



DESCRIPCIÓN BREVE

El presente informe contiene la revisión de literatura tanto nacional como internacional sobre el cangrejo rojo americano, a través del documento se abordan aspectos relacionados con su biología, reproducción, ecología trófica, los impactos que causa esta especie en los ecosistemas invadidos y las alternativas de control.

ORGANIZACIÓN LUIS
FERNANDO ROMERO
SANDOVAL INGENIEROS S.A.S

**ESTADO DEL ARTE SOBRE LA BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y ALTERNATIVAS
DE CONTROL EXISTENTES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO
(*Procambarus clarkii*)**

CTO N° 1 – 2 - 26200 – 0398 –
2021



7 de Julio 2021

Equipo de Supervisión EAAB-ESP

Diego Alexander Gutiérrez Bohórquez – Director Ingeniería Especializada
Nubia Irley León López – Supervisora (Dirección de Ingeniería Especializada)

Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S

Directora del proyecto

Elisabeth Jiménez Carmona – Ph.D Ciencias – Biología

Equipo de Profesionales de Aguas y Saneamiento de la DIE de la EAAB-ESP

Angela María Zapata Anzola - M. Sc en Biología. Candidata Ph.D
Carlos Alberto Rivera Rondón - PhD. Ecología Fundamental y Aplicada
William Villamil Barahona – M.Sc Gestión Ambiental, Calidad y Auditoria para empresas
Diana Carolina V. Pasito – Ingeniera Ambiental

Equipo de profesionales de la Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros SAS

Gina Romero Candidata a M.Sc Sostenibilidad
Julián Wilches – Ingeniero Ambiental
Nanny Lizcano – Ingeniero Ambiental - SST
Patricia Silva – Ingeniero Ambiental - SST
Julián Benavides - Ingeniero. Forestal
Isabella González – Bióloga – M.Sc Ciencias Biológicas
Mabel Pimiento – Bióloga – M.Sc Ingeniería Ambiental
Catalina Sarmiento – Bióloga – Esp. Gestión Ambiental
Fabián Mesa – Biólogo
Rosaneth Angarita – Ingeniera Civil
Valentina Romero - Ingeniera Civil

TABLA DE CONTENIDO

ESTADO DEL ARTE SOBRE LA BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y ALTERNATIVAS DE CONTROL EXISTENTES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>)... 9	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN	12
1.1 Distribución	13
2. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA ESPECIE.....	24
2.1 Biología.....	24
2.2 Comportamiento.....	25
2.3 Hábitos alimentarios	26
2.4 Depredadores.....	27
2.5 Aspectos morfológicos	28
2.6 Aspectos reproductivos.....	32
3. ECOLOGÍA TRÓFICA.....	36
4. COMPORTAMIENTO.....	39
5. TIPOS DE HÁBITAT	40
6. IMPACTOS PRODUCIDOS POR LA INTRODUCCIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	41
6.1 Impactos sobre la biodiversidad	41
6.2 Impactos ecológicos	42
6.3 Impactos en las estructuras civiles	43
6.4 Impactos en la salud humana y fauna.....	45
7. ALTERNATIVAS DE CONTROL	49
7.1 Control físico.....	50
7.2 Captura directa.....	53
7.3 Control químico	54
7.4 Feromonas.....	55
7.5 Control biológico	55
8. MARCO JURÍDICO	56
9. LITERATURA CITADA.....	61

CAPÍTULO 1. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA ASOCIADOS A LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>)	75
CAPÍTULO 1. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA ASOCIADOS A LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>)	76
MATRIZ DOFA.....	81
ESTRATEGIAS DOFA.....	84
MAPA DEL CONOCIMIENTO	86
LITERATURA CITADA	87
CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA POBLACIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIBITOC.....	91
CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA POBLACIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIBITOC.....	92
1. VISITAS DE CAMPO.....	92
1.1.1 Objetivos:	92
1.1.2 Actividades:	93
1.1.3 Resultados:.....	94
1.1.4 Conclusiones:.....	94
1.2. Visita 2: pruebas de diferentes tipos de cebos y evaluación de los tipos de hábitat (profundidad y orilla)	95
1.2.1 Objetivos:	95
1.2.2 Actividades:	95
1.2.3 Resultados:.....	98
1.2.4 Actividad de toma de datos <i>in-situ</i>	105
1.2.5 Resultados de los Datos <i>in-situ</i>	106
1.2.6 Conclusiones:.....	106
2. DISEÑO METODOLÓGICO PARA EVALUAR LA BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO Y ESTABLECER UN PROTOCOLO DE CONTROL PARA ESTA ESPECIE EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIBITOC.....	108
2.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	108
2.2 PARÁMETROS POBLACIONALES.....	109
2.2.1 DISEÑO PARA EL MUESTREO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	110
2.2.2. DIFERENCIACIÓN SEXUAL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	112

2.2.3. MÉTODOS PARA MEDIR LA MORFOMETRÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	113
2.2.4. MÉTODOS PARA MEDIR LA ESTRUCTURA DE TALLAS DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	115
2.2.5. ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	116
2.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS.....	118
2.3. DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	119
2.3.1. DISEÑO DEL MUESTREO PARA LA DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	119
2.3.2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	121
2.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS.....	123
2.4. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E HIDROBIOLÓGICAS CON LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO	123
2.5. MANEJO Y CONTROL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	126
2.5.1. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO.....	127
2.5.2. ORGANISMOS POR CAPTURA INCIDENTAL.....	130
2.5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	130
2.5.4. METODOLOGÍA PARA EL PROTOCOLO DE MANEJO DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	130
LITERATURA CITADA.....	132
CAPÍTULO 3. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus Clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”	135
CAPÍTULO 3. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus Clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”	136
PERMISO DE RECOLECCIÓN	136
CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD	138
PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS	139
CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DEL PROYECTO DURANTE LOS DOS PRIMEROS MESES DE EJECUCIÓN.....	140
CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DEL PROYECTO DURANTE LOS DOS PRIMEROS MESES DE EJECUCIÓN.....	141
RELACIÓN PERSONAL EN OBRA	141
FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN.....	142
INDUCCIÓN GENERAL.....	144

ENTREGA DE DOTACIÓN Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	144
CARACTERIZACIÓN DE AUSENTISMO	147
5.1 POR ACCIDENTES E INCIDENTES DE TRABAJO.....	147
5.2 POR OTRAS CAUSAS DE ORIGEN NO LABORAL	147
PROTOCOLOS DE BIOSEGURIDAD PARA MITIGAR PANDEMIA COVID-19	148
ATENCIÓN A EMERGENCIAS.....	149
VIGIA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	150
CAMPAMENTO, SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO	150
INSPECCIÓN DE SEGURIDAD	152
PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO	153
SEGUIMIENTO MATRIZ DE RIESGOS.....	153
CONCLUSIONES.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localidades donde ha sido reportado <i>P. clarkii</i> en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (todos los registros se obtuvieron de las bases de datos del SIB-Colombia, consultada el 15 de junio de 2021).....	15
Tabla 2. Comparación de parámetros poblacionales K y L (longitud asintótica del cefalotórax) en estudios realizados de <i>P. clarkii</i>	30
Tabla 3. Lista de virus asociados al cangrejo rojo americano con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.	46
Tabla 4. Lista de bacterias con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.	47
Tabla 5. Lista de hongos y microorganismos similares a los hongos con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.....	49
Tabla 6. Marco jurídico del proyecto.....	57
Tabla 7. Matriz DOFA de los impactos en la calidad del agua asociados a la presencia de <i>P. clarkii</i>	81
Tabla 8. Estrategias DOFA.....	85
Tabla 9. Caracterización parámetros in-situ vista 1 de junio, Dársena de Tibitoc.....	93
Tabla 10. Resumen de los resultados de captura en cada uno de los sitios establecidos.	105
Tabla 11. Caracterización parámetros in-situ vista 23 de junio, Dársena de Tibitoc.	105
Tabla 12. Parámetros físico-químicos	125
Tabla 13. Parámetros microbiológicos	126
Tabla 14. Parámetros biológicos	126
Tabla 15. Personal y Seguridad social	141

