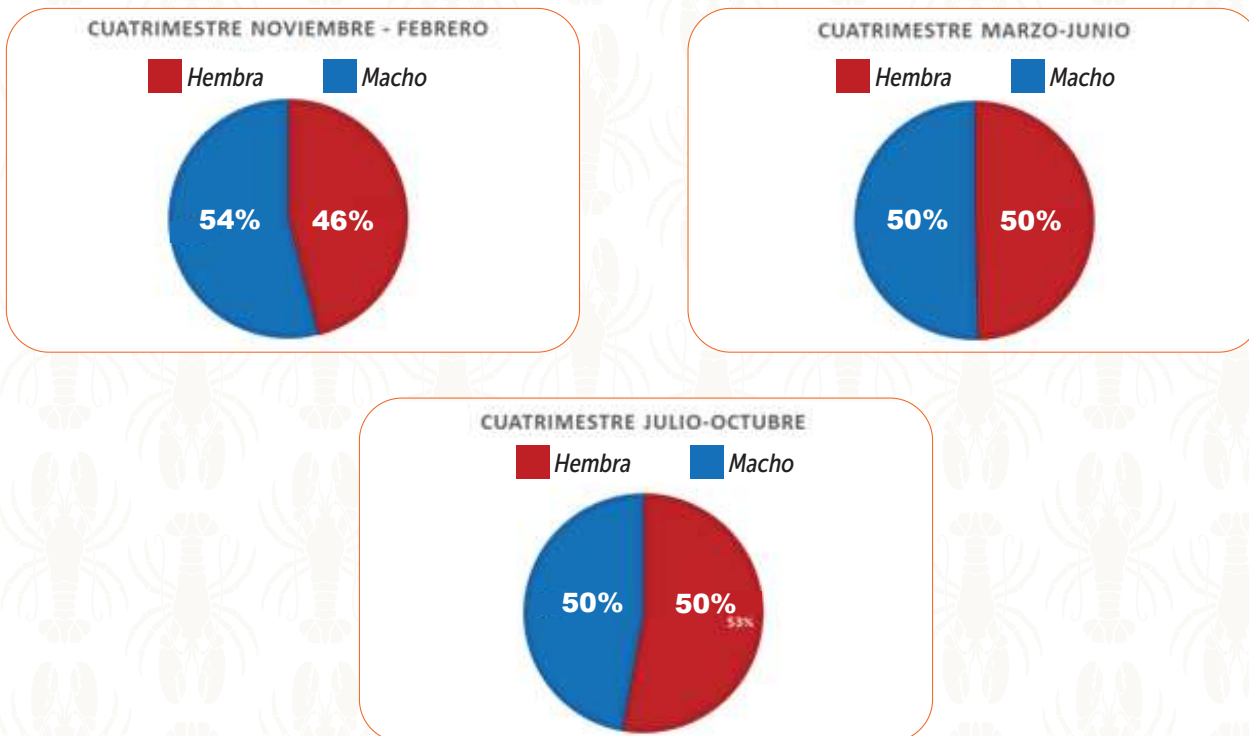
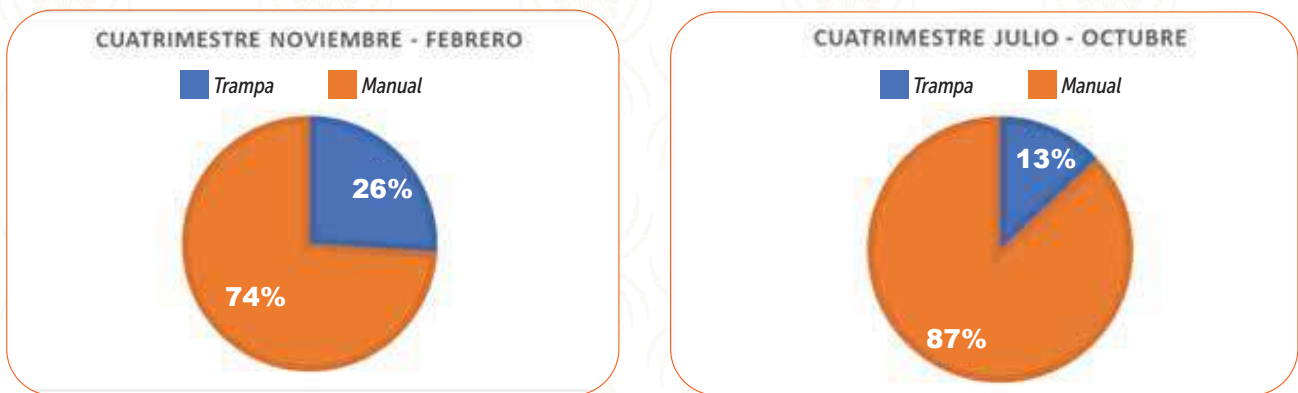


Figura 5. Distribución porcentual entre machos y hembras, según época del año



Esto se confirmó al comparar los métodos de captura (trampa vs. captura manual) en cuanto al número de hembras con postura adherida en el abdomen. Los resultados muestran que entre noviembre y febrero el 75% de estas hembras se capturó utilizando el método manual, mientras que en el trimestre de septiembre a octubre, este porcentaje aumentó al 87% (ver Figura 6).

Figura 6. Porcentaje de hembras con huevos adheridos en el abdomen de acuerdo con el método de captura

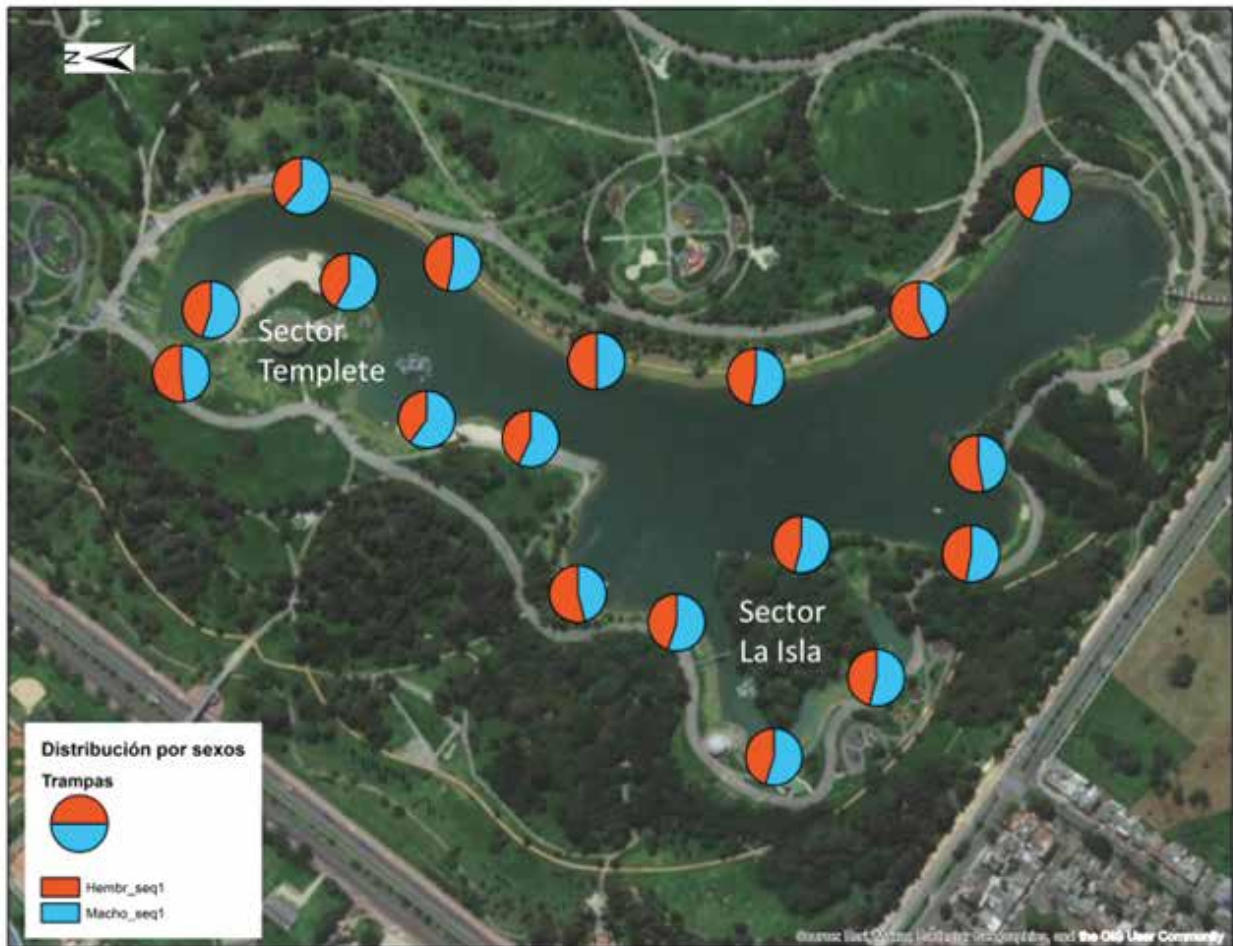


En cuanto a la distribución espacial por sexos, se presentan diferencias importantes de acuerdo con la época climática. En los periodos más secos (noviembre a febrero) se aprecia mayor proporción de machos que hembras capturados en las trampas (Figura 7). Sin embargo, se evidenció que en esta época en el sector del Lago, en inmediaciones al templete y la isla (ver zonas señaladas en la Figura 7) hay una alta proporción de hembras con posturas y en muestreos con jama.

También se ha observado una alta presencia de larvas y juveniles, lo que sugiere que en este sector del parque existe un área especial de cría para *P. clarkii*. Una de las posibles razones que explicaría esta preferencia espacial por parte de las hembras y sus crías es que en el área cercana al templete, las aguas se remansan debido a que no se permite el uso de botes. Además, este es uno de los lugares preferidos por los visitantes del parque para alimentar a los peces, lo que proporciona una fuente de alimento para los juveniles en sus primeras etapas de desarrollo.

En cuanto al sector de la isla, la predominancia de hembras puede estar relacionada igualmente con la presencia de aguas en remanso, ya que allí se encuentra el tapón de desagüe, el cual permanece cerrado la mayor parte del tiempo. Además, este sector está resguardado por un islote que hace que los dos extremos litorales estén muy cercanos, formando una especie de canal.

Figura 7. Distribución espacial de la proporción de machos y hembras capturadas en el Lago del Parque Central Simón Bolívar durante el periodo de mayor sequía (noviembre-febrero)



Elaboración: Patricia Bejarano M.

En contraste con lo observado durante la época seca, durante la temporada de lluvias (julio a octubre) se produce una distribución espacial inversa por sexo, con una predominancia de hembras en la mayoría de las áreas del lago. Esta distribución está relacionada con un aumento en la actividad reproductiva, que se produce debido al incremento en la disponibilidad de hábitats y alimentos.

Como se puede apreciar en las áreas señaladas en la Figura 8, existen algunos sectores con una alta predominancia de machos, especialmente en la zona sur del lago. Esto está relacionado con la actividad que se observa durante esta época, cuando los machos construyen madrigueras que posteriormente son utilizadas por las hembras para la postura y cuidado de los huevos.

Figura 8. Distribución espacial de la proporción de machos y hembras capturadas en el Lago del Parque Central Simón Bolívar durante el periodo de mayores lluvias (cuatrimestre Julio a Octubre)



Elaboración: Patricia Bejarano M.

4. Relación entre las variables de longitud, ancho de tórax y peso

A pesar de que en *P. clarkii* existe un marcado dimorfismo sexual, resulta deseable establecer otras características sexuales secundarias además de las modificaciones en el primer y segundo par de pleópodos, con el objetivo de distinguir en términos generales entre hembras y machos. Con esta finalidad, durante el primer trimestre de capturas, se llevaron a cabo mediciones de longitud total (LT) y ancho de tórax (AT) en un total de 1.584 individuos, de los cuales 792 correspondían a hembras y 792 a machos. Además, se determinó el peso en gramos en un grupo de 2.748 individuos, divididos en 1.374 hembras y 1.374 machos.

Figura 9. Dimorfismo sexual en *P. clarkii*



Para establecer diferencias entre las dimensiones LT y AT, se estableció la relación LT/AT y para establecer la significancia estadística, se realizó un ANOVA con el 95% de confianza ($p < 0,05$). En la tabla 2 se presenta el resultado del ANOVA, en la que se pueden apreciar diferencias significativas en la relación LT/AT entre machos y hembras, siendo las hembras adultas las de mayores dimensiones. Sin embargo, al comparar los pesos, el ANOVA permite corroborar también diferencias significativas entre machos y hembras, siendo los primeros de mayor biomasa que las segundas (Tabla 3). El mayor peso en los machos se debe a que durante el periodo reproductivo, los quelípedos son visiblemente más grandes que en las hembras.

Tabla 2. ANOVA de la relación LT/AT entre machos y hembras

Groups	Cantidad	Suma	Media	Varianza
Hembra	792	4240,749	5,354481	0,464263
Macho	792	4150,379	5,240377	0,531675

ANOVA

Source of Variation	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-value	F crit
Between Groups	5,155779	1	5,155779	10,35362	0,001318	3,847344
Within Groups	787,7866	1582	0,497969			
Total	792,9424	1583				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. ANOVA de los pesos entre machos y hembras

Groups	Cantidad	Suma	Media	Varianza
Hembra	1374	53554	38,97671	103,4077
Macho	1374	55999	40,75619	129,8043

ANOVA

Source of Variation	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-value	F crit
Between Groups	2175,409	1	2175,409	18,65607	1,62103E-05	3,844847
Within Groups	320200,1	2746	116,606			
Total	322375,5	2747				

Fuente: Elaboración propia

5. Distribución espacial de población y estimaciones de densidad y tamaño poblacional

De acuerdo con los resultados obtenidos, también se evidenciaron diferencias en cuanto a la distribución espacial de las abundancias de *P. clarkii*, generadas tanto por la distribución diferencial de calidad de hábitats disponibles como por los cambios en las épocas climáticas.