Tabla 16. Capacitaciones realizadas	142
Tabla 17. Inducciones realizadas	144
Tabla 18. Entrega de Dotación	145
Tabla 19. Relación entrega de elementos de protección personal.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista dorsal de Cangrejo Rojo Americano, Fuente: Mabel Pimiento.....	12
Figura 2. Distribución actual de actual de <i>Procambarus clarkii</i> en naranja la distribución natural y en morado la distribución por introducciones. IUCN 2021. (Crandall, 2010.....	13
Figura 3. Distribución actual y potencial de <i>Procambarus clarkii</i> en Colombia. Las estrellas azules indican la presencia de <i>P. clarkii</i> en rojo se representan las áreas con condiciones ambientales apropiadas para el establecimiento de la especie. Imagen tomada de Camacho-Portocarrero et al., 2021.	14
Figura 4. Ecología trófica y relaciones bióticas de <i>P. clarkii</i> , con respecto a alimentos, depredadores, patógenos y parásitos. Modificado de (Goncalves-Loureiro et al., 2015....	27
Figura 5. <i>Morfología externa de cangrejos rojos (adaptado de Anastácio, 1993). La vista dorsal macho (A): a. anténula, b. antena, c. escama antenal, d. cresta del rostro, e. Espícula marginal, f. rostro, g. areola, h. rama interior del urópodo, i. rama exterior del urópodo. Vista ventral (B): a. dáctilo, b y c. palma, d. antena, e. escama antenal, f. anténula, g. isquion del 3º maxilípodo, h. coxa del quelípodo, i. gancho copulador, j. base de la coxa. Pereiópodos 1 al 5 (apéndices caminadores). Pleópodos del 1 al 5 (apéndices nadadores y en hembras sirven para la sujeción de los huevos.</i>	28
Figura 6. <i>Dimorfismo sexual de <i>Procambarus clarkii</i>. Se muestran las diferencias entre hembras y machos. A. Vista ventral de órganos reproductivos de las hembras, B. Vista ventral de órganos reproductivos de los machos y C. Comparación morfológica de los dos. En cuadros punteados se muestra la apertura de los oviductos en el tercer par de pereiópodos. En círculos punteados se muestran los ganchos copuladores. (Modificado de Hamasaki et al., 2020 y Crayfish, Acuariopets.</i>	30
Figura 7. <i>Ciclo de vida de vida de organismos del grupo Decápoda. El ciclo empieza con el cuidado parental de los huevos adheridos a los pleópodos de la hembra en el abdomen. El huevo se desarrolla como embrión sujetado a la madre hasta que desarrolla estructuras que le permiten nadar (abdomen y pleópodos) lo que se conoce como nueva larva, esta se desprende de su madre para continuar su crecimiento. En el estado uno dos y tres, los individuos ya están desarrollados, solo se encargan de crecer y tienen leves cambios de color. Después de los 60 mm se consideran maduros. Imagen tomada y adaptada de larvae, www.crayfish.com (https://sites.google.com/site/wwwcrayfishcom/larvae).....</i>	33
Figura 8. <i>Dibujo en vista dorsal, del sistema reproductor femenino de <i>Procambarus clarkii</i>, ovario en forma de “Y”, que consta de 2 sacos ováricos anteriores, y un único saco ovárico posterior. Modificado de (Ando & Makioka, 1998).</i>	34
Figura 9. <i>Dibujo de la estructura de la gónada del macho de <i>Procambarus clarkii</i>. Modificado de (Rodríguez-Almaraz, 2001).....</i>	35
Figura 10. <i>Imagen de 2 hepatopáncreas, a la izquierda un hepatopáncreas con buena coloración y reservas energéticas, a la derecha un hepatopáncreas de menor tamaño y</i>	

coloración pálida, indicando menos fuentes energéticas en el organismos del crustáceo (Tomado de McClain et al., 2005).	36
Figura 11. Configuración simplificada de las interacciones interespecíficas entre las diferentes especies de macroinvertebrados (<i>P. clarkii</i> -depredador, <i>Chironomus riparius</i> , <i>Physa acuta</i> y <i>Corbicula fluminea</i> -presas). Las líneas discontinuas indican que no se detectaron interacciones Imagen tomada de (Correia et al., 2005). Modificado por los autores.	38
Figura 12. A. Madrigueras construidas por <i>P. clarkii</i> en acequias de riego; B. Dique roto junto al río Secchia (Emilia Romana, Italia) debido a la actividad excavadora del cangrejo rojo americano. Imagen tomada de Haubrock et al., 2019.....	44
Figura 13. Vista de uno de los diques de contención de cangrejo rojo, diseñados para minimizar sus efectos sobre la dinámica fluvial y contener eficazmente el ascenso aguas arriba de los cangrejos rojos invasores (<i>Procambarus clarkii</i>). Imagen tomada del libro <i>Manual de Gestión de Cangrejos exóticos invasores</i>	51
Figura 14. Detalles constructivos de los diques diseñados para contener eficazmente el avance del cangrejo rojo en el arroyo de la Fuensanta: a) forma de cuña para maximizar la velocidad del flujo y dificultar el avance aguas arriba; b) reborde saliente para impedir la escalada; c) suelo horizontal en la base del dique, que aumentan la exposición al aire y la depredación. Imagen tomada de Dana et al., 2011.....	51
Figura 15. Vista de un dique de contención de cangrejo rojo aguas arriba en un arroyo del mediterráneo. Nótese que en la espalda del dique se han colocado acúmulos de piedras para que sirvan de refugio a los cangrejos que eventualmente puedan superarlo, facilitando con ello la localización y captura. Imagen tomada de Dana et al., 2011.	52
Figura 16. Modelo de representación de los efectos hipotéticos de <i>P. clarkii</i> en la calidad de agua y sedimentos en humedales. Fuente: Angeler et al., (2001).	78
Figura 17. Mapa del conocimiento del diagnóstico y la problemática del cangrejo rojo americano.	86
Figura 18. Ubicación de las estaciones de muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	109
Figura 19. Trampa Zreal. Fuente: cdir.com.br	110
Figura 20. Diseño de muestreo con trampas Zreal para evaluar densidad poblacional y otros parámetros de la especie <i>Procambarus clarkii</i> . Fuente: Elaboración propia.....	111
Figura 21. Diferencias en las estructuras de machos y hembras. A. Hembras y B. Machos. En cuadros punteados se muestra la apertura de los oviductos en el tercer par de pereiópodos. En círculos punteados se muestran los ganchos copuladores. (Modificado de Hamasaki et al., 2020).	112
Figura 22. Diagrama con medidas morfométricas que se tomarán al cangrejo rojo americano (<i>P.clarkii</i>). En líneas verdes se muestran las medidas a evaluar: Longitud total (LT), Longitud del cefalotórax (LC), Ancho del cefalotórax (AC), Ancho del abdomen (AA).	114
Figura 23. Localización de puntos de muestreo en la dársena de la PTAP-Tibitoc. (La ubicación de los puntos de muestreo se ajustarán de acuerdo a la cantidad de individuos colectados).	119
Figura 24. A: Trampa Accesotech cangrejo B: Trampa Zreal. Fuente A: Amazon - Accesotech Cangrejo-Bogavante-Receptor-Langostino- Fuente B: Amazon-Zreal Agujeros Plegable Cangrejo Crawfish	128

Figura 25. Diseño de muestreo con trampas Zreal y Accesotech para realizar control poblacional de la especie de cangrejo rojo americano <i>Procambarus clarkii</i> . Fuente: Elaboración propia.	128
Figura 26. Flujoograma detallado de la codificación, captura, transporte, almacenamiento y disposición final de los individuos de cangrejo rojo americano capturados en la dársena de la planta Tibitoc. Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 27. Ruta de trabajo para el protocolo de manejo del cangrejo rojo americano en la Dársena de Tibitoc. Fuente: Elaboración propia	131
Figura 28. Estado de Gestión del riesgo.....	154

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Trampa N°4 Accesotech- cebo alimento procesado para felino – 1 individuo hembra	98
Foto 2. Trampa N°6 Accesotech- Cebo grasa de res– 1 individuo macho.....	98
Foto 3. Trampa N°1 Accesotech- Cebo grasa de res: Se capturaron 3 peces Carpa- Ningún Cangrejo.....	99
Foto 4. Trampa N°3 Accesotech - cebo cabezas de pescado maceradas: 1 Cangrejo capturado Macho, se presenta captura de una guapucha - <i>Grundulus bogotensis</i>	99
Foto 5. Trampa N°4 Zreal- Cebo grasa de res: No hubo individuos capturados.....	100
Foto 6. Trampa N° 5 Accesotech con cebo de alimento procesado de felino: 2 cangrejos capturados machos.....	100
Foto 7. Trampa N° 6 Zreal cebo cabezas de pescado maceradas: 1 Cangrejo Macho capturado- Pez atrapado en tenaza de cangrejo.	101
Foto 8. Trampa N°1 Zreal – cebo alimento procesado para felino: 1 cangrejo macho capturado.....	102
Foto 9. Trampa N°2 Accesotech - Cebo alimento procesado para felino: 2 cangrejos capturados macho.....	102
Foto 10. Trampa N°3 Zreal con cebo de cabezas de pescado maceradas: 1 cangrejo macho capturado.....	103
Foto 11. Trampa N°4 Accesotech con cebo de cabezas de pescado maceradas: 1 cangrejo macho capturado	103
Foto 12. Trampa N°5 Zreal con cebo grasa de res: No hubo individuos	104
Foto 13. Trampa N°6 Accesotech con cebo grasa de res: No hubo individuos capturados	104

ESTADO DEL ARTE SOBRE LA BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y ALTERNATIVAS DE CONTROL EXISTENTES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*).

INTRODUCCIÓN

Entre las amenazas a la biodiversidad se encuentran las invasiones biológicas, las cuales, afectan tanto la funcionalidad como la estructura de los ecosistemas, además de traer consecuencias de alto impacto en el ámbito económico, la salud pública y la cultura (Baptiste et al., 2010). Algunos autores han considerado a las invasiones biológicas como la segunda causa más importante de pérdida de biodiversidad en el mundo, luego de la destrucción del hábitat (McNeely et al., 2001; MEA, 2005).

En Colombia se han catalogado 506 especies introducidas, invasoras o trasplantadas (SiB Colombia, 2020), de las cuales sólo 22 especies han sido reconocidas oficialmente como invasoras por las resoluciones 0848 de 2008 y 0207 de 2010, del anterior Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo Territorial (MAVDT). Es decir, se desconocen los costos sociales, económicos y ambientales que representan para el país la gran mayoría de las especies introducidas, e invasoras (EEI) que se encuentran en nuestro territorio, además de que han pasado más de 10 años de la expedición de estas resoluciones, lo que hace urgente su pronta revisión y actualización.

El Cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*), es una de estas especies introducidas en Colombia (Baptiste et al., 2010), que a pesar de ser incluido en la lista de las "100 especies exóticas invasoras más dañinas de Europa y la amplia información sobre los impactos ambientales que está ocasionado a nivel internacional (Comisión Europea, 2008); lamentablemente aún no se encuentra oficialmente reconocida como una especie invasora para Colombia.

En Colombia, el cangrejo rojo americano tiene una historia de introducción que inició desde 1985 en el Valle del Cauca, introducido por la "Agropecuaria Heliodoro Villegas Sucesores S.A." con Registro sanitario ICA N° ON 867-85, en calidad de especie experimental (Flórez-Brand & Espinosa-Beltrán, 2011). Este cangrejo fue tenido en confinamiento, para fines de investigación en condiciones de cautiverio por 17 meses, posterior a esto, en 1988 se presentó una fuga accidental en la cuenca del río Palmira (Álvarez-León & Gutierrez-Bonilla., 2007); luego de esto, el cangrejo rojo americano comenzó a ser reportado en medios naturales de los municipios de Jamundí, Santiago de Cali, Yocoto, San Juan Bautista de Guacarí y Guadalajara de Buga, todos estos municipios se encuentran en la cuenca media del río Cauca (Flórez-Brand & Espinosa-Beltrán, 2011). El primer registro de *P. clarkii* en Cundinamarca fue dado por Campos (2005), quien registró este Decápodo colectado en el Km 14, carretera Central Bogotá – Briceño, los organismos fueron

capturados en 2004 en un lago artificial sin ninguna conexión hídrica aparente. En el año 2012, se realizó el primer registro de la especie para el departamento de Boyacá en el municipio de Macanal - Boyacá (Arias-Pineda & Rodríguez, 2012). Entre los años 2015 y

2017 se realizaron muestreos en cinco (5) localidades, confirmando la presencia de *P. clarkii* en la sabana de Bogotá en los municipios de Suesca, Fúquene, Chía y dos localidades en Bogotá, los humedales, Juan Amarillo y Jaboque (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018).

Según estudios recientes, existen las condiciones ambientales para que su distribución en el país se amplíe principalmente hacia las zonas más bajas, lo que puede ser facilitado por la deriva de la corriente de los ríos; regiones como los llanos orientales y el Valle del río Magdalena en conjunto con las ciénagas de la región Caribe, podrían ser áreas que a futuro sean invadidas por *P. clarkii* (Figura 3) (Camacho-Portocarrero et al., 2021).

La urgencia del estudio de *P. clarkii* en Colombia, se debe principalmente al éxito de esta especie para colonizar y establecerse en ambientes nuevos, y a los impactos que esta ocasiona sobre el ambiente, la salud humana y las infraestructuras (Capdevila-Argüelles et al., 2006). El cangrejo rojo americano es una especie con una gran plasticidad ecológica, que le confiere una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales; es capaz de tolerar aguas contaminadas y con baja concentración de oxígeno disuelto, además de sobrevivir a períodos prolongados de sequía por más de cuatro meses (Re-Araujo & Bückle-Ramírez, 1985); esta especie puede habitar en una gran variedad de ecosistemas acuáticos principalmente en ríos de curso lento, marismas, estanques, sistemas de riego y campos de arroz, y es posible encontrarlos también, aunque con menor frecuencia en ríos con caudales rápidos (Cruz & Rebelo, 2005).