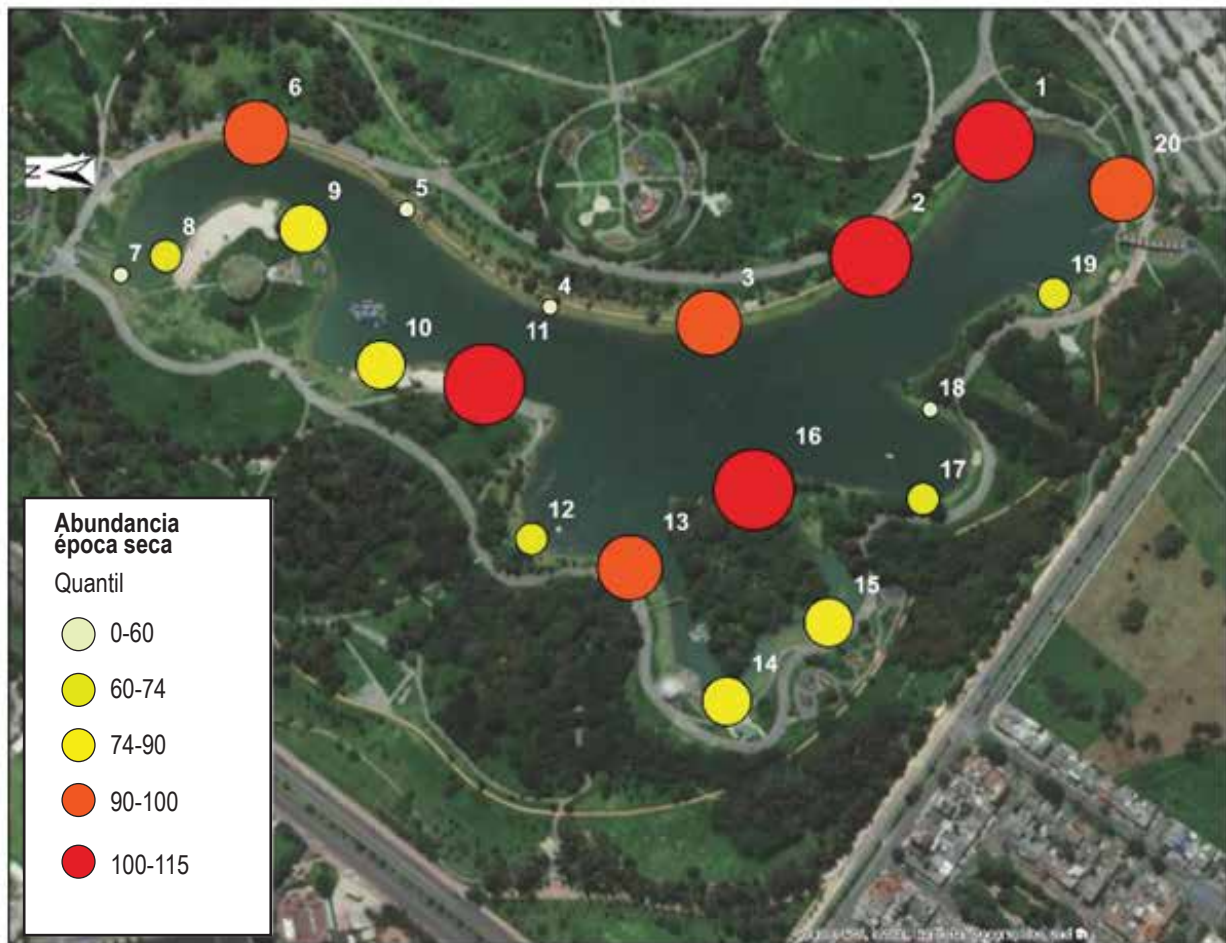
En la Figura 10, se presenta la distribución de abundancias de la población de *P. clarkii* a lo largo del lago durante la época seca (noviembre a febrero) y en la figura 11, durante la época de mayores lluvias (julio a octubre). En ambos casos, hay diferencias espaciales en la abundancia debido a condiciones ambientales cambiantes relacionadas con la presencia de vegetación terrestre, calidad del agua, el tipo de sustrato de la franja litoral y terrestre adyacente al cuerpo de agua y la oferta de hábitat y alimento.

La preferencia de hábitat de *P. clarkii* alrededor del lago está asociada a zonas desprovistas de vegetación litoral, presencia de elodea, presencia de canales de escorrentía, sitios de remanso, áreas utilizadas por los visitantes del parque para la alimentación de peces y suelos arcillosos. Estos últimos ofrecen un ambiente favorable para la construcción de las

numerosas madrigueras ramificadas y se extienden en largos trayectos hacia la franja terrestre (Figura 12).

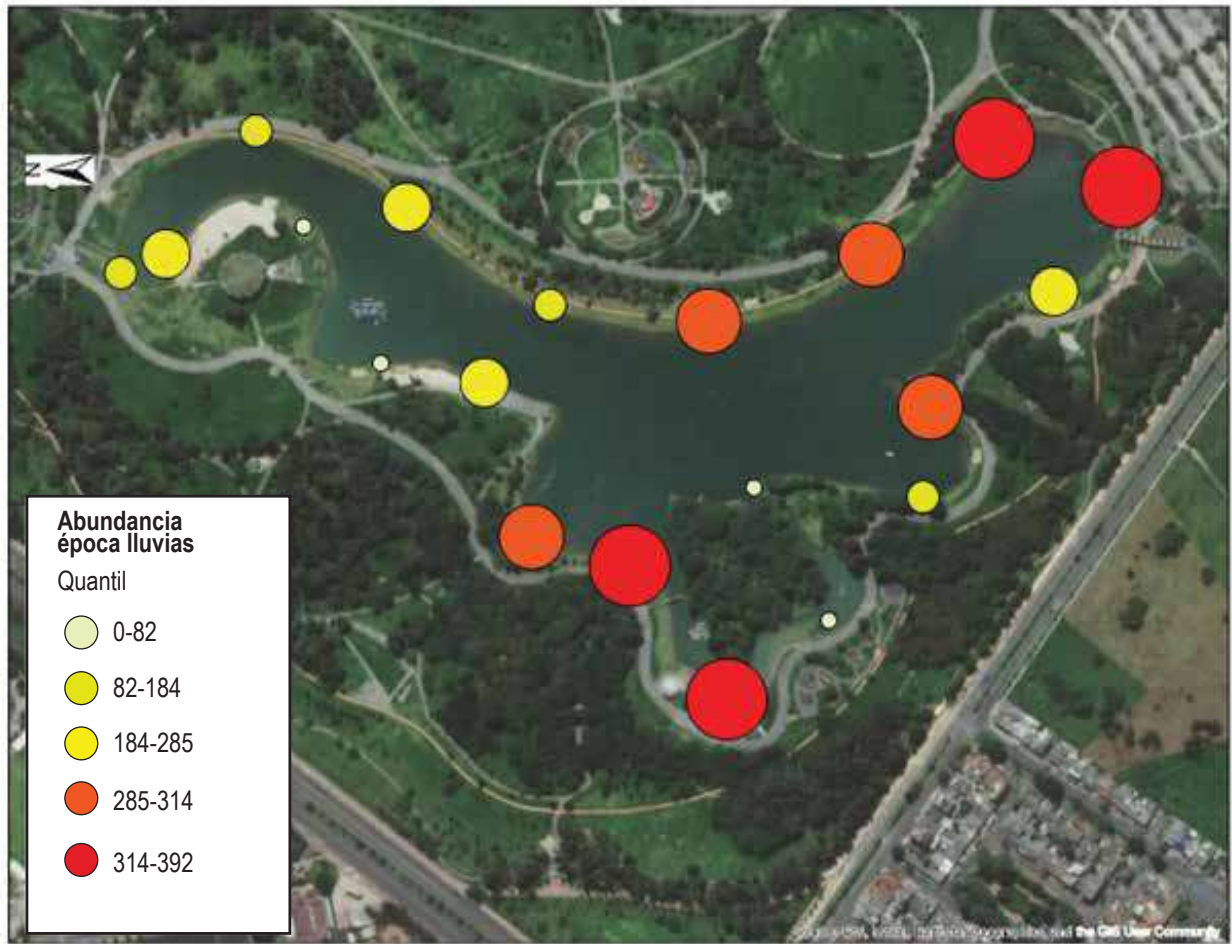
Durante el proceso de manejo y control, se realiza inspección al sistema de madrigueras, encontrando que éstas son bastante ramificadas y extensas, pudiéndose encontrar hasta a 20 metros de la orilla del lago con profundidades que alcanzan hasta los 2m. Los sistemas de aireación son muy buenos y están diseñados de tal manera que logran mantener una temperatura constante de alrededor de los 18°C durante todo el día, en comparación con la temperatura del agua en las orillas del lago, que presenta fluctuaciones de temperatura de hasta 3°C en días bastante soleados.

Figura 10. Distribución de la población de P. clarkii de acuerdo con su abundancia, durante el periodo seco (noviembre-febrero)



Elaboración: Patricia Bejarano M

Figura 11. Distribución de la población de *P. clarkii* de acuerdo con su abundancia, durante el periodo de mayores lluvias (julio -octubre)



Elaboración: Patricia Bejarano M

Figura 12. Características generales de las madrigueras construidas por *P. clarkii* en el Lago del Parque Central Simón Bolívar



Fotos: equipo contratista IDRD. A la izquierda se aprecian los orificios de ingreso y salida de las madrigueras tanto en franja litoral como en franja terrestre. A la derecha se aprecia que la longitud y profundidad de un sistema de madrigueras a lo largo de un canal de escorrentía en el Lago Simón Bolívar.

Al comparar las dos épocas del año, se encuentran importantes diferencias en la distribución espacial de la población de *P. clarkii*. Durante la época de lluvias, las mayores abundancias se encuentran en la mitad sur del lago (Figura 11), zona donde predominan las características de preferencia de hábitat de la especie, muy propicios para la época reproductiva. Durante la época de sequía (figura 10), se observa una distribución más extendida a lo largo del lago principalmente en sentido oriental, asociada posiblemente a desplazamientos en busca de refugio en las madrigueras que son bastante abundantes en este sector y están asociadas principalmente a los canales de escorrentía.

Para corroborar esto, se realizó una georreferenciación de todas las desembocaduras de los canales de escorrentía encontrando que, mientras en el costado oriental hay 75 canales todos ellos con madrigueras asociadas, en el costado occidental solo hay 18 (Figura 13).

Figura 13. Desembocadura de los canales de escorrentía presentes en el Lago del Parque Metropolitano Simón Bolívar



Elaboración: Nancy Burgos

Estas variaciones en la distribución espacial de las poblaciones de *P. clarkii* son fundamentales para definir las mejores estrategias para el manejo y control de la especie y permiten afinar y mejorar las actividades específicas que se llevan a cabo en el Parque para aplicar el Protocolo de Manejo y Control de la Langostilla de Río (Resolución 03919 de 2021).

6. Estimación inicial de la densidad y estimación poblacional

Con base en los resultados encontrados, se estimó la densidad de la población de *Procambarus clarkii* presente en el Parque Simón Bolívar durante los periodos de mayor sequía y lluvias. Para esto, se calculó la superficie total disponible donde es posible encontrar las condiciones para el establecimiento y presencia de *P. clarkii* y el área efectiva donde se realizaron las capturas.

La estimación de densidad y tamaño población parte de los siguientes supuestos:

1. *Procambarus clarkii* requiere de una superficie terrestre, litoral y acuática para desarrollar su ciclo de vida.
2. Por las condiciones de las madrigueras y su amplia extensión así como por las características de profundidad del Lago, se considera como área efectiva para el desarrollo de *P. clarkii*, 20m alrededor del perímetro del Lago.
3. Las trampas con cebo permiten atraer individuos de cangrejo hasta 20m a la redonda del sitio de su ubicación.
4. Las capturas manuales permiten atrapar los individuos que se encuentran a 5m respecto al perímetro del Lago, tanto en el cuerpo del agua como al interior de las madrigueras.

Siguiendo estos supuestos, que se deben ir ajustando a medida que se avanza en el conocimiento de la especie durante el proceso de manejo y control, en la Figura 14 se presentan las áreas efectivas muestreadas y las áreas potenciales donde es posible registrar *Procambarus clarkii*. De acuerdo con esta figura, el área efectiva muestreada mediante trampeo es de 25.005 m²; el área efectiva de muestreo mediante captura manual es de 29.282 m² y el área potencial disponible para el establecimiento de *P. clarkii* es de 207.243 m².

Figura 14. Estimaciones de las superficies efectivas muestreadas y de las superficies potenciales para el establecimiento de *P. clarkii* en el Lago Simón Bolívar.



Elaboración: Patricia Bejarano M.

Una vez calculadas estas áreas, la densidad promedio se estimó de manera ponderada de acuerdo con los rangos en los que se distribuyeron las abundancias encontradas en cada una de las trampas durante los tres cuatrimestres agrupados. Los resultados de las primeras estimaciones de densidad y abundancia de *P. clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar se presentan en las tablas 4 a 6.

Tabla 4. Estimación de densidad y abundancia de *P. clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar para el periodo noviembre a febrero (época seca)

Densidad promedio ponderado (m2):		0,06	
Método de captura	Área muestreada	Área potencial	Abundancia
Trampa	25.005,33	207.243,16	12.366
Manual	29.282,22		

Tabla 5. Estimación de densidad y abundancia de *P. clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar para el periodo marzo a junio (primera época de lluvia)

Densidad promedio ponderado (m2):		0,16	
Método de captura	Área muestreada	Área potencial	Abundancia
Trampa	25.005,33	207.243,16	33.699
Manual	29.282,22		

Tabla 6. Estimación de densidad y abundancia de *P. clarkii* en el Parque Central Simón Bolívar para el periodo julio a octubre (segunda época de lluvia)

Densidad promedio ponderado (m2):		0,18	
Método de captura	Área muestreada	Área potencial	Abundancia
Trampa	25.005,33	207.243,16	37.884
Manual	29.282,22		

Lo anterior evidencia los picos poblacionales propios de las especies con estrategia de crecimiento "r". Es por esta razón que se hace fundamental continuar estudiando la ecología de las poblaciones de *P. clarkii* para lograr implementar las mejores estrategias para su manejo y control, dentro de las cuales se encuentra la captura pero también formas de control indirecto asociado con el manejo de canales de escorrentía, sustratos, material vegetal adecuado para siembra en franja litoral y eliminación de invasoras vegetales con quienes la especie presenta fenómenos de fusión invasiva (Chucholl, 2013).

PROCEDIMIENTO DETALLADO PARA LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DE MANEJO Y CONTROL DE *Procambarus clarkii* EN EL PARQUE CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR

Entre los años 2021 y 2023, se llevó a cabo un proceso en el Parque Central Simón Bolívar que permitió la estandarización de un procedimiento efectivo para la implementación del Protocolo de Manejo y Control de *P. clarkii*, emitido por la SDA a través de la Resolución No. 03919 de 2021, y el plan para la prevención, manejo y control de la especie *Procaambarus clarkii* (cangrejo rojo americano) en el territorio nacional, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0067 de 2023.

Además de cumplir con la normativa vigente, se tuvieron en cuenta aspectos adicionales que son esenciales para mejorar la eficiencia en el manejo y control de la especie. Entre estos aspectos se incluyen el bienestar animal, la inactivación de patógenos y el potencial aprovechamiento de la biomasa generada durante el proceso.

En la presente cartilla, se describe en detalle el procedimiento estandarizado por el IDRD con el fin de que pueda ser utilizado por entidades del sector público o privado responsables de hacer manejo y control de *P. clarkii* o que estén presentando invasiones biológicas de esta especie en cuerpos de agua asociados a reservorios, humedales, ríos o quebradas.

1. Consideraciones relacionadas con el bienestar animal

Se considera que la gran mayoría de los invertebrados no experimentan dolor, aunque pueden mostrar respuestas asociadas a reflejos nociceptivos. De hecho, una revisión reciente ha descartado la idea de que cualquier invertebrado (o pez) experimente dolor debido a la falta de áreas cerebrales específicas involucradas en la experiencia del dolor humano (Rose y otros, 2014). Sin embargo, este razonamiento no tiene en cuenta las diversas estructuras neuronales presentes en taxones ampliamente divergentes que desempeñan la misma función. Por ejemplo, el procesamiento visual ocurre en cerebros muy diferentes en vertebrados e invertebrados (Escoba, 2014) (Elwood D., 2011).

De acuerdo con Dawkins (2012), no podemos determinar de manera específica lo que siente cualquier animal cuando se expone a estímulos nocivos. Por lo tanto, para orientar las investigaciones, las definiciones actuales de dolor animal incluyen criterios que deben cumplirse antes de considerar la posible experiencia de dolor, como lo mencionan Sneddon, Elwood, Adamo y Leach (2014). En particular, se esperan actividades que vayan más allá de una simple respuesta refleja y, en su lugar, indiquen un procesamiento central y un cambio motivacional a largo plazo que proteja al animal de futuros daños (Elwood D., 2011) (Sneddon, Elwood, Adamo y Leach, 2014), así como cambios fisiológicos en respuesta a estímulos aversivos (Sneddon, Elwood, Adamo y Leach, 2014) (Bateson, 1991).

Los cefalópodos, como los pulpos, calamares, sepias y nautilus, cumplen con estos criterios, ya que muestran cambios motivacionales complejos y duraderos, acompañados de cambios fisiológicos después de sufrir daño tisular. Además, muestran una mayor cautela frente a intentos de depredación (Alupay, Hadjisolomou y Crook, 2014). Es importante destacar que estos cambios confieren una ventaja significativa a la supervivencia de estos animales (Crook, Dickson, Hanlon y Walters, 2014).

Elwood y Adams (2015) llevaron a cabo una investigación centrada en los crustáceos decápodos, los cuales también muestran respuestas consistentes con la idea del dolor. Por ejemplo, se ha observado que los cangrejos costeros aprenden rápidamente a evitar lugares específicos asociados con descargas eléctricas (Magee y Elwood, 2013). Los cangrejos ermitaños, cuando son sometidos a un shock en el abdomen (Appel y Elwood, 2009), y los langostinos *Palaemon elegans*, que son expuestos a diferentes estímulos nocivos, reaccionan primero con una respuesta refleja que involucra la caída de la cola, seguida de dos actividades prolongadas: el aseo de la parte afectada y el roce de ésta contra el lado del tanque (Barr, Laming, Dick y Elwood, 2008).

(Fossat, Bacque-Cazenave, Deurwaerdere, Delbecque y Cattaert, 2014) han demostrado que los cangrejos de río expuestos a un campo eléctrico estresante se muestran reacios a entrar en los brazos oscuros de un laberinto claro/oscuro, incluso después de que se haya eliminado el campo eléctrico. Estos animales recobraron la calma cuando se les administró un medicamento ansiolítico utilizado para tratar la ansiedad en seres humanos y luego ingresaron en la oscuridad de manera normal. Además, los cangrejos estresados habían aumentado sus niveles de serotonina, un neurotransmisor en el cerebro, y las inyecciones de serotonina indujeron un comportamiento similar a la ansiedad en los animales de control. Por lo tanto, estos invertebrados muestran una forma primitiva de ansiedad que comparte un mecanismo con las emociones más complejas observadas en los vertebrados.

Por lo tanto, los decápodos exhiben respuestas conductuales ante estímulos nocivos que cumplen con los criterios esperados para los animales que experimentan dolor (Sneddon, Elwood, Adamo y Leach, 2014). Los decápodos estresados presentan niveles elevados de la hormona hiperglucemiante (CHH), lo que se traduce en un aumento de la glucosa y una respuesta similar al lactato análogo a la respuesta al estrés (Webster, 1996). Los factores de estrés eficaces incluyen la emersión, la hipoxia, las altas temperaturas, las variaciones en la salinidad y las enfermedades (Chang, 2005). Además, la extracción de una pinza, como se practica en algunas pesquerías comerciales, provoca una rápida elevación de glucosa y lactato en cangrejos comestibles (Patterson, Dick y Elwood, 2007). De manera similar, los cangrejos de río sometidos repetidamente a un campo eléctrico nocivo durante un período de 30 minutos muestran niveles elevados de glucosa (Fossat, Bacque-Cazenave, Deurwaerdere, Delbecque y Cattaert, 2014) (Fossat, Bacque-Cazenave, Deurwaerdere, Cattaert y Delbecque, 2015).

De acuerdo con todo lo anterior, el enfoque que se tuvo en cuenta para la realización del procedimiento para manejo y control de *P.clarkii* respecto a bienestar animal es:

A la luz de la evidencia científica que sugiere fuertemente que los crustáceos, decápodos y cefalópodos experimentan dolor y sufrimiento, es necesario adoptar el principio de precaución y, por tanto, el primer aspecto a estandarizar consistió en evaluar el método más efectivo y comprobado para reducir cualquier riesgo de sufrimiento durante el proceso de sacrificio. Si bien esta especie debe ser controlada para evitar los desequilibrios ecológicos y estructurales en el mobiliario aledaño a las zonas litorales del lago, es un ser vivo que se debe manejar con todas las consideraciones que se requieran para no generar dolor o sufrimiento.

2. Consideraciones relacionadas con la interacción de la especie con los usuarios del parque

El Instituto Distrital de Recreación y Deportes – IDRDR tiene como misión “Generar y fomentar espacios para la recreación, el deporte, la actividad física y la sostenibilidad de los parques y escenarios, mejorando la calidad de vida, el sentido de pertenencia y la felicidad de los habitantes de Bogotá D.C.” para lo cual se propone como objetivos estratégicos el mejorar la cobertura y las condiciones de infraestructura de los parques y escenarios para el uso y disfrute de la población de Bogotá D.C., e impulsar la participación activa de los habitantes de la ciudad en los servicios recreativos, deportivos y de actividad física ofrecidos por la entidad, fomentando el buen uso y aprovechamiento del tiempo libre.

De esta manera, los parques se convierten en espacios destinados al disfrute del tiempo libre de las y los habitantes de la ciudad, donde se llevan a cabo una variedad de actividades recreativas y deportivas. Estas actividades incluyen la contemplación del paisaje, la observación de la fauna y flora, y el fortalecimiento de las relaciones interpersonales y con el entorno natural. Esta última actividad ha adquirido una gran importancia, ya que es fundamental que como sociedad tomemos conciencia de las implicaciones que cada acción humana tiene en relación con otros seres que comparten el planeta. Por esta razón, los parques se convierten en auténticas aulas donde los residentes de Bogotá pueden experimentar la proximidad de la naturaleza y aprovechar sus beneficios.

La presencia de la especie invasora *Procambarus clarkii* en los cuerpos de agua de algunos parques plantea desafíos para los propósitos mencionados anteriormente. Es importante tener en cuenta que, en el caso de Colombia, esta especie no ha sido estudiada a fondo, especialmente en lo que respecta a los impactos ecológicos que genera en los ecosistemas que ocupa. Dado que es una especie con la capacidad de vivir tanto dentro como fuera del agua, se amplían las posibles interacciones con los usuarios, ya que se pueden encontrar en las áreas de recreación, como canchas o pistas deportivas. Esto puede resultar en afectaciones al bienestar y la salud de los usuarios debido a una manipulación inadecuada (Figura 22).

De acuerdo con lo anterior, el enfoque de interacción con los usuarios es:

La estrategia de manejo y control de *Procambarus clarkii* debe contemplar su biología y ecología, así como las dinámicas de uso y aprovechamiento de los parques por parte de los ciudadanos, para disminuir la probabilidad de interacción entre unos y otros y de esta manera, evitar posibles afectaciones al bienestar y salud de los usuarios.

3. Emisiones Gases Efecto Invernadero (GEI) y economía circular

La descomposición de la materia orgánica genera emisiones de gases de efecto invernadero, en particular dióxido de carbono y metano. Por esta razón, es crucial garantizar una disposición adecuada de la biomasa resultante del proceso de manejo y control de *P. clarkii*. Esto ayudaría a reducir la emisión de estos gases mediante su incorporación en cadenas de economía circular, lo que a su vez contribuiría a la mitigación del cambio climático.

Colombia ha estado desarrollando políticas, instrumentos de planeación y proyectos orientados a la adaptación y mitigación del cambio climático a nivel nacional, regional y sectorial. Desde la Alcaldía Mayor de Bogotá, se ha propuesto en el Plan de Desarrollo “Cambiar nuestros hábitos de vida para reverdecer a Bogotá y adaptarnos y mitigar el cambio climático”. Como resultado, el IDRDR está realizando importantes esfuerzos para lograr

este objetivo a través de proyectos como la certificación del Parque Central Simón Bolívar en el primer parque urbano carbono neutro de América Latina. También se está considerando la producción de harinas a partir de la biomasa resultante del proceso de manejo y control de *P. clarkii* como una forma de inactivar patógenos y eliminar la posibilidad de contaminación o nuevas infestaciones en fuentes hídricas debido a un manejo inadecuado de este material biogénico después de las capturas. Además, estas harinas pueden tener un alto potencial de uso debido a su valor nutricional y la presencia de quitina en el exoesqueleto de la especie.

El manejo y control de una especie invasora, ya sea animal o vegetal, involucra un componente clave que es la adecuada disposición de la biomasa resultante. En muchos casos, este aspecto no se aborda con la rigurosidad necesaria, lo que puede dar lugar al aumento de otros problemas asociados. Abordar esta cuestión requiere enfoque, investigación, creatividad e innovación, ya que la solución para la disposición de los residuos sólidos no puede seguir dependiendo exclusivamente de rellenos sanitarios, cuya capacidad es limitada.

Para abordar estos desafíos y encontrar soluciones que cumplan con los requisitos mencionados, el enfoque de la economía circular, como modelo de producción y consumo, puede proporcionar alternativas viables. A través de investigación e innovación, la economía circular puede cumplir con las expectativas del mercado, las metas ambientales y los objetivos de costos. Por lo tanto, el enfoque metodológico para el manejo y control de la especie *Procambarus clarkii* en los parques bajo la jurisdicción del IDRD debe tener como objetivo estratégico la reducción de emisiones debidas a la descomposición de la biomasa y la disminución de la contaminación causada por residuos sólidos orgánicos. Esto implica proponer alternativas de aprovechamiento que garanticen la sostenibilidad de los procesos, como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de conversión de la biomasa de cangrejo rojo americano (Procambarus clarkii) en harina.



Fotos: Claudia Ruiz y Nancy Burgos.

De acuerdo con lo anterior, el enfoque para reducción de GEI y economía circular parte de la metodología así:

El manejo y control de la especie *P. clarkii* en los parques bajo la jurisdicción del IDRD debe tener como objetivo estratégico la reducción de las emisiones causadas por la descomposición de la biomasa y la minimización de la contaminación por residuos sólidos orgánicos. Para lograrlo, es esencial producir harinas que ofrezcan alternativas de aprovechamiento viables que aseguren la sostenibilidad de los procesos.

4. Manejo y control de la especie *Procambarus clarkii*

4.1. Etapa de inspección

El manejo y control de una especie invasora, debido a su complejidad, debe llevarse a cabo en tres etapas fundamentales: la inspección inicial para evaluar el estado de la población, la implementación de medidas de manejo y control, y el seguimiento y la evaluación. Estas etapas son cruciales para garantizar la efectividad del proceso y, en caso necesario, tomar acciones de mejora de manera adaptativa. Es importante tener en cuenta que las medidas implementadas no solo afectan a la especie invasora en cuestión, sino a todo el ecosistema en el que se encuentra. Por lo tanto, es esencial tomar todas las medidas necesarias para evitar la perturbación de otras especies y para preservar la capacidad del ecosistema de proporcionar sus servicios ambientales de manera adecuada.

En la etapa de inspección, la observación juega un papel fundamental, ya que proporciona información valiosa sobre la biología y ecología de la especie invasora. Esta información incluye detalles sobre sus hábitos de crecimiento, reproducción, ciclo de vida, alimentación, hábitat y comportamiento en el área intervenida. Esta información se compara luego con la literatura existente a nivel mundial (Figura 2).

Este primer acercamiento permite comprender las diferencias ecológicas de la especie en un ecosistema específico en comparación con su hábitat natural. Esto, a su vez, facilita la identificación de posibles medidas de manejo y control que deben ser analizadas teniendo en cuenta los posibles impactos en otras especies que forman parte del ecosistema.

Figura 2. Etapa de observación de la especie invasora *Procambarus clarkii* con el propósito de recoger información inherente a la biología y ecología de la especie.



Fotos: Claudia Ruiz y Nancy Burgos.

Específicamente para los cuerpos de agua de los parques bajo la jurisdicción del IDR, se llevaron a cabo acciones de estandarización relacionadas con la captura, transporte, caracterización de individuos, anestesia, sacrificio y disposición final de la especie. Estas acciones fueron validadas tanto a través de información secundaria como mediante un proceso piloto en el campo. Posteriormente, estas acciones se institucionalizaron para su aplicación con el propósito de cumplir con la reciente normatividad nacional y distrital.

4.2. Etapa implementación de medidas

4.2.1. Captura

Para llevar a cabo esta actividad, se requiere un equipo compuesto por al menos tres (3) operarios que deben estar debidamente capacitados y equipados con implementos de seguridad y herramientas adecuadas según el método de captura. Cada uno de estos métodos de captura se describe a continuación, teniendo en cuenta que se dirigen a segmentos específicos de la población de *P. clarkii* y que cada método puede tener una mayor o menor incidencia en el ciclo reproductivo y en la dinámica de crecimiento poblacional de la especie. Es importante señalar que se debe realizar una jornada de captura cada día utilizando uno de los métodos, lo que permite obtener información sobre los diferentes segmentos de la población y llevar a cabo un control específico para cada uno de ellos (Figura 3).

Figura 3. Equipo de trabajo de Aguas Bogotá durante una jornada de control de la especie *Procambarus clarkii*, en el lago del parque Central Simón Bolívar.



Fotos: Claudia Ruiz y Nancy Burgos.

a. Recolección individuos en la zona de ribera

Los individuos de *Procambarus clarkii* son sensibles a las vibraciones causadas por los pasos de los usuarios que caminan cerca del lago. Por lo tanto, no es común encontrarlos fuera de sus madrigueras o del agua durante las horas de alto tráfico de personas. Sin embargo, en las primeras horas del día, debido a su comportamiento de exploración nocturno, es común encontrarlos en la franja terrestre, especialmente en el costado oriental del lago, cuando hay un aumento en la población durante las épocas de mayores precipitaciones. Por esta razón, y considerando sus hábitos, se recomienda que a las 6 de la mañana, los operarios realicen

un recorrido alrededor del lago para recoger manualmente aquellos individuos que se encuentren fuera del agua (Figura 4).

Para llevar a cabo esta actividad, se requiere que un primer operario camine paralelo al borde del cuerpo de agua a una distancia de tres (3) metros, mientras que el segundo operario debe caminar a una distancia de ocho (8) metros del borde del agua. Esta disposición garantiza la exploración de un área visual que abarca alrededor de 11 o 12 metros desde el borde del agua, dado que se tiene evidencia de que los individuos de *Procambarus clarkii* pueden caminar hasta 10 metros fuera de su hábitat natural. El transporte de los individuos capturados debe realizarse de acuerdo con las pautas que se indican en la guía que se proporcionará posteriormente.