La vida media de *P. clarkii* es algo controvertida, se ha sugerido que puede tener un promedio de vida de 18 meses, (Rodríguez-Almaraz, 2001), a dos años (Larson, 2007), otros estudios han documentado entre 3,5 a 4 años, y en algunos casos hasta seis (6) o más años en su longevidad (Chucholl, 2011). *P. clarkii* crece rápidamente, a partir de los 6 cm de longitud es considerado adulto y es capaz de alcanzar pesos de más de 50 g, y tamaños de 12 cm de longitud (Chien & Avault Jr, 1980).

Respecto a su reproducción se ha encontrado que esta especie tiene una estrategia reproductiva "r" es decir, que tiene una tasa de reproducción elevada, produciendo un gran número de crías, lo que garantiza que aunque un gran número de ellas sean depredadas en las etapas juveniles, un gran porcentaje logre sobrevivir, además, tienen cuidado parental, las hembras de esta especie portan los huevos sobre su cuerpo lo que disminuye la mortalidad por depredación durante esta etapa, logran tener hasta dos picos de reproducción anuales en áreas de distribución natural de Estados Unidos, sin embargo, parece tener múltiples eventos de reproducción a lo largo del año en latitudes diferentes en donde ha sido introducido (Chucholl, 2011; McClain et al., 2005).

Su alimentación es omnívora, otro aspecto que también facilita su establecimiento en diferentes ecosistemas: puede alimentarse tanto de vegetales como de otros animales e incluso de carroña. Las problemáticas que ha generado la introducción de esta especie son múltiples, podemos agruparlas en tres tipos de impactos, los ambientales, los que afectan la salud humana y los impactos económicos. En la parte ambiental existen efectos desde solapamientos de nicho como el evidenciado en España con el cangrejo nativo (Manenti et al., 2014), hasta la afectación de las poblaciones de macrófitas y plantas como el arroz de las cuales se alimenta (Chien & Avault Jr, 1983; Carreira et al., 2014); por otro lado, entre los impactos económicos están los relacionados con sus hábitos excavadores que ponen en riesgo las estructuras civiles y la estabilidad de taludes y bordes de ríos (Haubrock et al., 2019); con respecto a los impactos en la salud humana y de otros mamíferos está la transmisión de enfermedades como el cólera, la tularemia y la paragonimiasis (MacEachern et al., 2012).

Dado el reconocido éxito de esta especie para colonizar diferentes tipos de ecosistemas, sumado a la transmisión de enfermedades que afectan a los cangrejos nativos como a diferentes especies de vertebrados incluido en hombre, se hace necesario que las autoridades ambientales colombianas y los institutos de investigación realicen las investigaciones pertinentes que generen la información de línea base para la toma de decisiones, que permitan incluirla dentro de la lista de especies invasoras en Colombia y así establecer medidas efectivas de control para esta especie antes de que cause daños irreparables a la diversidad y al ambiente en Colombia; en este sentido con el desarrollo de este proyecto se aportará información de línea base sobre la biología, la ecología, los aspectos reproductivos, la dieta del cangrejo rojo americano y su relación con diferentes variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrobiológicas que nos permitan identificar las acciones efectivas para el control de esta especie en la Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Tibitoc.

1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN

Procambarus clarkii (Girard, 1852), es un crustáceo que pertenece a la familia Cambaridae.

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Malacostraca

Orden: Decapoda

Infraorden: Astacidea

Familia: Cambaridae

Género: *Procambarus* (Ortmann, 1905)

Especie: *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Figura 1).

(GBIF, 2021; Hobbs,1989)

Nombre común: cangrejo rojo americano, cangrejo rojo de río, langostilla roja, cangrejo americano, cangrejo de río americano, acocil rojo, langostino americano, cangrejo de las marismas, langostilla de río.



Figura 1. Vista dorsal de Cangrejo Rojo Americano, Fuente: Mabel Pimiento

1.1 Distribución

P. clarkii es uno de los decápodos con más éxito de colonización continental a nivel mundial; su distribución natural se extiende desde el norte de México hasta los estados de Florida, Illinois y Ohio en los Estados Unidos (Figura 2); sin embargo, esta especie ha expandido su área de distribución incluso dentro de los Estados Unidos, país de donde es originario, encontrándose en estados como Arizona, California, Georgia, Hawaii, Idaho, Indiana, Maryland, Nevada, Nuevo México, Carolina del Norte, Ohio, Oregon, Carolina del Sur, Utah, Oklahoma) (Kerby et al., 2005; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO] 2021). Por otro lado, *P. clarkii* ha sido introducido en más de 30 países que involucran todos los continentes exceptuando Australia y los polos (Figura 2) (Oficialdegui et al., 2019). En Suramérica ha sido introducido en Colombia, Venezuela, Ecuador, Brasil y Chile, con propósitos de aprovechamiento para la acuicultura. Su presencia en varios países del continente indica que probablemente, se expandirá a más lugares al paso de los años. En Brasil su expansión fue debido a translocaciones por parte de los pescadores que lo usaban de carnada y posteriormente los liberaron vivos. Además, hubo dispersión de los juveniles por deriva usando los ríos (Goncalves-Loureiro et al., 2019).

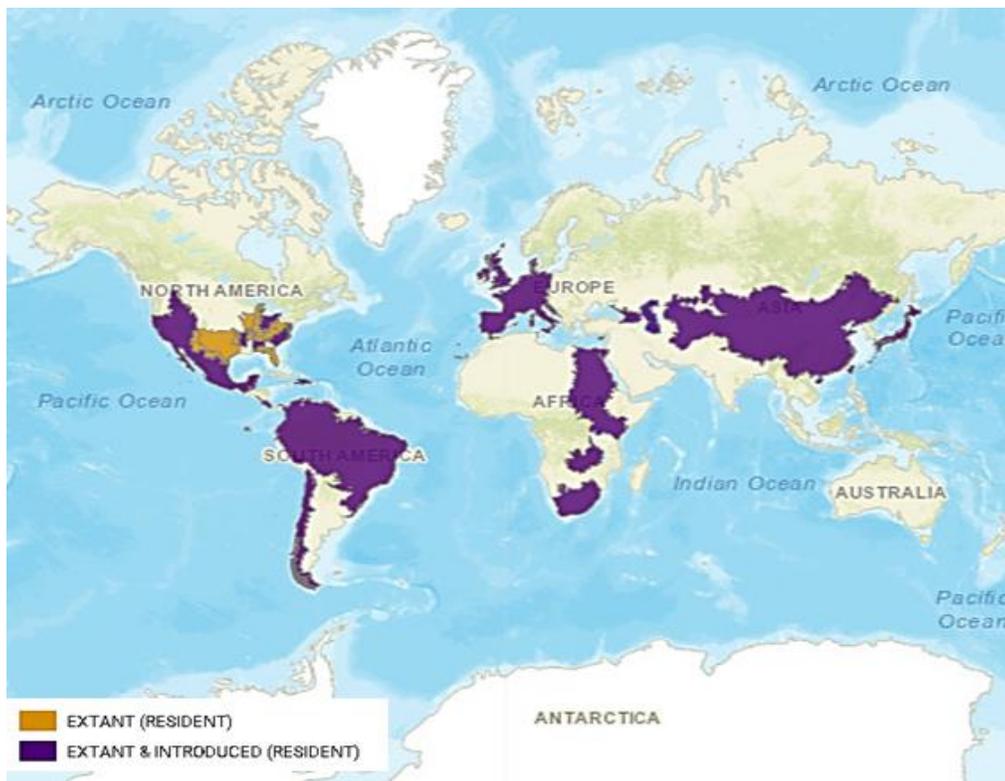


Figura 2. Distribución actual de actual de *Procambarus clarkii* en naranja la distribución natural y en morado la distribución por introducciones. IUCN 2021. (Crandall, 2010).