Figura 4. Proceso de recolección manual de la especie Procambarus clarkii en el área riveraña del lago del Parque Simón Bolívar. Actividad realizada como parte de la estrategia de manejo y control de la especie.



b. Trampas

Las trampas utilizadas para capturar a los individuos de *Procambarus clarkii* en su mayoría capturan adultos, con una distribución equitativa de machos y hembras en porcentajes similares. Por lo tanto, el uso de estas trampas está enfocado en controlar la abundancia de la especie dentro del lago.

Las trampas instaladas son cilíndricas con estructuras que forman un embudo en sus lados y una puerta en su lomo. Están construidas con enmallado metálico tipo angeo y su tamaño varía según las características del cuerpo de agua en el que se utilizarán, teniendo en cuenta la profundidad y el área del mismo. Para su identificación cuando están sumergidas, deben estar equipadas con boyas plásticas de color rojo (Figura 5). Estas trampas requieren un programa de mantenimiento semestral que incluye al menos la aplicación de pintura anticorrosiva y la soldadura de áreas rotas o desprendidas.

Figura 5. Trampas para la captura de la especie *Procambarus clarkii* ubicadas al interior del lago del Parque Simón Bolívar, como parte de la estrategia de manejo y control de la especie.



Fotos: Nancy Burgos

En cada trampa se coloca entre 100 y 120 gramos de cebo, que generalmente consiste en riñón o hígado de res. El cebo puede permanecer en la trampa por un período máximo de 5 días. Es importante que las trampas sean revisadas al menos cada 5 días para retirar a los individuos capturados y evitar que permanezcan en ellas durante demasiado tiempo. Una vez que se han retirado los individuos, las trampas deben volver a su lugar dentro del cuerpo de agua (Figura 5).

Figura 6. Procedimiento de incorporar en cada trampa el cebo para atraer a los individuos de *Procambarus clarkii*



Fotos: José Moncaleano

La cantidad de trampas que se deben utilizar debe basarse en los resultados de las mediciones de densidad y tamaño de la población obtenidos durante la fase de investigación para cada cuerpo de agua.

Es importante georeferenciar la ubicación de las trampas para contar con información que permita determinar si existen cambios en la dinámica de distribución de la población dentro del cuerpo de agua. Si es necesario mover alguna trampa de acuerdo con las indicaciones de un profesional especializado del IDRD, se debe registrar la fecha de reubicación y las coordenadas de la nueva ubicación (consultar Figura 7).

Figura 7. Mapa de georreferenciación de trampas para la captura de la especie *Procambarus clarkii* y delimitación del perímetro del lago en tramos equidistantes con el fin de recoger información que permita establecer cambios en la dinámica de la distribución de la población al interior del cuerpo de agua.



Fuente: elaboración propia

c. Jamas

Las jamas se utilizan principalmente para capturar individuos jóvenes de menos de 50 mm de tamaño y huevos eclosionados, por lo que su uso está enfocado en el control de la población juvenil de *Procambarus clarkii*.

El equipo de operarios debe contar con al menos 2 jamas para la captura de individuos juveniles. Estas jamas deben tener un mango de 2.5 metros de largo y 1.5 pulgadas de ancho, preferiblemente fabricado en aluminio, y estar equipadas con malla tipo mosquitero.

El procedimiento para utilizar las jamas consiste en arrastrarlas sobre la zona litoral del lago, recolectando muestras de algas y sedimento. Luego, estas muestras se depositan en la orilla y se realiza una revisión minuciosa del contenido para identificar ejemplares jóvenes y huevos que puedan estar depositados en las algas. Además, las jamas también se utilizan para capturar individuos que se encuentren expuestos en la zona litoral del cuerpo de agua (Figura 8).

*Figura 8. Recolección mediante la técnica con jama de la especie *Procambarus clarkii* en la zona litoral del lago del Parque Simón Bolívar. Actividad realizada como parte de la estrategia de manejo y control de la especie.*



Fotos: Nancy Burgos

d. Captura manual – madrigueras

La captura manual se enfoca principalmente en recolectar hembras con huevos, con el objetivo de cortar el ciclo reproductivo de la población.

Para llevar a cabo la captura manual, se debe realizar una exploración manual de las madrigueras, tanto en la zona de orilla del lago como en los canales de escorrentía, con el fin de atrapar de manera manual a los individuos que se resguardan en su interior (Figura 9).

*Figura 9. Recolección manual de la especie *Procambarus clarkii* en la zona litoral del lago del Parque Simón Bolívar. Actividad como parte de la estrategia de manejo y control de la especie.*



Fotos: Nancy Burgos

4.2.1. Captura

El equipo de operarios encargados de la captura de individuos de *Procambarus clarkii* en el lago del Parque Central Simón Bolívar realiza un recorrido que dura entre 3 y 4 horas, dependiendo del método de captura utilizado. Esto significa que los individuos capturados al comienzo de las labores deben esperar alrededor de 5 horas antes de ser sometidos al proceso de insensibilización.

Por esta razón, se utiliza un recipiente tipo nevera plástica con agua, mantenida a una temperatura entre 1 y 4 grados centígrados, para el transporte de los animales capturados. Esto garantiza que los individuos, al estar en contacto con el agua fría, entren en un estado de adormecimiento que les permita ser transportados al lugar de sacrificio sin experimentar estrés (Figura 10).

Figura 10. Método de transporte de individuos capturados de Procambarus clarkii durante las jornadas de manejo y control de la especie en el lago del Parque Central Simón Bolívar



Es fundamental tener en cuenta que la etapa de transporte es la actividad del proceso en la que los individuos capturados pueden experimentar más estrés. Por lo tanto, es necesario tomar todas las medidas posibles para minimizar este estrés y garantizar el bienestar de los animales durante el transporte.

4.2.3. Anestesia / Insensibilizado

Se evidenció que los individuos capturados, cuando se exponen a temperaturas inferiores a 4 grados centígrados, entran en un estado de insensibilidad, tal como se menciona en el estudio de (Gómez Cestagalli, 2014) relacionado con el proceso de preparación de harina de cangrejo de río. Otros autores han sugerido el uso de eugenol, pero de acuerdo con las pruebas realizadas al respecto, se evidencia que esta sustancia no produce ningún efecto anestésico en los animales y, por lo tanto, no se utilizó en el proceso.

El proceso de insensibilización se debe llevar a cabo diariamente y comienza con la disposición de los individuos capturados en un recipiente con agua a temperaturas inferiores a 4 grados centígrados en el lugar de captura y durante el transporte local. Luego, los individuos deben ser trasladados al lugar designado para el proceso de insensibilizado, donde se cuenta con un refrigerador que mantiene una temperatura constante de -1°C . Los individuos capturados deben ser retirados del contenedor en el que fueron transportados y puestos en el congelador durante un período mínimo de 24 horas (Figura 11).

*Figura 11. Proceso de insensibilización de los individuos de *Procambarus clarkii* desde la fase de captura en el lago donde se disponen en contenedores con temperaturas menores a 4° (neveras portátiles), hasta su traslado a refrigeradores con temperaturas constantes a -1° en donde se garantiza su insensibilización total.*



Fotos: José Moncaleano y Equipo de Trabajo de Aguas Bogotá.

4.2.4. Sacrificio

El sacrificio de *P. clarkii* se realiza separando la cabeza del cuerpo mediante un procedimiento mecánico sobre el punto medio del cefalotórax, en un término inferior a 2 segundos (Figura 12).

Figura 12. Sitio recomendado para realizar el proceso de separación de la cabeza del resto del cuerpo



4.2.5. Disposición final

Es recomendable llevar a cabo investigaciones relacionadas con el potencial aprovechamiento de la biomasa resultante del proceso de manejo y control de *P. clarkii*. Esto considerando las posibilidades de utilizarla una vez se transforme en harinas libres de patógenos y con su alto contenido de nutrientes, tal como se describe en la cartilla 4 de la presente publicación. Se sugiere que la totalidad de la biomasa se procese en harinas, de manera que se pueda cambiar su estatus de residuos peligrosos a residuos orgánicos que puedan ser potencialmente aprovechados o recogidos de manera segura por entidades con las debidas autorizaciones para el manejo y procesamiento de residuos orgánicos.

De acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas en los individuos capturados de *P. clarkii*, se ha establecido un proceso estandarizado para producir harinas a partir de la biomasa de esta especie en el Parque Central Simón Bolívar. Estas harinas son libres de patógenos y poseen un alto valor nutricional, como se detalla en la cartilla 4.

4.3. Etapa de evaluación y seguimiento

El control y manejo adecuado y efectivo de la especie invasora *Procambarus clarkii*, requiere información constante para maximizar la eficacia de las medidas adoptadas o para la toma de decisiones oportunas. Por tal razón, las variables identificadas para ser monitoreadas por medio de la toma constante de datos son:

4.3.1. Georeferenciación de trampas

La localización de las trampas es fundamental porque permite, por medio de la cantidad de individuos capturados en ellas y sus características, establecer movimientos de la población o aspectos relevantes de su comportamiento que pueden orientar y ajustar el proceso de para su manejo y control. Por tanto, es relevante contar con el registro de fechas de instalación de las trampas en una ubicación específica, fechas de cambio del cebo, datos de cantidades de individuos capturados en cada una y aspectos como el sexo, peso y longitud.

4.3.2. Caracterización de individuos capturados

Los datos identificados como relevantes para el estudio constante de la población de *P. clarkii* presente en los cuerpos de agua de los parques incluyen el sexo, peso y, de ser posible, longitud total, ancho de tórax y observaciones generales como la presencia de huevos en el interior o en el exterior de las hembras, cambios de coloración, pérdida de extremidades, entre otros.

Se debe caracterizar y registrar adecuadamente todos los individuos capturados utilizando el formato establecido para este propósito. La diferenciación sexual se llevará a cabo a partir del dimorfismo presente en los pleópodos, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Dimorfismo sexual en *P. clarkii*



El peso se tomará con el animal vivo utilizando para ello una pesa digital. La longitud total se tomará con la ayuda de un calibrador, desde el final del telson hasta la punta del rostro. El ancho de tórax se tomará con la ayuda de un calibrador, colocándolo a ambos lados del cefalotórax.

4.3.3. Características físico - químicas y microbiológicas del agua

Deberá tomarse muestras de agua mensualmente en al menos cinco sitios del lago para analizar los siguientes parámetros:

Tensoactivos	Fósforo total.
PH	Fosfatos
Temperatura	Nitrógeno total.
Color	Nitrógeno amoniacal.
Turbiedad	Nitratos.
Coliformes fecales	Nitritos.
Coliformes termo-tolerantes	Cloruros
Coliformes totales	Sólidos suspendidos totales.
Oxígeno disuelto	Sólidos disueltos totales.
Sólidos totales	Grasas y aceites.
Sólidos disueltos	Fitoplancton
DBO 5	Zooplancton
DQO	
Conductividad	

Es importante garantizar que la calidad del agua en los cuerpos de agua de los parques cumpla con los estándares de calidad para contacto secundario según los decretos 3930 de 2010 y 1594 de 1984.

Para monitorear la calidad del agua de manera regular, se llevarán a cabo análisis trimestrales en muestras compuestas que incluirán los siguientes metales: Mercurio, Plomo, Cadmio, Cobre, Zinc, Níquel y Cromo.

Después de cada muestreo, se analizarán los resultados para identificar cualquier factor que pueda impactar positiva o negativamente en los hábitos de los individuos de *P. clarkii* y, en consecuencia, realizar ajustes en las medidas de manejo y control según sea necesario.

RESULTADOS PRELIMINARES DE LA CALIDAD SANITARIA Y NUTRICIONAL DE LAS HARINAS OBTENIDAS DE LA BIOMASA DE *P. clarkii* Y SUS USOS POTENCIALES

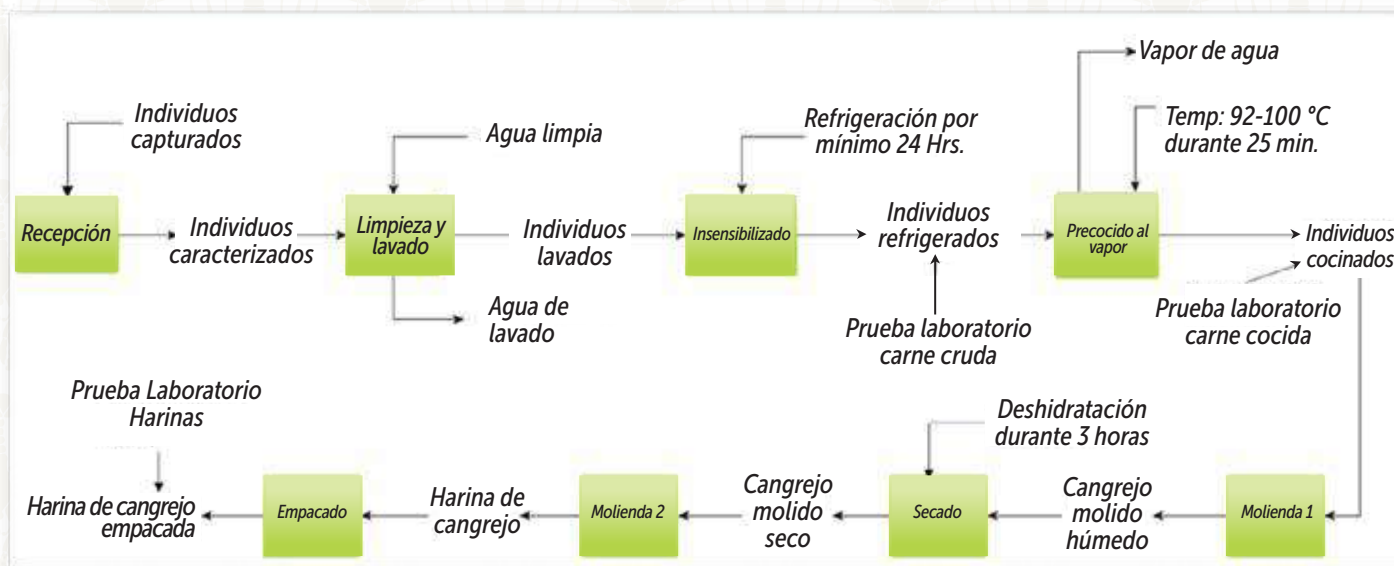
Para obtener información relevante sobre la calidad de la biomasa resultante del proceso de manejo y control de *P. clarkii* se llevaron a cabo análisis de laboratorio en muestras de carne cruda, carne cocida y harinas producidas en el laboratorio. El procedimiento establecido por el IDRD para la manipulación de la biomasa se enfocó en la producción de harinas para abordar principalmente tres problemáticas:

- **Eliminación de patógenos:** Eliminación de cualquier patógeno que podría representar un riesgo para la salud humana o de animales de compañía en caso de consumo o interacción con la especie.
- **Reducción de biomasa resultante:** La producción de harinas implica un proceso de deshidratación que permite reducir significativamente el peso total de la biomasa, logrando una disminución de hasta un 50%.
- **Reducción de emisiones por descomposición o incineración:** Las harinas tienen un alto potencial de aprovechamiento por los altos valores nutricionales que presentan

1. Metodología

Durante un año, se llevó a cabo un proceso de estandarización de una metodología para producir harinas a partir de la biomasa de *Procambarus clarkii*. Este proceso permitió definir las temperaturas mínimas de cocción y el período mínimo de deshidratación necesario para obtener harinas libres de patógenos y determinar los parámetros nutricionales resultantes.

Los resultados de estas pruebas llevaron al desarrollo de una propuesta metodológica para la producción de harinas con potencial de aprovechamiento (Figura 1)



1.1. Pruebas de laboratorio

a. Carne cruda

Después de pasar por el proceso de insensibilización y sacrificio, los individuos se pesan y luego se procesan a través de un molino manual para carne. Posteriormente, se empaican y se vuelven a pesar para asegurarse de que se cumplan las cantidades mínimas requeridas por el laboratorio, que son aproximadamente 750 gramos (Figura 1).

Los análisis de laboratorio de la carne cruda tienen como objetivo identificar patógenos presentes, validar la información relacionada con los valores nutricionales encontrados en la literatura y obtener otros datos que contribuyan a comprender la relación de la especie con el ecosistema donde se encuentra, en este caso, el lago del Parque Central Simón Bolívar.

Figura 1. Preparación de muestras de carne cruda



Foto: Claudia Ruiz



Fotos: Equipo Investigador IDRD



b. Carne cocida al vapor

En el proceso de preparación de harinas, uno de los pasos fundamentales es el cocido al vapor de la carne de *P. clarkii*, ya que en esta etapa se busca eliminar los patógenos que pudieran estar presentes. A través de los análisis de laboratorio, se buscó identificar los valores óptimos para el proceso en relación con la temperatura y el tiempo de cocción, ya que estos son factores clave para lograr eliminar los patógenos sin destruir las propiedades nutricionales.

El proceso comienza pesando de los individuos sacrificados, luego se colocan en una canastilla al interior de una olla con agua, asegurándose de que el agua no toque la carne. La olla se cierra y se controla la temperatura en su interior mediante un termómetro, asegurándose de alcanzar los 92°C. Una vez que se alcanza esta temperatura, se inicia el registro del tiempo, que no debe superar los 25 minutos. Después de la cocción, la carne se pesa nuevamente y se pasa por un molino para carne. Posteriormente, se empaica en bolsas resellables marcadas y se pesa hasta alcanzar las cantidades requeridas en el laboratorio, que son un mínimo de 750 gramos (Figura 2).

Figura 2. Preparación muestras "Carne cocida al vapor"



Fotos: Claudia Ruiz

c. Harina

Luego de moler la carne cocida al vapor, ésta se coloca en el deshidratador, cuyo objetivo es eliminar aproximadamente el 90% del agua presente en la carne. Sin embargo, este proceso también necesita ser validado a través de análisis de laboratorio para establecer la relación óptima entre la temperatura y el tiempo. De esta manera, se busca lograr la eliminación de la humedad mientras se conservan los nutrientes identificados tanto en las muestras de carne cruda como de carne cocida.

La carne cocida y molida se esparce en una bandeja de acero inoxidable con agujeros, asegurándose de que quede una capa lo más fina posible. Estas bandejas se introducen en el equipo deshidratador durante 3 horas a una temperatura máxima de 70 o C. Una vez finalizado el proceso de deshidratación, el producto pasa por el molino para harina, donde finalmente se obtiene un producto arenoso y seco. Luego, se empaca en bolsas resellables marcadas y se pesa para alcanzar las cantidades requeridas por el laboratorio (Figura 3).

Figura 3. Preparación muestras "Harina"



Foto: Claudia Ruiz

Fotos: Equipo Investigador IDRD

1.2. Laboratorio y parámetros

Las pruebas se realizaron en laboratorios debidamente acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia-ONAC con respecto a los requerimientos especificados en la norma internacional ISO/IEC 17025:2017 y con alcance al anexo 15-LAB-050.

Respecto a los parámetros analizados, éstos se agruparon en aspectos fisicoquímicos y microbiológicos.

En la siguiente tabla se puede apreciar todos los parámetros que se analizaron:

Tabla 1. Parámetros analizados

Parámetro	Método
Arsénico	AOAC 985.15 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica, Generación de hidruros)
Búsqueda de <i>Campylobacter</i> spp.	ISO 10272-1:2017
Búsqueda de <i>E. coli</i>	ISO 16649-2:2001. Acreditado
Búsqueda de <i>Listeria Monocytogenes</i>	ISO 11290-1:2017. Acreditado
Búsqueda de <i>Salmonella</i> spp.	ISO 6579-1:2017. Acreditado
Búsqueda de <i>Vibrio cholerae</i>	ISO 21872-1:2007
Cadmio	AOAC 985.35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)
Calcio	AOAC 985.35 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)
Calorías	Determinación indirecta factor de Atwater
Carbohidratos disponibles	Cálculos por diferencia
Carbohidratos Totales	Cálculos por diferencia
Ceniza	Gravimetría, Calcinación
Ceniza (en alimentos para animal)	AOAC 942.05 Ed 21:2019 (Gravimetría, Calcinación a 600 oC) Acreditado
Cenizas	P-LF-001 versión 5 (Gravimetría, calcinación a 600 oC)
Excreta animal	AACC 28-50.01
Fibra Cruda	AOAC 962.09. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida, alcalina y calcinación)
Grasa	AOAC 922.06. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida)
Grasa	P-LF-003 versión 2 (Extracción etérea, Soxhlet)
Humedad	P-LF-008 versión 3 (gravimetría - Secado en estufa a 105 oC)
Humedad y materia volátil (en alimentos para animal)	NTC 4888:2000 (adopción equivalente de la ISO 6496:1999)
Índice de Peróxidos	Yodometría
Mercurio	AOAC 977.15 Ed 20:2016 (Espectrofotometría de adsorción atómica, Generación de hidruros)
Nitrogeno Volátil Total	Arrastre con vapor
Número más probable de Coliformes Fecales	ISO 7251-1:2005
Número más probable de Coliformes Totales/	ISO 4831:2006
Plomo	AOAC 985.35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)
Proteína Total	ISO 1871:2009 (Alimento para consumo humano y animal) Acreditado
Recuento coliformes	ISO 4832:2006 Acreditado
Recuento de Aerobios Mesófilos	ISO 4833-1:2013. Acreditado
Recuento de Aerobios Mesófilos	P-LM-049:2017. Rev 3. Acreditado
Recuento de <i>Bacillus cereus</i>	ISO 7932:2004. Acreditado
Recuento de Coliformes Totales	ISO 4832:2006 Acreditado
Recuento de <i>E. coli</i> genérico	ISO 16649-2:2001. Acreditado
Recuento de esporas <i>Clostridium sulfito reductor</i>	ISO 15213:2003. Acreditado
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)	ISO 21527-2:2008. Acreditado
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva	ISO 6888-1:1999 Acreditada
Sólidos Totales	AOAC 925.10 Ed 21:2019 (gravimetría)

2. Resultados preliminares

2.1. Proceso de elaboración harina

Tal como se mencionó al inicio, teniendo en cuenta los resultados de los análisis, se puede establecer que la relación óptima entre temperatura y tiempo para los procedimientos de cocción y deshidratación son:

Cocción al vapor:
92 oC – 25 minutos

Deshidratación:
70 oC – 2 horas

Durante el proceso de preparación de la harina, la biomasa pierde peso, pérdida de alrededor del 60%.

Rendimiento del proceso:
40% de harina

2.2. Resultados Sanitarios

Para determinar la calidad sanitaria de la harina, se realizaron análisis a parámetros microbiológicos para la "Carne Cruda" (como línea base), para la "Carne Cocida al Vapor" (validación de la eficiencia de esta etapa del proceso) y "harina" (validación del producto final).

a. Carne cruda

Los parámetros analizados en las muestras de carne cruda se centraron en la detección de ciertos patógenos y el recuento de otros, lo cual en algunos casos se comparó con los requisitos del Invima y, más específicamente, con los establecidos en la Resolución 122 del 2012 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social y sus modificaciones. A continuación, se presentan las tablas correspondientes:

Tabla 2. Resultados "Búsqueda" patógenos en muestras de carne cruda

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012
Búsqueda de <i>Campylobacter spp.</i>	ISO 10272-1:2017	Ausente	-
Búsqueda de <i>Listeria Monocytogenes</i>	ISO 11290-1:2017 Acreditado	Presente	-
Búsqueda de <i>Salmonella spp.</i>	ISO 6579-1:2017 Acreditado	Ausente	Ausente
Búsqueda de <i>Vibrio cholerae</i>	ISO 21872-1:2007	Ausente	Ausente

Tabla 3. Resultados "Recuento" patógenos respecto a indicaciones del Invima para carne cruda

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012
Número más probable de Coliformes Fecales	ISO 7251-1:2005	<3	120 – 1.100
Número más probable de Coliformes Totales/	ISO 4831:2006	>1.100	-
Recuento de Aerobios Mesófilos	P-LM-049:2017. Rev 3. Acreditado	>3.000.000	-
Recuento de Coliformes Totales	ISO 4832:2006 Acreditado	>15.000	-
Recuento de <i>E. coli</i> genérico	ISO 16649-2:2001. Acreditado	90	10 - 400
Recuento de esporas <i>Clostridium</i> sulfito reductor	ISO 15213:2003. Acreditado	60	100 – 1.000
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva	ISO 6888-1:1999 Acreditada	<100	100 – 1.000

En resumen, el consumo de carne cruda presenta un riesgo debido a la presencia de patógenos o a su alta susceptibilidad para la proliferación de estos, como se puede observar en los resultados del recuento de Aerobios Mesófilos y la detección de *Listeria monocytogenes* en una de las muestras, lo que puede causar la enfermedad conocida como la listeriosis (The Center for Food Security & Public Health; Institute for International Cooperation in Animal Biologics, 2007).

b. Carne cocida

Los parámetros analizados en las muestras de carne cocida se centraron en la detección de ciertos patógenos y el recuento de otros; estos resultados se compararon con las especificaciones del Invima y con los resultados de las muestras de carne cruda para evaluar la eficacia del proceso de cocción en la eliminación o reducción de patógenos, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 4. Resultados "Búsqueda" patógenos en muestras de carne cocida al vapor

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012
Búsqueda de <i>Campylobacter spp.</i>	ISO 10272-1:2017	Ausente	-
Búsqueda de <i>Listeria Monocytogenes</i>	ISO 11290-1:2017 Acreditado	Ausente	-
Búsqueda de <i>Salmonella spp.</i>	ISO 6579-1:2017 Acreditado	Ausente	Ausente
Búsqueda de <i>Vibrio cholerae</i>	ISO 21872-1:2007	Ausente	Ausente

Con relación a la presencia de *Listeria monocytogenes*, para las muestras de carne cocida al vapor, el resultado es "ausente" igual que en el resto de los parámetros de búsqueda analizados. Esto corrobora que la relación temperatura-tiempo definida en esta etapa del proceso es adecuada para la eliminación de patógenos.

Tabla 5. Resultados "recuento" patógenos respecto a indicaciones del Invima y respecto a los resultados de la carne cruda para carne cocida al vapor

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012	Resultados Carne Cruda
Recuento de Aerobios Mesófilos	P-LM-049:2017. Rev 3. Acreditado	4.800	-	>3.000.000
Recuento de Coliformes Totales	ISO 4832:2006 Acreditado	120	-	>15.000
Recuento de E. coli genérico	ISO 16649-2:2001. Acreditado	<10	-	90
Recuento de esporas <i>clostridium</i> sulfito reductor	ISO 15213:2003. Acreditado	<10	100 – 1.000	60
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva	ISO 6888-1:1999 Acreditada	<100	100 – 1.000	<100
Recuento Coliformes	ISO 4832:2006 Acreditado	440	100 – 500	

Los resultados evidencian que con el proceso de cocción la carne queda libre de patógenos y puede utilizarse en las siguientes etapas del proceso.

c. Harina

Los parámetros analizados para las muestras de harina se enfocaron en la búsqueda de ciertos patógenos y el recuento de otros, estos resultados se comparan con las especificaciones del Invima y con los resultados de las muestras de carne cruda, con el fin de determinar las condiciones del producto final respecto a la presencia de patógenos, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 6. Resultados "Búsqueda" patógenos en muestras de harina

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012
Búsqueda de <i>Listeria Monocytogenes</i>	ISO 11290-1:2017. Acreditado	Ausente	-
Búsqueda de <i>Slamonella spp.</i>	ISO 6579-1:2017 Acreditado	Ausente	-
Búsqueda de <i>Vibrio cholerae</i>	ISO 21872-1:2007	Ausente	Ausente
Busqueda de <i>E. coli</i>	ISO 16649-2:2001. Acreditado	Ausente	Ausente

Tabla 7. Resultados "Recuento" patógenos respecto a indicaciones del Invima y respecto a los resultados de la carne cruda para harina

Parámetro	Método	Resultado	Resolución 122/2012	Resultados Carne Cruda	Resultados Carne Cocida
Recuento de Aerobios Mesófilos	ISO 4833-1:2013. Acreditado	1.000	Sin Especificación	>3.000.000	4.800
Recuento de Coliformes Totales	ISO 4832:2006 Acreditado	70	Sin Especificación	>15.000	120
Recuento de <i>E. coli</i> genérico	ISO 16649-2:2001. Acreditado	Ausente	Sin Especificación	90	<10
Recuento de esporas <i>Clostridium sulfito reductor</i>	ISO 15213:2003. Acreditado	<10	100 – 1.000	60	<10
Recuento de <i>Bacillus cereus</i>	ISO 7932:2004. Acreditado	<100	Sin Especificación	-	-
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)	ISO 21527-2:2008. Acreditado	<10	1.000	-	-

Los resultados demuestran la eficacia del proceso completo para eliminar o reducir a niveles aceptables los microorganismos presentes en los individuos sacrificados de *Procambarus clarkii*, cuya biomasa se transforma en harina.

Resultado Sanitario:
Libre de patógenos

2.3. Resultados Nutricionales

Según la literatura consultada, el cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) posee una cantidad significativa de proteínas, vitaminas y minerales, como se puede observar en la tabla 8 (USDA *National Nutrient Database for Standard Reference, 2013*).

Se llevaron a cabo análisis para identificar metales pesados y aspectos fisicoquímicos relevantes que determinen su potencial uso futuro, ya sea como suplemento alimenticio para mascotas o en la producción de abonos. Los resultados reflejan las cantidades de cada parámetro evaluado, lo que nos permite analizar el impacto de cada etapa del proceso de elaboración de harina en las concentraciones de estos elementos. Se busca determinar la relación entre temperatura y tiempo que tenga el menor impacto en la calidad nutricional del producto final.