El mapa de distribución del cangrejo rojo en Colombia muestra los puntos donde actualmente se encuentra el cangrejo con reportes de publicaciones científicas (estrellas azules) y las partes coloreadas en rojo muestran la posible distribución que tendría el cangrejo rojo en el país (Figura 3). Su potencial de invasión puede llegar a las zonas más bajas del país, ya que su presencia está en las cuencas altas de las cordilleras, especialmente la oriental (Camacho-Portocarrero et al., 2021). Además, su distribución puede ser facilitada por deriva de corriente de los ríos.

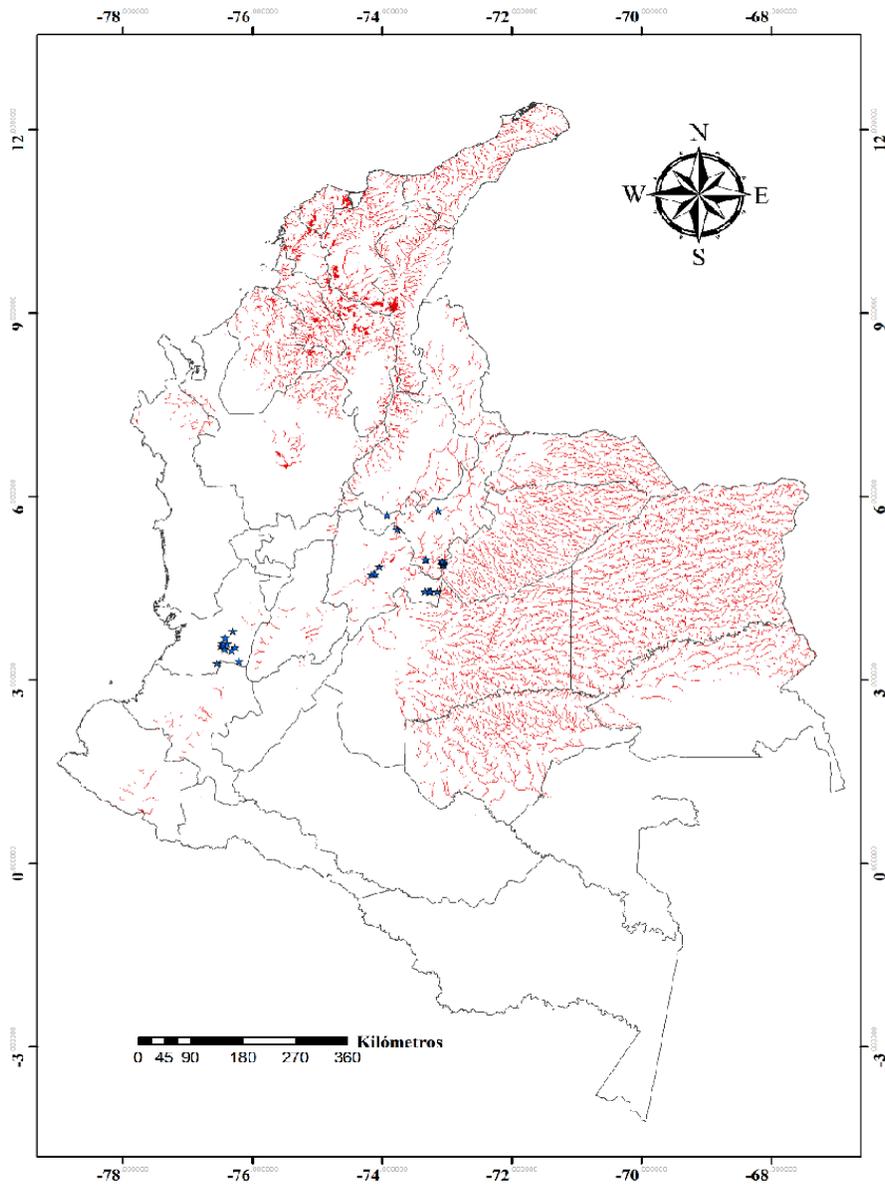


Figura 3. Distribución actual y potencial de *Procambarus clarkii* en Colombia. Las estrellas azules indican la presencia de *P. clarkii* en rojo se representan las áreas con condiciones ambientales apropiadas para el establecimiento de la especie. Imagen tomada de Camacho-Portocarrero et al., 2021.

La distribución del cangrejo rojo americano a nivel nacional presenta dos áreas focales, una en el departamento del Valle del Cauca donde fue inicialmente introducido, lamentablemente esta información no tiene coordenadas; y la otra en el altiplano cundiboyacense, donde según los últimos estudios y reportes de avistamiento presenta un mayor número de localidades (17 municipios) evidenciando su rápida expansión desde el año 2004 hasta el año 2021 (Tabla 1).

Tabla 1. Localidades donde ha sido reportado *P. clarkii* en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (todos los registros se obtuvieron de las bases de datos del SIB-Colombia, consultada el 15 de junio de 2021).

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
Cundinamarca	Bogotá D.C.		4,658561	74,095711	Fundación Dodo Colombia	4/10/2019
Cundinamarca	Chía		4,860221	74,032817	https://www.inaturalist.org/observations/30340705	30/07/2019
Boyacá	Villa de Leyva	Barrio Galán			IAvH	16/01/2021
Cundinamarca	San Miguel de Sema	Puente	5,496000	73,707300	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	19/10/2017
Boyacá	Chiquinquirá	Vallados Accesorios	5,628400	73,795300	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	27/11/2017
Cundinamarca	San Miguel de Sema	Sector: Puente Concreto	4,907800	73,766700	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	16/05/2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
Cundinamarca	Ráquira	Quicagota	5,456100	73,706900	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	26/11/2017
Cundinamarca	Sopó	Finkana	4,978800	73,960800	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	13/03/2018
Cundinamarca	Bogotá D.C.		4,725500	74,104222	https://www.inaturalist.org/observations/17098151	4/07/2018
Cundinamarca	Bogotá D.C.		4,723269	74,102683	https://www.inaturalist.org/observations/34627671	20/10/2019
Cundinamarca	Bogotá D.C.	Localidad de Suba/Engativa, Humedal Juan Amarillo	4,717806	74,095778	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P. Aguas de Bogotá A.S. E.S.P.	10/09/2019
Cundinamarca	Fúquene		5,462660	73,769050	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	20/01/2018
Cundinamarca	Fúquene		5,460791	73,769815	Universidad Nacional de	19/01/2018