Tabla 8. Composición nutricional de *P. clarkii* según USDA, 2013

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (350 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	77	71	3000	2300
Proteínas (g)	16	14,7	54	41
Lípidos totales (g)	1	0,9	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,159	0,15	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,174	0,16	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,293	0,27	17	13
w-3 (g)	0,184	0,169	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (w-6) (g)	0,052	0,048	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	114	105	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	0	0	375-413	288-316
Fibra (g)	0	0	>35	>25
Agua (g)	82,2	75,5	2.500	2.000
Calcio (mg)	27	24,8	1000	1000
Hierro (mg)	0,84	0,8	10	18
Yodo (ug)	-	-	140	110
Magnesio (mg)	27	24,8	350	330
Zinc (mg)	1,3	1,2	15	15
Sodio (mg)	58	53,2	>2000	>2000
Potasio (mg)	302	277	3500	3500
Fósforo (mg)	256	235	700	700
Selenio (ug)	31,6	29	70	55
Tiamina (mg)	0,07	0,06	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,03	0,03	1,8	1,4
Equivalentes de niacina (mg)	2,21	2	20	15
Vitamina B6 (mg)	0,11	0,1	1,8	1,6
Folatos (ug)	37	34	400	400
Vitamina B12 (ug)	2	1,8	2	2
Vitamina C (mg)	1,2	1,1	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (ug)	16	14,7	1000	800
Vitamina D (ug)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	2,85	2,6	12	12

a. Carne cruda

Los parámetros analizados en las muestras de carne cruda establecen la línea base para esta fase, enfocándose en determinar el contenido de ciertos metales pesados y aspectos fisicoquímicos relevantes. Estos resultados se comparan con los niveles máximos definidos en la resolución No. 4506 de 2013 expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social y el Codex Stan 193-1995, que son las referencias nacionales e internacionales para alimentos.

Tabla 9. Resultados análisis fisicoquímicos (Metales pesados) para carne cruda

Parámetro	Método	Unidades	Resultados	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2013)	(Codex Alimentarius - Codex Stan 193-1995, 1995)
Arsénico	AOAC 986.15 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de absorción atómica, Generación de hidruros)	mg/Kg	<0,00015	0,5	0,015 ¹
Cadmio	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/Kg	0,115	1,0	2 ²
Mercurio	AOAC 977.15 Ed 20:2016 (Espectrofotometría de adsorción atómica, Generación de hidruros)	mg/Kg	<0,00018	0,1	0,1
Plomo	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/Kg	<0,039	0,1	0,1

Como se puede apreciar, los resultados para la muestra de carne cruda de *P. clarkii* capturados en el lago del Parque Central Simón Bolívar, contienen cantidades por debajo de las máximas permitidas para alimentos por la autoridad nacional y la internacional.

Los parámetros fisicoquímicos se comparan con lo encontrado en la literatura consultada (USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2013).

¹ Referencia toxicológica: ISTP 1988 para el arsénico inorgánico. La arsenobetaina, principal forma del arsénico presente en el pescado y los crustáceos se considera no tóxica. En los crustáceos, los moluscos y las algas se presentan derivados del dimetilarsinoilribosido ("arsenoazúcares"), cuya posible toxicidad no se conoce con detalle. Sólo un porcentaje bajo del arsénico total presente en el pescado es inorgánico, que es la única forma para la cual el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) ha establecido un valor de referencia toxicológica similar (ISTP).

² Referencia Toxicológica: IM0151 Moluscos marinos vivales y IM0152 Cefalopodos.

Tabla 10. Resultados análisis fisicoquímicos para carne cruda

Parámetro	Método	Unidades	Resultados	USDA, 2013
Calcio	AOAC 985.35 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/100g	4.374	27
Calorías	Determinación indirecta factor de Atwater	Kcal/100g	62	77
Carbohidratos disponibles	Cálculos por diferencia	g/100g	1,9	0
Carbohidratos Totales	Cálculos por diferencia	g/100g	6,6	0
Ceniza (en alimentos para animal)	AOAC 942.05 Ed 21:2019 (Gravimetría, Calcinación a 600 oC) Acreditado	g/100g	13,8	N/A
Fibra Cruda	AOAC 962.09. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida, alcalina y calcinación)	g/100g	4,7	0
Grasa	AOAC 922.06. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida)	g/100g	1,5	1
Humedad y materia volátil (en alimentos para animal)	NTC 4888:2000 (adopción equivalente de la ISO 6496:1999)	g/100g	73,3	82,2
Proteína Total	ISO 1871:2009 (Alimento para consumo humano y animal) Acreditado	g/100g	10,7	16
Sólidos Totales	AOAC 925.10 Ed 21:2019 (gravimetría)	g/100g	29,5	N/A

Los resultados muestran diferencias significativas en comparación con los datos encontrados en la literatura, lo cual podría estar relacionado con las condiciones particulares del ecosistema donde se capturan los individuos. Estas diferencias deberían analizarse en conjunto con parámetros ambientales, calidad del agua, evaluación de zooplancton y fitoplancton, así como análisis de suelos.

b. Carne cocida

Los parámetros analizados en las muestras de carne cocida al vapor en esta fase tienen como objetivo determinar el contenido de metales pesados y aspectos fisicoquímicos relevantes.

Los resultados se comparan con los niveles máximos establecidos en la resolución No. 4506 de 2013 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social y el Codex Stan 193-1995, que son las referencias nacionales e internacionales respectivamente. Además, se comparan con los resultados de la carne cruda para determinar si el proceso de cocción tiene un impacto significativo en la cantidad de nutrientes y los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 11. Resultados análisis fisicoquímicos (Metales pesados) para carne cocida al vapor

Parámetro	Método	Unidades	Resultados	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2013)	(Codex Alimentarius - Codex Stan 193-1995, 1995)	Carne Cruda
Arsénico	AOAC 986.15 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de absorción atómica, Generación de hidruros)	mg/Kg	<0,00015	0,5	0,015 ¹	<0,00015
Cadmio	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/Kg	<0,0084	1,0	2 ²	0,115
Mercurio	AOAC 977.15 Ed 20:2016 (Espectrofotometría de adsorción atómica, Generación de hidruros)	mg/Kg	<0,00018	0,1	0,1	<0,00018
Plomo	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/Kg	<0,039	0,1	0,1	<0,039

¹ Referencia toxicológica: ISTP 1988 para el arsénico inorgánico.

² Referencia Toxicológica: IM0151 Moluscos marinos vivales y IM0152 Cefalopodos.

Los parámetros fisicoquímicos se comparan con lo encontrado en la literatura consultada (USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2013) y con los resultados obtenidos para las muestras de carne cruda

Tabla 12. Resultados análisis fisicoquímicos para carne cocida al vapor

Parámetro	Método	Unidades	Resultados	USDA, 2013	Carne Cruda
Calcio	AOAC 985.35 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/100 g	13.043.3	27	4.374
Calorías	Determinación indirecta factor de Atwater	Kcal/100g	84	77	62
Carbohidratos disponibles	Cálculos por diferencia	g/100g	2,2	0	1,9
Carbohidratos Totales	Cálculos por diferencia	g/100g	11,3	0	6,6
Ceniza (en alimentos para animal)	AOAC 942.05 Ed 21:2019 (Gravimetría, Calcinación a 600 oC) Acreditado	g/100g	18,5	N/A	13,8
Fibra Cruda	AOAC 962.09. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida, alcalina y calcinación)	g/100g	9,1	0	4,7
Grasa	AOAC 922.06. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida)	g/100g	0,4	1	1,5
Humedad y materia volátil (en alimentos para animal)	NTC 4888:2000 (adopción equivalente de la ISO 6496:1999)	g/100g	64,6	82,2	73,3
Proteína Total	ISO 1871:2009 (Alimento para consumo humano y animal) Acreditado	g/100g	21,3	16	10,7
Sólidos Totales	AOAC 925.10 Ed 21:2019 (gravimetría)	g/100g	43,4	N/A	29,5
Índice de Peróxidos	Yodometría	mequiv 02/Kg	<0,1	N/A	N/A
Nitrógeno Volátil Total	Arrastre con vapor	mgN/100g	16,8	N/A	N/A

c. Harina

Los parámetros analizados para las muestras de harina para esta fase buscan establecer contenido de metales pesados y aspectos fisicoquímicos relevantes.

Los resultados se comparan con los niveles máximos definidos en la resolución No. 4506 de 2013 expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social y el Codex Stan 193-1995, que son la referencia nacional y la internacional; además con los resultados de carne cruda y carne cocida, esto con el fin de establecer si el proceso de deshidratación afecta de manera significativa la cantidad de nutrientes y parámetros fisicoquímicos.

Tabla 13. Resultados análisis fisicoquímicos (Metales pesados) para harina

Parámetro	Método	Unid.	Resultados	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2013)	(Codex Alimentarius - Codex Stan 193-1995, 1995)	Carne Cruda	Carne Cocida
Arsénico	AOAC 986.15 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de absorción atómica, Generación de hidruros)	mg/K g	<0,000 15	0,5	0,015 ¹	<0,000 15	<0,00015
Cadmio	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/K g	0,02	1,0	2 ²	0,115	<0,0084
Mercurio	AOAC 977.15 Ed 20:2016 (Espectrofotometría de adsorción atómica, Generación de hidruros)	mg/K g	<0,000 18	0,1	0,1	<0,000 18	<0,00018
Plomo	AOAC 985,35, Modificado Ed. 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/K g	<0,039	0,1	0,1	<0,039	<0,039

Se puede observar que los valores de metales pesados en el producto final (harina de *P. clarkii*) se encuentran muy por debajo de los máximos establecidos por las autoridades nacionales e internacionales para alimentos.

Los resultados se comparan con los datos presentados por Gómez Cestagalli (2014) en su investigación, con relación al contenido nutricional de la harina de cangrejo *P. clarkii*.

¹ Referencia toxicológica: ISTP 1988 para el arsénico inorgánico.

² Referencia Toxicológica: IM0151 Moluscos marinos vivos y IM0152 Cefalópodos.

Tabla 14. Resultados análisis fisicoquímicos para harina

Parámetro	Método	Unid.	Resultados	%	Gómez Cestagalli 2014 (%)	Carne Cruda	Carne Cocida
Calcio	AOAC 985.35 Ed 21:2019 (Espectrofotometría de adsorción atómica)	mg/100g	19.046,1	19,04	17,29	4.374	13.043.3
Calorías	Determinación indirecta factor de Atwater	Kcal/100g	190	-	128.2 ¹	62	84
Carbohidratos disponibles	Cálculos por diferencia	g/100g	3,3	-	-	1,9	2,2
Carbohidratos Totales	Cálculos por diferencia	g/100g	19,8	-	-	6,6	11,3
Ceniza (en alimentos para animal)	AOAC 942.05 Ed 21:2019 (Gravimetría, Calcinación a 600 oC) Acreditado	g/100g	42,7	42,7	29	13,8	18,5
Fibra Cruda	AOAC 962.09. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida, alcalina y calcinación)	g/100g	16,5	-	-	4,7	9,1
Grasa	AOAC 922.06. Ed 21:2019 (hidrólisis ácida)	g/100g	2,7	-	-	1,5	0,4
Humedad y materia volátil (en alimentos para animal)	NTC 4888:2000 (adopción equivalente de la ISO 6496:1999)	g/100g	8,2	-	-	73,3	64,6
Proteína Total	ISO 1871:2009 (Alimento para consumo humano y animal) Acreditado	g/100g	31,8	31,8	50	10,7	21,3

¹ Este dato se muestra en Kcal/100g; en la tabla presentada por Gómez el dato esta en Kcal/Kg, por tanto, se hace la conversión.

Como era de esperarse, en la harina las concentraciones de los parámetros son más altas en comparación con las muestras de carne cruda y carne cocida. En relación a los parámetros que se pudieron comparar con los resultados de Gómez Castagalli (2014), el calcio está un 10% por encima, las calorías un 48% por encima y la ceniza un 47% por encima; sin embargo, la proteína es un 36% menor que la presentada.

El alto contenido de calcio es importante a considerar al definir usos potenciales, como su utilización como suplemento alimenticio para mascotas, debido a su concentración según los resultados obtenidos.

2.4. Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, las harinas producidas a partir de la biomasa obtenida en el proceso de manejo y control de *P. clarkii* tienen un alto potencial para su uso en diversas aplicaciones, como suplementos alimenticios para mascotas o enriquecimiento de abonos.

La abundancia de proteína en las harinas (31,8 g/100g) las convierte en una fuente atractiva, especialmente dada la creciente importancia de la proteína en la nutrición animal y los costos asociados a su producción. Además, los contenidos de metales pesados en las harinas son considerablemente inferiores a los máximos permitidos por las autoridades nacionales e internacionales, lo que respalda su seguridad en términos de calidad. Los resultados también sugieren que el proceso estandarizado utilizado en el Parque Central Simón Bolívar es efectivo para controlar los patógenos.

Sin embargo, es importante destacar que se necesitan investigaciones adicionales en estas áreas para confirmar y aprovechar plenamente estos resultados prometedores.

Referencias bibliográficas

- Agence de L'Eau, 2002. *Les espèces animales et végétales susceptibles de proliférer dans les milieux aquatiques et subaquatiques. Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées, Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables Cécile Nepveu 2001–2002.*
- Águas, M., Banha, F., Marques, M., Anastácio, P.M., 2014. Can recently-hatched crayfish cling to moving ducks and be transported during flight? *Limnol. Ecol. Manag. Inland Waters* 48, 65–70.
- Alcorlo, P., Baltanás, A., 2013. The trophic ecology of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in Mediterranean aquatic ecosystems: a stable isotope study. *Limnetica* 32, 121–138.
- Alcorlo, P., Geiger, W., Otero, M., 2004. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* in habitats differing in food item diversity. *Crustaceana* 77, 435–453.
- Almeida, E., Nunes, A., Andrade, P., Alves, S., Guerreiro, C., Rebelo, R., 2011. Antipredator responses of two anurans towards native and exotic predators. *Amph. Rep.* 32, 341–350, <http://dx.doi.org/10.1163/017353711579849>.
- Alupay, J., Hadjisolomou, S., & Crook, R. (2014). Arm injury produces long-term behavioral and neural hypersensitivity in octopus. *Neuroscience Letters*, 558, 137–142.
- Anastácio, P.M., Banha, F., Capinha, C., Bernardo, J.M., Costa, A.M., Teixeira, A., Bruxelas, S., 2015. Indicators of movement and space use for two co-occurring invasive crayfish species. *Ecol. Indic.* 53, 171–181, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.019>.
- Anastácio, P.M., Correia, A.M., Menino, J.P., 2005b. Processes and patterns of plant destruction by crayfish: effects of crayfish size and developmental stages of rice. *Archiv. Hydrobiol.* 162, 37–51, <http://dx.doi.org/10.1127/0003-9136/2005/0162-0037>.
- Anastácio, P.M., Leite, E.P., Ferreira, M., Vicente, L., Correia, A.M., 2011. Ontogenic shifts in predatory roles involving two invasive species. *Limnol. Ecol. Manag. Inland Waters* 41, 228–234, <http://dx.doi.org/10.1016/j.limno.2010.12.002>.
- Anastácio, P.M., Marques, J.C., 1997. Crayfish, *Procambarus clarkii*, effects on initial stages of rice growth in the lower Mondego River valley (Portugal). *Freshw. Crayfish* 11, 608–617.
- Anastácio, P.M., Parente, V., Correia, A.M., 2005c. Crayfish effects on seeds and seedlings: identification and quantification of damage. *Freshw. Biol.* 50, 697–704, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01343.x>.
- Anastácio, P.M., Soares, M.S.C., Correia, A.M., 2006. Crayfish (*Procambarus clarkii*) consumption of wet seeded rice plants (*Oryza sativa*): modification throughout the rice growing period. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 29, 849–851.
- Anda, P., Segura del Pozo, J., Díaz García, J.M., Escudero, R., García Peña, F.J., López Velasco, M.C., Sellek, R.E., Jiménez Chillarón, M.R., Sánchez Serrano, L.P., Martínez Navarro, J.F., 2001. Waterborne outbreak of tularemia associated with crayfish fishing. *Emerg. Infect. Dis.* 7, 575–582.
- Angeler, D.G., Sánchez-Carrillo, S., García, G., Alvarez-Cobelas, M., 2001. The influence of *Procambarus clarkii* (Cambaridae, Decapoda) on water quality and sediment characteristics in a Spanish floodplain wetland. *Hydrobiologia* 464, 89–98.

- Appel, M., & Elwood, R. (2009). Gender differences, responsiveness and memory of a potentially painful event in hermit crabs. *Animal Behaviour*, 78, 1373-1379.
- Aquiloni, L., Ilheu, M., Gherardi, F., 2005. Habitat use and dispersal of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* in ephemeral water bodies of Portugal. *Mar.Freshw. Behav. Physiol.* 38, 225–236.
- Aquiloni, L., Martín, M.P., Gherardi, F., Diéguez-Urbeondo, J., 2011. The North American crayfish *Procambarus clarkii* is the carrier of the oomycete *Aphanomyces astaci* in Italy. *Biol. Inv.* 13, 359–367.
- Arad, S., & Yaron, A. (1992). Natural pigments from red microalgae for use in foods and cosmetics. *Trends in Food Science and Technology*, 3:92-9.
- Arce, J.A., Diéguez-Urbeondo, J., 2015. Structural damage caused by the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in rice fields of the Iberian Peninsula: a study case. *Fundam. Appl. Limnol.* 186, 259–269, <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2015/0715>.
- Arribas, R., Díaz-Paniagua, C., Gomez-Mestre, I., 2014. Ecological consequences of amphibian larvae and their native and alien predators on the community structure of temporary ponds. *Freshw. Biol.* 59, 1996–2008, <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.12402>.
- Banha, F., Anastácio, P.M., 2011. Interactions between invasive crayfish and native river shrimp. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 401, 1–12, <http://dx.doi.org/10.1051/kmae/2011033>.
- Banha, F., Anastácio, P.M., 2014. Desiccation survival capacities of two invasive crayfish species. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 413, http://dx.doi.org/10.1051/Kmae/2013084.0_01P1-01P5.
- Banha, F., Anastácio, P.M., 2015. Live bait capture and crayfish trapping as potential vectors for freshwater invasive fauna. *Limnol. Ecol. Manag. Inland Waters* 51, 63–69.
- Barbaresi, S., Tricarico, E., Gherardi, F., 2004. Factors inducing the intense burrowing activity by the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, an invasive species. *Naturwissenschaften* 91, 342–345.
- Barr, S., Laming, P., Dick, J., & Elwood, R. (2008). Nociception or pain in a decapod crustacean? *Animal Behaviour*, 75, 745-751.
- Barradas, S.M., Anastácio, P.M., Correia, A.M., 2004. A multiple choice feeding experiment testing crayfish *Procambarus clarkii* potential effects on rice field macrophytes and algae. In: *SIL XXIX congress, Book of Abstracts*, pp. 381–381.
- Barradas, S.M., Anastácio, P.M., Correia, A.M., 2006. Crayfish (*Procambarus clarkii*) consumption of rice field algae (*Pithophora* spp.). *Verein. Limnol.* 29, 1887–1889.
- Bateson, P. (1991). Assessment of pain in animals. *Animal Behaviour*, 42, 827-839.
- Bernardo, J.M., Costa, A.M., Bruxelas, S., Teixeira, A., 2011. Dispersal and coexistence of two non-native crayfish species (*Pacifastacus leniusculus* and *Procambarus clarkii*) in NE Portugal over a 10-year period. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 401 (28).
- Blanch, A. (1999). Use of yellow carotenoids for yolk pigmentation. *International Poultry Production*, 7, 23-25.
- Borrero, M. (2014). *Alimentos funcionales: ¿Una oportunidad para la carne de pollo? - Pollo un mundo de Beneficios*. Bogotá, Colombia: Federación nacional de avicultores – FENAVI, Pontificia universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Bortolotti, G., Negro, J., Tella, J., Tracy, A., & Bird, D. (1996). Sexual dichromatism in birds independent of diet, parasites and androgens. *Proceedings of the Royal Society of London, B* 263, 1171-1176.

- Carreira, B.M., Dias, M.P., Rebelo, R., 2014. How consumption and fragmentation of macrophytes by the invasive crayfish *Procambarus clarkii* shape the macrophyte communities of temporary ponds. *Hydrobiologia* 721, 89–98.
- Casale, A., Busato, E., 2008. A real time extinction: the case of *Carabus clatratus* in Italy (Coleoptera, Carabidae). In: Penev, L., Erwin, T., Hassmann, T. (Eds.), *Back to the Roots and Back to the Future. Towards a New Synthesis Amongst Taxonomic, Ecological and Biogeographical Approaches in Carabidology*. Pensoft Publ., Sofia Bulgaria, pp. 353–362.
- Casellato, S., Masiero, L., 2011. Does *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) represent a threat for estuarine brackish ecosystems of northeastern Adriatic coast (Italy)? *J. Life Sci.* 5, 549–554.
- Chang, E. (2005). Stressed-Out Lobsters: Crustacean Hyperglycemic Hormone and Stress Proteins. *Integrative and Comparative Biology*, 45, 43-50.
- Chien, Y., & Jeng, S. (1992). Pigmentation of kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes. *Aquaculture*, 102:333-346.
- Chucholl, C., 2011b. Population ecology of an exotic 'warm water' crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 401, 29.
- Chucholl, C., 2011b. Population ecology of an exotic 'warm water' crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 401, 29.
- Chucholl, C., 2013a. Feeding ecology and ecological impact of an alien warm-water omnivore in cold lakes. *Limnol. Ecol. Manag. Inland Waters* 34, 219–229.
- Chucholl, C., 2013b. Invaders for sale: trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biol. Inv.* 15, 125–141.
- Copservir. (2014). Manipulación de alimentos.
- Correia, A.M., 1993. Situation de l'acclimatation de l'écrevisse rouge des marais *Procambarus clarkii* au Portugal. *Astacic. France* 35, 2–9.
- Correia, A.M., 2003. Food choice by the introduced crayfish *Procambarus clarkii*. *Ann. Zool. Fenn.* 40, 517–528.
- Correia, A.M., Anastácio, P.M., 2007. Shifts in aquatic macroinvertebrate biodiversity associated with the presence and size of an alien crayfish. *Ecol. Res.* 23, 729–734, <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-007-0433-5>.
- Correia, A.M., Bandeira, N., Anastácio, P.M., 2005. Predator-prey interactions of *Procambarus clarkii* with aquatic macroinvertebrates in single and multiple prey systems. *Acta Oecol.* 28, 337–343, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2005.06.002>.
- Correia, A.M., Bandeira, N., Anastácio, P.M., 2007. Influence of chemical and visual stimuli in food-search behaviour of *Procambarus clarkii* under clear conditions. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 40, 189–194, <http://dx.doi.org/10.1080/10236240701600725>.
- Correia, M.A., Ferreira, O., 1995. Burrowing behavior of the introduced red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda: cambaridae) in Portugal. *J. Crust. Biol.* 15, 248–257.
- Cruz, M.J., Rebelo, R., Crespo, E.G., 2006. Effects of an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*, on the distribution of south-western Iberian amphibians in their breeding habitats. *Ecography* 29, 329–338.

- Crook, R., Dickson, K., Hanlon, R., & Walters, E. (2014). Walters. *Current Biology*, 24, 1121 - 1125.
- Daraghme, N., Chowdhry, B., Leharne, S., Al Omari, M., & Badwan, A. (2011). Chapter 2: *Chitin Profiles of Drug Substances Excipients and Related Methodology*.
- Dash, M., Chiellini, F., & Ottenbrite, R. (2011). *Chitosan: A versatile semi synthetic Polymer in biomedical applications. Progress in Polymer Science*, 36: 981-1014.
- Dawkins, M. (2012). *Why Animals Matter – Animal Consciousness, Animal Welfare and Human Well-being*. Oxford: Oxford University Press, 209.
- Delgado Vargas, F., Paredes López, O., & Avila González, E. (1998). *Effects of sunlight illumination of marigold flowers meals on egg yolk pigmentation. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 698-706.
- Delibes, M., Adrian, V., 1987. *Effects of crayfish introduction on otter Lutra lutra food in the Doñana National Park, SW Spain. Biol. Conserv.* 42, 153–159.
- El Mundo, 2014. *El cangrejo rojo sobrevive al ladrillo. ECONOMÍA: El crustáceo de las marismas de Sevilla, Unidad Editorial Información General S.L.U., 17Noviembre 2014 edición.*
- Elwood, D. (2011). *Pain and Suffering in Invertebrates? LAR J.*, 52, 175-184.
- Elwood, R., & Adams, L. (2015). *La descarga eléctrica causa respuestas fisiológicas al estrés en cangrejos costeros, consistentes con la predicción del dolor. The Royal Society.*
- Escoba, D. (2014). *Sensibilidad y bienestar animal. Wallingford, Reino Unido: : Centro de Antozoología y Bienestar Animal, Departamento de Medicina Veterinaria, St Catharine's College, Universidad de Cambridge.*
- Escobar, D., Ossa, C., Quintana, M., & Ospina, W. (2014). *Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. Scientia y Technia*, 18(1): 260-266.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2010. *Yearbook, Fishery and Aquaculture Statistics, Rome, ISSN 2070-6057.*
- Farrell, D. (1995). *The hearty egg is good for you. World Poultry Misset*, 11:27–29.
- Fossat, P., Bacque-Cazenave, J., Deurwaerdere, P., Cattaert, D., & Delbecque, J. (2015). *Serotonin, but not dopamine, controls the stress response and anxiety-like behavior in the crayfish Procambarus clarkii. Journal of Experimental Biology*, 218: 2745-2752.
- Fossat, P., Bacque-Cazenave, J., Deurwaerdere, P., Delbecque, J., & Cattaert, D. (2014). *Anxiety-like behavior in crayfish is controlled by serotonin. Science*, 344, 1293–1297.
- Füreder, L., Edsman, L., Holdich, D., Kozak, P., Machino, Y., Pöckl, M., Renai, B., Reynolds, J., Schulz, H., Schulz, R., Sint, D., Taugbol, T., Trouilhé, M.C., 2006. *Indigenous crayfish habitat and threats, In: Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noël, P.Y., Reynolds, J.D., Haffner P. (Eds.), Atlas of Crayfish in Europe. Muséum National d'Histoire naturelle, Paris, (Patrimoines naturels, 64), pp. 26–47.*
- García, A., Outerelo, R., Ruiz, E., Aguirre, J., Almodóvar, A., Alonso, J., y otros. (2012). *Prácticas de Zoología Estudio y diversidad de los Artrópodos Crustáceos. Reduca*, 17- 27.
- Geiger, W., Alcorlo, P., Baltanás, A., Montes, C., 2005. *Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. Biol. Inv.* 7, 49–73.

- Gherardi, F., 2006. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*: Invited review paper. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 39, 175–191.
- Gherardi, F., Acquistapace, P., 2007. Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshw. Biol.* 52, 1249–1259.
- Gherardi, F., Barbaresi, S., 2000. Invasive crayfish: activity patterns of *Procambarus clarkii* in the rice fields of the Lower Guadalquivir. *Archiv. Hydrobiol.* 150, 153–168 (Spain).
- Gherardi, F., Barbaresi, S., Vaselli, O., Bencini, A., 2002b. A comparison of trace metal accumulation in indigenous and alien freshwater macro-decapods. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 35, 179–188.
- Gherardi, F., Cioni, A., 2004. Agonism and interference competition in freshwater decapods. *Behaviour* 141, 1297–1324.
- Gherardi, F., Renai, B., Corti, C., 2001. Crayfish predation on tadpoles: a comparison between a native (*Austropotamobius pallipes*) and an alien species (*Procambarus clarkii*). *Bull. Fr. Pêche Piscicult.* 361, 659–668.
- Gherardi, F., & Panov, V. (2006). *Procambarus clarkii*. Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe, 1-3.
- Gil Hernandez, A., Fontecha Alonso, J., & Juárez Iglesias, M. (2007). Influencia de los procesos tecnológicos sobre el valor nutritivo de los. En *Manual Práctico de Nutrición en Pediatría* (págs. 423-438). Madrid: Comité de Nutrición de la Asociación Española de Pediatría.
- Gómez Cestagalli, E. (2014). Evaluación del valor nutricional y pigmentante de la harina de cangrejo *Procambarus clarkii*, para la alimentación de gallinas semipesadas y pollos de engorde como método de control poblacional del cangrejo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Goodwin, T. (1984). *The biochemistry of the carotenoids* (Vol. Volumen 1). Londre: Chapman & Hal.
- Grigarick, A.A., Way, M.O., 1982. Role of crayfish (Decapoda: Astacidae) as pests of rice in California and their control. *J. Econ. Entomol.* 75, 633–636.
- Gross, H., 2013. Roter amerikanischer sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*) krempelt baggersee um. *Forum Flusskrebse* 19, 36–38.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J., Martínez, J.M., Ilhéu, M., Bravo-Utrera, M.A., Bernard, J.M., Montes, C., 1999. The status of crayfish populations in Spain and Portugal. In: Gherardi, F., Holdich, D. (Eds.), *Crayfish in Europe as Alien Species: How to Make the Best of a Bad Situation? Crustacean Issues*, vol. 11. A.A. Balkema Rotterdam, pp. 161–192.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J., Montes, C., 1999. Bioenergetics and phenology of the introduced red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in Doñana National Park, Spain, and implications for species management. *Freshw. Biol.*, 561–574.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J., Sancho, G., Bravo, M.A., Baltanas, A., Montes, C., 1998. Diet of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in natural ecosystems of the Doñana National Park temporary fresh-water marsh (Spain). *J. Crust. Biol.* 18, 120–127.
- Hamed, I., Ozogul, F., & Regenstein, J. (2006). *Trends in Food Science & Technology*, 48: 40-50.

Hamilton, P., Tirado, F., & García Fernández, F. (1990). Deposition in egg yolk of the carotenoids from saponified and unsaponified oleoresin of red pepper (*Capsicum annuum*) feed to laying eggs. *Poultry Science*, 69, 462-470.

Hayes, M. (2011). Chitin, Chitosan and their Derivatives from Marine Rest Raw Materials: Potential: Food and Pharmaceutical Applications. En *Marine Bioactive Compounds: Chapter 4* (págs. 108-128).

Herrera Andrade, M., Sánchez Machado, D., López Cervantes, J., Núñez Gastélum, J., & Moreno Ramos, O. (2011). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 7 (1): 21-27.

Hirschberg, J. (2001). Production of carotenoids (including the ketocarotenoids astaxanthin and adonixanthin) using a novel carotenoid-secreting bacterial species.