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
					Colombia Fundación Humedales	
Cundinamarca	Bogotá D.C.		4,659499	74,093521	https://www.inaturalist.org/observations/35350663	3/11/2019
Cundinamarca	Fúquene		5,462260	73,767590	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	2/11/2017
Boyacá	Chiquinquirá		5,613520	73,809000	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Boyacá	Chiquinquirá		5,625240	73,793000	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Boyacá	Chiquinquirá		5,625240	73,792200	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Boyacá	Chiquinquirá		5,623960	73,808300	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,463050	73,769000	Universidad Nacional de Colombia	1/11/2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
					Fundación Humedales	
Cundinamarca	Fúquene		5,464420	73,768680	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	2/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,397030	73,768700	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Cundinamarca	Fúquene	Guatancuy	4,938800	73,735800	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	28/05/2017
Cundinamarca	Cucunubá	Medialuna	5,285800	73,778400	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	2018
Cundinamarca	Chía	Universidad de la Sabana	4,861600	74,034200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	25/04/2018
Cundinamarca	Simijaca	El Fical	4,917400	73,757200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca	16/05/2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
					arca (CAR)	
Cundinamarca	Chiquinquirá	Vallados Accesorios	4,923100	73,751500	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	27/03/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,419900	73,762300	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Cundinamarca	Bogotá D.C.	Localidad de Suba/Engativa, Humedal Juan Amarillo	4,717806	74,095778	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P., Aguas de Bogotá A.S. E.S.P.	10/09/2019
Cundinamarca	Simijaca	El Fical	4,917400	73,757200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	2017
Cundinamarca	Fúquene	Vallados Accesorios	4,923100	73,751500	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
Cundinamarca	Guachetá	Monroy	5,425700	73,687100	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	15/09/2017
Cundinamarca	Guachetá	Tagua	5,413600	73,710200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	19/10/2017
Cundinamarca	Guachetá	Media loma	5,296400	73,687200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	29/12/2017
Cundinamarca	Bogotá D.C.		4,658207	74,093571	Fundación Dodo Colombia	27/09/2019
Cundinamarca	Fúquene		5,460858	73,769734	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	19/01/2018
Boyacá	Paipa		5,768353	73,137703	https://www.inaturalist.org/observations/8713072	28/10/2017
Boyacá	San Miguel de Sema		5,523980	73,754600	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
Cundinamarca	Fúquene		5,462460	73,767770	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	2/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,397030	73,768600	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,460320	73,773300	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	6/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,461060	73,769300	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	7/11/2017
Boyacá	San Miguel de Sema		5,521750	73,788330	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	13/06/2018
Cundinamarca	Fúquene		5,466920	73,768820	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	2/11/2017
Cundinamarca	Fúquene		5,465050	73,769460	Universidad Nacional de Colombia Fundación	2/11/2017

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
					Humedales	
Cundinamarca	Fúquene		5,465930	73,768840	Universidad Nacional de Colombia Fundación Humedales	2/11/2017
Cundinamarca	Ubaté	Puente Nariño	4,936400	73,738200	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	19/03/2017
Cundinamarca	Cucunubá	Media loma	5,285800	73,778400	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	19/12/2017
Cundinamarca	Lenguazaque	Vallados Accesorios	5,328500	73,699600	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	19/12/2017
Cundinamarca	Fúquene	Vallados Accesorios	5,387100	73,755400	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	21/12/2017
Cundinamarca	Cucunubá	Media luna	5,296600	73,775000	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca	20/02/2018

Departamento	Municipio	Localidad	Latitud	Longitud	Institución-Fuente	Fecha
					arca (CAR)	
Cundinamarca	Briseño		4,940481	-73,96066	Campos 2005	20/11/2004
Boyacá	Macanal	La Honda	4,967125	73,333331	Arias-Pineda & Rodríguez 2012	8/03/2012
Cundinamarca	Sopó	Parcelación Aposentos – Lago artificial	4°56'46"N	73°58'24" W	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	*
Cundinamarca	Cajicá	Universidad Militar – Humedal y Río Bogotá	4°40'59"N	74°02'31" W	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	*
Cundinamarca	Chía	Centro Chía – Lago Artificial Centro	4°51'56"N	74°02'11" W	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	*
Cundinamarca	Chía	Universidad de la Sabana	4°51'40"N	74°02'01" W	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR)	*

Fuente: SIB – lavH (2021); Campos 2005; Arias-Pineda & Rodríguez 2012; La información *sin fecha de la CAR corresponde a la respuesta al derecho de petición

2. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA ESPECIE

2.1 Biología

El éxito del establecimiento de *P. clarkii* en los diferentes lugares del mundo en los que ha sido introducido, se debe a varias características biológicas y ecológicas de la especie tales como: 1. Tener hábitos alimenticios generalistas (Gutierrez-Yurrita et al., 1998); 2. Encontrarse en aguas tanto de tipo léntico como lótico, evitando ecosistemas con fuertes corrientes (FAO, 2021); 3. Presentar un rápido crecimiento y alta tasa de fecundidad, lo que favorece altas densidades poblacionales. 4. Posee un amplio rango de dispersión, autores como Gherardi et al., (2002) afirman que, *P. clarkii* puede recorrer hasta 11 m por día con patrones de actividad opuestos en fases errantes caracterizados por picos cortos de alta velocidad de locomoción, y fases estacionarias largas, donde se esconden en madrigueras y emergen sólo para alimentarse. 5. Tolerar altas concentraciones de salinidad, bajas concentraciones de oxígeno y 6. Ser resistentes a periodos de sequía prolongados de hasta 4 meses (Gherardi, 2006).

Según estas características, *P. clarkii* posee una gran capacidad de colonización en ecosistemas acuáticos, que conllevan a la alteración de la cadena trófica y desplazamiento de especies endémicas en los lugares que llegan. La introducción de *P. clarkii* en un nuevo ecosistema, puede llegar a reducir la biodiversidad y aumentar la homogeneización de las comunidades bióticas en un lapso de tiempo corto, sus altas densidades poblacionales y sus hábitos excavadores, pueden modificar estructuralmente los nuevos ambientes, y puede sustituir algunas poblaciones de la carcinofauna local, convirtiéndose en una gran amenaza para la biodiversidad local (Gherardi & Acquistapace, 2007; Pineda y Rodríguez, 2012).

Por otro lado, aunque carecen de sistemas eficientes de dispersión (no son nadadores activos), los huevos en reposo son de fácil transporte por el agua, y los estadios larvarios tienen gran movilidad, su potencial natural de dispersión es bajo en comparación con otras especies de invertebrados como insectos o moluscos, la acción antrópica representa un papel crucial en ayudar a los cangrejos rojos a superar dicha desventaja, con las continuas translocaciones a través de las fronteras naturales (Geiger et al., 2005).

El cangrejo rojo se caracteriza por ser la especie con mayor plasticidad ecológica de todos los decápodos (Campos, 2005), lo cual quiere decir que puede adaptarse y sobrevivir bien bajo diferentes condiciones ambientales; estos organismos poseen estrategia reproductiva "r", que consiste en una alta tasa de descendencia, crías pequeñas y una maduración rápida (Morlans, 2014). La cantidad de huevos que llega a producir una hembra difiere en varias investigaciones. Huner & Lindqvist (1991), mencionan que *P. clarkii* produce de 325 a 605 ovocitos dependiendo de la talla entre un rango de 7 a 10 cm de longitud total; en hembras de mayor tamaño (12 cm), pueden llegar a producir hasta 995 huevos (Alcorlo et al., 2008).

Su plasticidad, les permite una fácil adaptación a nuevos ambientes, aún aquellos con condiciones extremas como bajas concentraciones de oxígeno, altas temperaturas, periodos largos de sequía, entre otros (Campos, 2005). Por otro lado, en el ambiente nativo de *P. clarkii* un alto número de crías puede ser regulado por una alta depredación, pero en

un ambiente nuevo sin enemigos naturales abundantes, su alta fecundidad representa una supervivencia elevada de organismos y un gran problema de tipo ecológico y económico, debido a que alcanzan densidad de población más alta que los cangrejos rojos nativos (Barbaresi & Gherardi, 2000).

En Colombia se han realizado varios estudios para conocer un poco de la biología de este decápodo; estudios como los realizados por (Campos, 2005), quien hace una descripción de las características morfológicas de individuos colectados en 2004 en Briceño (Cundinamarca); Patiño y Barco (2018), quienes establecieron los primeros indicadores de estado de población de cangrejo rojo (tallas, reproducción, distribución) en la laguna de Fúquene (Cundinamarca). Arias-Pineda et al., (2020) indican, que existen pequeñas variaciones en la morfometría de cangrejos de Macanal-Boyacá y unos cangrejos nativos de Lousiana, estas diferencias sugieren adaptabilidad fenotípica de *P. clarkii* en su estado invasor; Camacho-Portocarrero et al., (2021), caracterizaron el nicho ecológico de *P. clarkii*, y modelaron su dispersión, con el fin de predecir las áreas de idoneidad ambiental para su establecimiento.