Huner, J., & Barr, J. (1984). *Red Swamp Crawfish Biology and Exploitation. Louisiana: The Louisiana Sea Grant College Program.*

Huner, J. (1994). *Cultivation of freshwater crayfishes in North America. Binghamton, , New York, USA.: Haworth Press.*

Ilhéu, M.A., Bernardo, J.M., 1993b. Experimental evaluation of food preference of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: vegetal versus animal. *Freshw. Crayfish* 9, 359–364.

Jackson, M., Jones, T., Milligan, M., Sheath, D., Taylor, J., Ellis, A., England, J., Grey, J., 2014. Niche differentiation among invasive crayfish and their impacts on ecosystem structure and functioning. *Freshw. Biol.* 59, 1123–1135, <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.12333>.

Junta de Andalucía, 2007. *El cultivo del arroz en Andalucía. Versión 1. Secretaría General E Agricultura, Ganadería Y Desarrollo Rural. Consejería de Agricultura y Pesca.*

Issa, M., Köping-Höggard, M., & Artursson, P. (2005). Chitosan and the mucosal delivery of biotechnology drugs. *Drug Discovery Today: Technologies.*, 2(1): 1-6.

Katayama, T. (1972). The transformation of labeled astaxanthin from the diet of Sea bream, *Chrysophrys major* Temminck and Schegel, to their body astaxanthin. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries*, 38, 1349-1403.

Kerby, J.L., Riley, S.P.D., Kats, L.B., Wilson, P., 2005. Barriers and flow as limiting factors in the spread of an invasive crayfish (*Procambarus clarkii*) in southern California streams. *Biol. Conserv.* 126, 402–409.

Koushab, f., & Yamabhai, M. (2010). *Chitin Research Revisited. Marine Drugs.*

Kromhout, D., Bosschieter, E., & Coulander, C. (1985). The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronary heart disease. *N. Engl. J. Med*, 312:1205–1209.

Larez, C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuáticos. *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 4(2): 91-109.

Lodge, D.M., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D.C.J., Arcella, T., Baldrige, A.K., Barnes, M.A., Chadderton, W.L., Feder, J.L., Gantz, C.A., Howard, G.W., Jerde, C.L., Peters, B.W., Peters, J.A., Sargent, L.W., Turner, C.R., Wittmann, M.E., Zeng, Y., 2012. Global introductions of crayfishes: evaluating the impact of species invasions on ecosystem services. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 43, 449–472, <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-111511-103919>.

Longshaw, M., 2011. Diseases of crayfish: a review. *J. Invertebr. Pathol.* 106, 54–70.

Lorenz, R., & Cysewski, R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus microalgae* as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18:160-167.

McMahon, T.A., Brannelly, L.A., Chatfield, M.W., Johnson, P.T., Joseph, M.B., McKenzie, V.J., Richards-Zawacki, C.L., Venesky, M.D., Rohr, J.R., 2013. Chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* has non amphibian hosts and releases chemicals that cause pathology in the absence of infection. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 210–215.

Magee, B., & Elwood, R. (2013). Shock avoidance by discrimination learning in the shore crab (*Carcinus maenas*) is consistent with a key criterion for pain. *Journal of Experimental Biology*, 216: 353-358.

Maranhão, P., Marques, J.C., Madeira, V.M.C., 1995. Copper concentrations in soft tissues of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), after exposure to a range of dissolved copper concentrations. *Freshw. Crayfish* 10, 282–286.

Marcia, E., Malespín, J., Sánchez, M., & Benavente, M. (2011). Estudio de la fermentación láctica para la extracción de quitina a partir de desechos de crustáceos. *Revista Científica Nexo*, 24(1): 33-42.

Martínez. (2014). *Procesos de conservación y evaluación de riesgos en alimentos*. Córdoba, España: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Universidad de Córdoba.

Marusich, W., & Bauernfiend, J. (1981). Oxycarotenoids in poultry feeds. En J. Bauernfiend, *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*. New York: Academic Press.,

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Resolución 0067 de 2021. Por la cual se modifica el artículo 1 de la Resolución No. 848 de 2008, adicionando al listado especies exóticas declaradas como invasoras las especies *Alopothen aegyptiaca* (Ganso del Nilo), *Paulownia tomentosa* (Árbol del Kiri), y *Procambarus clarkii* (Cangrejo rojo americano) y se toman otras determinaciones”.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 122 de 2012. Por la cual se modifica la Resolución No. 776 de 2008.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 4506 de 2013. Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones.

Montes, C., Bravo-Utrera, M., Baltanás, A., Duarte, C., Gutiérrez-Yurrita, P. (1993). Bases ecológicas para la gestión del cangrejo rojo de las marismas en el Parque Nacional de Doñana. ICONA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Madrid, Spain.

Morganti, P. (2009). Chitin Nanofibrils in Skin Treatment. *Journal of Applied Cosmetology*, 27: 251-270.

Mourya, V., Inamdar, N., & Tiwarib, A. (2010). Carboxymethyl chitosan and its application. *Advanced Materials letters.*, 1(1): 11-33.

Negro, J., Tella, J., Forero, M., & Garrido Fernandez, J. (2000). Diet explains interpopulation of plasma carotenoids and skin pigmentation in nestling white. *Physiological and Biochemical Zoology*, 73, 97-101.

Nelson, T., & Baptist, J. (1968). Feed pigments. 2. The influence of feeding single and combined sources of red and yellow pigments on egg yolk colour. *Poultry Science*, 47, 924-931.

Nunes, A.L., Cruz, M.J., Tejedó, M., Laurila, A., Rebelo, R., 2010. Nonlethal injury caused by an invasive alien predator and its consequences for an anuran tadpole. *Basic Appl. Ecol.* 11, 645–654.

- Nunes, A.L., Orizaola, G., Laurila, A., Rebelo, R., 2013a. Rapid evolution of constitutive and inducible defenses against an invasive predator. *Ecology* 95,1520–1530, <http://dx.doi.org/10.1890/13-1380.1>.
- Nunes, A.L., Orizaola, G., Laurila, A., Rebelo, R., 2014. Morphological and life-history responses of anurans to predation by an invasive crayfish: an integrative approach. *Ecol. Evol.* 4, 1491–1503, <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.979>.
- Nunes, A.L., Richter-Boix, A., Laurila, A., Rebelo, R., 2013b. Do anuran larvae respond behaviourally to chemical cues from an invasive crayfish predator? A community-wide study. *Oecologia* 171, 115–127.
- Nys, Y. (2000). Dietary carotenoids and egg yolk coloration- A review. *Archiv fuer Gefluegelkunde*, 64, 45-54.
- Okamoto, Y., Kawakami, K., Miyatake, K., Morimoto, M., Shigemasa, Y., & Minami, S. (2002). Analgesic Effects of Chitin and Chitosan. *Carbohydrate Polymers.*, 49: 249-252.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2017). Programa de información de especies acuáticas: *Procambarus clarkii*.
- Pachón, Y. & M. Valderrama. (2018). Anotaciones al estado, uso y gestión de la langostilla roja *Procambarus clarkii*, especie invasora en la Laguna de Fúquene (Cundinamarca-Colombia). *Biodiversidad en la Práctica*. Volumen 3 No. 1. 2018. Pp 30-51.
- Park, H., Byun, Y., Kin, Y., Whiteside, W., & Bae, H. (2014). Processes and Application for Edible Coating and Film Materials from Agropolymers. *Innovations in Food Packaging*, 257-275.
- Patterson, L., Dick, J., & Elwood, R. (2007). Physiological stress responses in the edible crab, *Cancer pagurus*, to the fishery practice of de-clawing. *Marine Biology*, 152, pages 265–272.
- Pedroza, D. (2017). Estudio de la estructura poblacional de *Procambarus clarkii* (girard, 1852), en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca. Trabajo de Grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias y Educación. Proyecto curricular de licenciatura en biología. Bogotá D.C.
- Perez Gálvez, A., Negro Balmaseda, J., Mínguez Mosquera, M., Cascajo Almenara, M., & Garrido Fernández, J. (2008). Astaxanthin from crayfish (*Procambarus clarkii*) as a pigmentary ingredient in the feed of laying hens. *Grasas y Aceites*.
- Pipicano Mamian, D. (2015). Efecto en pigmentación, calidad de huevo y rendimiento productivo, del reemplazo de la proteína de torta de soya por proteína de harina de cangrejo de río *Procambarus clarkii* en la dieta de gallinas semipesadas (51 a 63 semanas de edad). Palmira, Valle del Cauca: Universidad nacional de Colombia.
- Polo Galindo, I. (2016). Sostenibilidad: Obtención de quitina a partir de productos de desecho. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Pszczola, D. (1998). Natural colors: pigments of imagination. *Food Technology*, 52(6):70-76.
- Ramírez, M., Rodríguez, A., Alfonso, L., & Peniche, C. (2010). Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Biotechnología Aplicada*, 27: 270-276.
- Ramalho, R.O., 2012. Dispersion and population regulation of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). In: PhD Thesis. Universidade de Évora, Évora, pp.181.

Ramalho, R.O., Anástacio, P.M., 2011. Crayfish learning abilities: how does familiarization period affect the capture rate of a new prey item? *Ecol. Res.* 26,53–58.

Reynolds, J.D., Souty-Grosset, C., 2012. *Management of freshwater biodiversity: crayfish as bioindicators.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Rodrigo I., Bandejas, C., Ferreira, A.P., 2006. *Estudo estratégico para a gestão das pescas continentais. PAMAF Medida 4-IED, Ação 4.4: Estudos estratégicos.* Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

Rodríguez, C.L., Bécares, E., Fernández-Aláez, M., 2003. Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American redswamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Hydrobiologia* 506-509, 421–426.

Rose, J., Arlinghaus, R., Cooke, S., Diggles, B., Sawynok, W., Stevens, E., & Wynne, C. (2014). ¿Pueden los peces sentir dolor? *Pesca Pesca*, 15, 97–133.

Rosenthal, S.K., Lodge, D.M., Mavuti, K.M., Muohi, W., Ochieng, P., Mungai, B.N., Mkoji, G.M., 2005. Comparing macrophyte herbivory by introduced Louisiana crayfish (*Procambarus clarkii*) (Crustacea: cambaridae) and native Dytiscid beetles (*Cybister tripunctatus*) (Coleoptera: dytiscidae), in Kenya. *Afr. J. Aquat. Sci.* 30, 157–162.

Royle, N., Surai, P., McCartney, R., & Speake, B. (1999). Parental investment and egg yolk lipid composition in gulls. *Functional Ecology*, 13, 298-306.

Sánchez, A., Salcedo, M., Florido, R., Armenta, A., Rodríguez, C., Galindo, A., & Moguel, E. (2007). Pantanos de Centla, un humedal costero tropical. *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*, 401-420.

Savini, D., Occhipinti-Ambrogi, A., Marchini, A., Tricarico, E., Gherardi, F., Olenin, S., Gollasch, S., 2010. The top 27 alien animal species intentionally introduced by European aquaculture and related activities: stocking, sport fishery and ornamental purposes. *J. Appl. Ichthyol.* 26, 1–7, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01503.x>.

Scalici, M., Chiesa, S., Scuderi, S., Celauro, D., Gibertini, G., 2010. Population structure and dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in a Mediterranean brackish wetland (Central Italy). *Biol. Inv.* 12, 1415–1425.

Scalici, M., Chiesa, S., Scuderi, S., Celauro, D., Gibertini, G., 2010. Population structure and dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in a Mediterranean brackish wetland (Central Italy). *Biol. Inv.* 12, 1415–1425.

Seaweb, *Guide des espèces à l'usage des professionnels Pour un marché des produits de la mer durables—Édition 2014.* EUROPE. 2014.

Secretaría Distrital de Ambiente. 2021. Resolución 3919 de 2021. Por la cual se adopta el protocolo para el manejo y control poblacional de la langostilla de río (*Procambarus clarkii*) y la prevención de su propagación en Bogotá D.C., y se adoptan otras determinaciones. Bogotá.

Simoni, F., di Paolo, C., Mancino, A., Simoni, F., Falaschi, A., 2004. Microcystin concentrations in water and ichthyofauna of Massaciuccoli Wetlands (Tuscany). *Harmful Alga News* 25, 4–6.

Sinha, S., Chand, S., & Tripathi, P. (2014). Microbial degradation of chitin waste for production. *Prikl Biokhim Mikrobiol*, 50(2): 147-155.

Sneddon, L., Elwood, R., Adamo, S., & Leach, M. (2014). Defining and assessing animal pain. *Animal Behaviour*, 97, 201-212.

Souty-Grosset C., P. Anastácio. L. Aquiloni, F. Banha, J. Choquer, C. Chucholl, E. Tricarico. (2016). The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: Impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologica*. Volume 58, May 2016, Pages 78-93

Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noël, P.Y., Reynolds, J.D., Haffner, P., 2006. Atlas of Crayfish in Europe. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Patrimoines Naturels, 64, p. 187. ISBN: 8562535798.

Souty-Grosset, C., Reynolds, J., Gherardi, F., Aquiloni, L., Coignet, A., Pinet, F., Cisneros, M.M., 2014. Burrowing activity of the invasive red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in fishponds of La Brenne (France). *Ethol. Ecol. Evol.* 26(2-3), 263-276, <http://dx.doi.org/10.1080/03949370.2014.892538>.

The Center for Food Security & Public Health; Institute for International Cooperation in Animal Biologics . (2007). *Listeriosis*. Iowa.

Thomas, D., & Thomas, S. (2013). Chemical Modification of Chitosan and Its Biomedical Application. *Biopolymer Nanocomposites: Chapter 3*, 33-51.

Tricarico, E., Bertocchi, S., Brusconi, S., Casalone, E., Gherardi, F., Giorgi, G., Mastromei, G., Parisi, G., 2008. Depuration of microcystin-LR from the redswamp crayfish *Procambarus clarkii* with assessment of its food quality. *Aquaculture* 285, 90-95.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference. (2013). Release 26 (Crustaceans, Crayfish, Mixed Spices, Wild, Raw).

Valencia, D. P. Gutiérrez y R. Álvarez. 2012. *Procambarus clarkii* (Girard 1852). Crustáceos exóticos. En: Gutiérrez, F de P., C. Lasso., M.P. Baptiste., P. Sánchez-Duarte y A. Díaz. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves. Serie editorial recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia. 80-83 pp.

Van der Wal, J.M., Dorenbosch, M., Immers, A.K., Vidal Forteza, C., Geurts, J.J.M., Peeters, E.T.H., Koese, B., Bakker, E.S., 2013. Invasive crayfish threaten the development of submerged macrophytes in lake restoration. *PLoS One* 8 (10), e78579, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0078579>.

Webster, S. (1996). Measurement of crustacean hyperglycaemic hormone levels in the edible crab *Cancer pagurus* during emersion stress. *Journal of Experimental Biology*, 199, 1579-1585.

Xia, W., Liu, P., Zhang, J., & Chen, J. (2011). Biological activities of chitosan and . *Food Hydrocolloids.*, 25: 170-179.

Yamamoto, Y., 2010. Contribution of bioturbation by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* to the recruitment of bloom-forming cyanobacteria from sediment. *J. Limnol.* 69 (1), 102-111.

(1995). *Codex Alimentarius - Codex Stan 193-1995*.



Autoras:
Patricia Bejarano M.
Nancy Elena Burgos Ortiz