2.2 Comportamiento

Esta especie presenta formación de jerarquías, mostrando comportamientos agresivos entre adultos y juveniles de su propia especie, aun cuando los recursos como el alimento están en disputa como cuando no están (Issa et al., 1999; FAO, 2021).

P. clarkii es muy territorial, y presenta actividad excavadora, haciendo madrigueras profundas en los cuerpos de agua especialmente en época de muda y de postura, como consecuencia de este tipo de comportamiento, el establecimiento del cangrejo rojo ocasiona disminución en la disponibilidad de oxígeno en el agua y aumentando la turbidez de la misma, situación que conlleva a impactos sobre el ecosistema y las comunidades endémicas que en él habitan (Campos, 2005). Autores como Anastácio y Marques en (1997) señalan, que su comportamiento de apertura de madrigueras profundas crea efectos indirectos como el aumento de la turbidez, reduciendo de esta forma la penetración de la luz en el cuerpo de agua. Su constante actividad excavadora ha generado problemas en las riberas de los ríos por la desestabilización de los terrenos. Estudios realizados en Colombia indican que, las madrigueras presentan diámetros de 8 a 15 cm con profundidades que varían entre 50 y 180 cm (Flores-Brand & Espinosa-Beltran, 2011).

De otra parte, Gherardi et al., en el (2000), afirman que, las madrigueras se convierten en un factor importante de estudio etológico de *P. clarkii*, estos sitios pueden tener un efecto indirecto en la dispersión de estos organismos, ya que pueden ser limitadas en tiempo y espacio, convirtiéndose en un recurso primario para la especie, debido a que los individuos se refugian en ellas durante el día, y en las noches emergen a forrajear, para luego regresar a sus madrigueras al amanecer. Este tipo de galerías subterráneas son un hábitat preferido en época de mudas y postura (Campos, 2005).

En cuanto al desplazamiento, los machos pueden presentar comportamientos errantes, los patrones de movimiento son cambiantes, en ocasiones, pueden presentar picos cortos de locomoción muy activa, luego a velocidad lenta, o sin movimiento alguno (Gherardi et al.,

2000). Este es un comportamiento similar a los de otros decápodos de agua dulce, los machos de cangrejo rojo son más nómadas que las hembras, trabajos como el realizado por Gherardi et al., en (2002) demuestran que, algunas hembras permanecen inmóviles resguardadas dentro de las madrigueras; una posible causa de este comportamiento en las hembras de *P. clarkii* y de otros decápodos es la exigencia energética en su etapa de vitelogénesis, en la cual durante los meses previos a la oviposición, se produce un crecimiento drástico del ovario debido al cúmulo de grandes reservas nutritivas o vitelo de los ovocitos; este proceso puede requerir una dieta más abundante y en consecuencia, necesitar de un área de alimentación más grande o diversificada (Gherardi et al., 1988).

2.3 Hábitos alimentarios

Procambarus clarkii es considerada una especie politrófica, debido a que es herbívoro, omnívoro y detritívoro; la mayor parte de su dieta está compuesta por detritus vegetal, macrófitas y algas. Es un organismo netamente bentónico, omnívoro, que incluye dentro de su dieta macroinvertebrados principalmente insectos acuáticos, detritus (materia orgánica en descomposición tanto de origen animal como vegetal), aunque pueden sobrevivir de materia orgánica y vegetal, requieren materia animal para su óptimo crecimiento (FAO, 2021).

En España se ha reportado que *P. clarkii*, se alimenta de las comunidades bénticas como nemátodos, oligoquetos, moluscos, microcrustáceos (copépodos y pulgas de agua) (Alcorlo et al., 2004; Gutierrez-Yurrita et al., 1998); Cruz y Rebelo en (2005) afirman que el cangrejo rojo americano también se alimenta de huevos de anfibios. En Colombia, se realizaron análisis de contenidos estomacales en organismos de *P. clarkii* capturados en el Valle del Cauca entre 2003 y 2005, los resultados obtenidos en esta investigación indicaron que esta especie es omnívora, siendo detritívora y filtradora en las épocas de aguas altas y vegetariana en periodos de aguas bajas (Flores-Brand & Espinosa-Beltran, 2011).

Algunos datos de experimentos en laboratorio, sugieren que *P. clarkii* presenta preferencias alimentarias que van cambiando con la ontogenia de la especie, observando que los juveniles prefieren alimentos de origen animal, en cambio los adultos son principalmente herbívoros, en consecuencia, el impacto del cangrejo rojo americano en el ecosistema depende de la estructura de su población (Crehuet et al., 2007).

Sus hábitos alimentarios, pueden ocasionar cambios en las redes tróficas de los ecosistemas que colonizan, e influir en la desaparición de las especies endémicas; uno de los casos documentados de influencia de *P. clarkii* por depredación incluye a la rana *Taricha torosa* presente en algunos arroyos de California, este caso de depredación incluye los huevos, larvas y adultos de la rana (Barbaresi & Gherardi, 2000); los tritones larvarios no reconocen las señales químicas de los cangrejos rojos por lo que no les advierte del peligro, y en consecuencia la introducción del cangrejo rojo puede explicar la desaparición de tritones (*Taricha torosa*) en los arroyos de California (Barbaresi & Gherardi, 2000).

2.4 Depredadores

Dentro de los depredadores más comunes de *P. clarkii*, se encuentran algunos invertebrados acuáticos de vida libre como las ninfas de odonatos, chinches de agua de gran tamaño y coleópteros, estos influyen en los cangrejos rojos muy pequeños (Goncalves-Loureiro et al., 2015). La figura 4, muestra las relaciones de *P. clarkii* y su rol en la cadena trófica, depredando algunas poblaciones de macroinvertebrados (moluscos, anélidos), así mismo ilustra su asociación con patógenos, por ejemplo, el *Aphanomyces astaci*, el cual es letal para las especies de cangrejo endémicas (Goncalves-Loureiro et al., 2015).

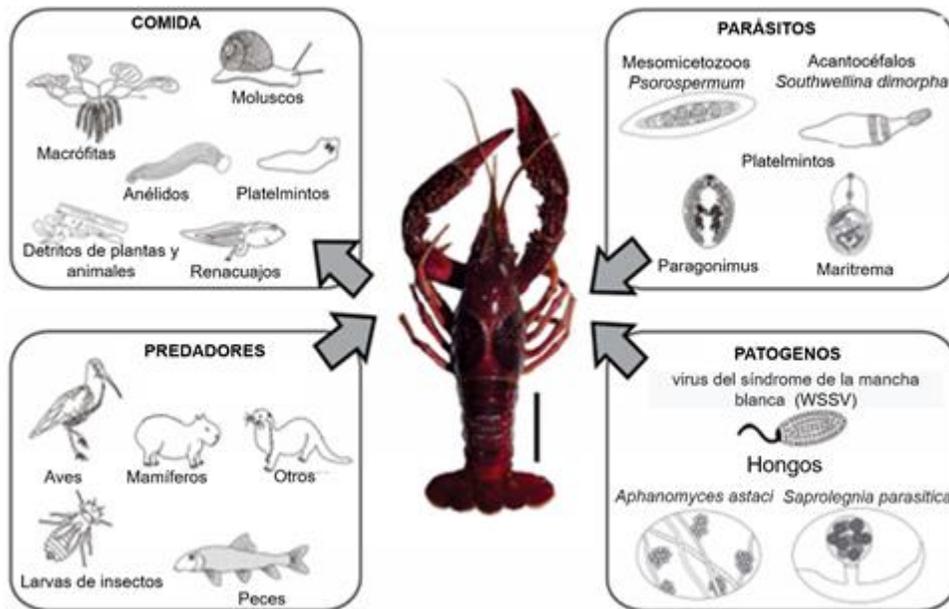


Figura 4. Ecología trófica y relaciones bióticas de *P. clarkii*, con respecto a alimentos, depredadores, patógenos y parásitos. Modificado de (Goncalves-Loureiro et al., 2015).

La figura 4 también muestra los depredadores de cangrejo rojo más reportados en la literatura que incluyen peces, aves y mamíferos como las nutrias (Delibes & Adrián, 1987). En Europa se ha documentado que la especie nativa de anguila (*Anguilla anguilla*) se alimentan del cangrejo rojo americano y puede llegar a reducir las densidades poblacionales en sistemas naturales (Aquiloni et al., 2010).

Por otra parte, *P. clarkii* es considerado en algunas zonas españolas como el responsable en el aumento del número de especies de aves, como *Ardeidae Botarus stellaris*, *Egretta garzetta* y *Ardea purpurea*, además de cormoranes que llegan a la región del Ebro (España), debido a la alta densidad de cangrejo rojo (Gherardi & Barbaresi, 2000). La propagación de cangrejo rojo ha influido en los hábitos de alimentación de organismos como las nutrias, las cuales dan una rápida respuesta a la alta disponibilidad de *P. clarkii* confirmando la adaptabilidad dietética a esta especie introducida (Delibes & Adrián, 1987).

2.5 Aspectos morfológicos

El cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) mantiene un aspecto morfológico característico de las especies de cangrejos rojos de norte américa del orden Astacidea. Su forma es muy similar a las langostas de mar, sin embargo, filogenéticamente están muy alejadas (Lange & Schram, 1999). La descripción morfológica de esta especie es detallada por la FAO (2021), en este documento se describe a *P. clarkii* como un organismo con forma cilíndrica, cefalotórax conspicuamente granular (rugoso) en adultos, provisto de numerosos pequeños tubérculos, con un rostrum largo con márgenes rectos, convergentes, con espinas marginales cerca de la punta, terminando en un acumen triangular (Figura 5). El caparazón no está separado dorsalmente por un espacio. El color de los adultos es rojo oscuro, algunos sombreados color café. Los jóvenes tienen un color gris uniforme, a veces con líneas oscuras onduladas. La longitud total (LT) generalmente oscila entre los 10,5 y 12 cm, con un peso entre 35 y 56 g, respectivamente y con un tamaño máximo de hasta 20 cm (LT).

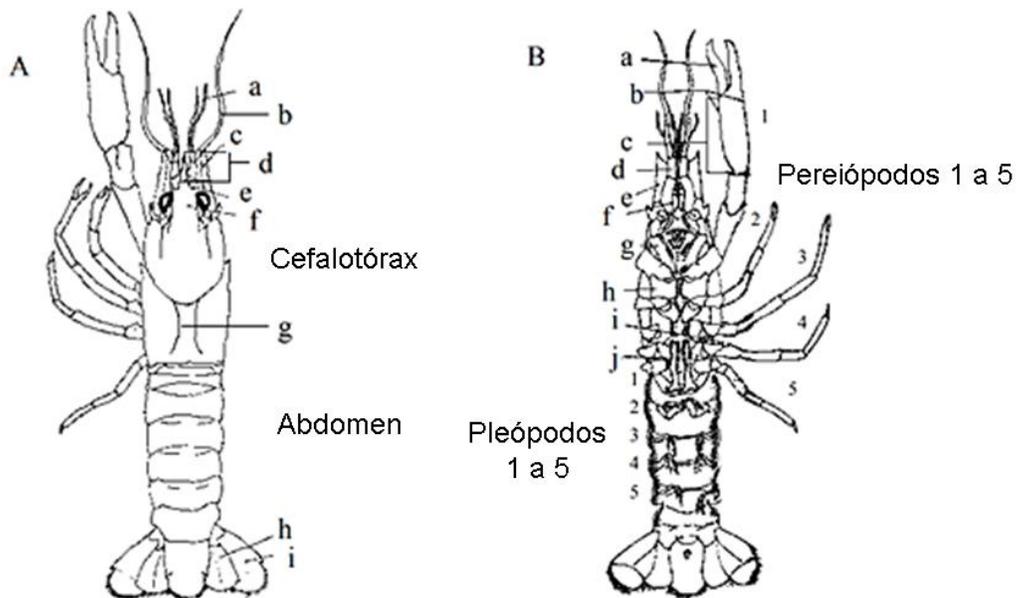


Figura 5. Morfología externa de cangrejos rojos (adaptado de Anastácio, 1993). La vista dorsal macho (A): a. anténula, b. antena, c. escama antenal, d. cresta del rostro, e. Espícula marginal, f. rostrum, g. areola, h. rama interior del urópodo, i. rama exterior del urópodo. Vista ventral (B): a. dactilo, b y c. palma, d. antena, e. escama antenal, f. anténula, g. isquion del 3º maxilípodo, h. coxa del quelípodo, i. gancho copulador, j. base de la coxa. Pereiópodos 1 al 5 (apéndices caminadores). Pleópodos del 1 al 5 (apéndices nadadores y en hembras sirven para la sujeción de los huevos).

Uno de los principales estudios morfológicos y de clasificación taxonómica de esta especie fue realizado por Hobbs Jr, (1989). En este documento se realiza una descripción principal de las estructuras reproductivas como caracteres diagnósticos dentro del gran grupo de cangrejos rojos americanos. Esta especie ha sido objeto de estudio en su desarrollo morfológico debido a su alto interés en acuicultura razón por la cual se ha experimentado

en busca de alcanzar mejores tallas en menores tiempos (Bustillos-Garza, 2012). Dentro de los estudios con interés científico se han enfocado en medir sus estados de condición, para lo cual se realizan jornadas de recolecta de organismos, se obtienen muestras representativas de individuos a los cuales se les realizan principalmente medidas de longitud total (LT) y el peso para analizar los tipos de crecimiento (isométrico, alométrico, etc.) (Franco-Sustaita, 2014; Rodríguez-Almaraz, 1992).

Actualmente se ha iniciado la exploración de medidas morfométricas a otros tipos de órganos como las branquias con el fin de tener conocimiento de la fisiología interna de esta especie (Abumandour, 2016).

En Colombia, Campos (2005), realizó la primera descripción de *P. clarkii* (Girard, 1852) como una langostilla no nativa para el país en donde incluye dibujos de estructuras como el caparazón, pereiópodos y primer gonopodio de un macho. Existen otros estudios morfológicos como el hecho por Pedroza-Martínez, (2017) en donde se evaluó la estructura poblacional de *P. clarkii*, en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca, en este mismo lugar se realizaron las anotaciones al estado, uso y gestión de la langostilla roja (Patiño y Barco, 2018), y el estudio más reciente fue el realizado por (Arias-Pineda & Rodríguez, 2012) en donde se analizaron las diferencias morfométricas entre dos poblaciones de cangrejo rojo *P. clarkii*, una de las poblaciones es colombiana del departamento de Boyacá y la otra de Estados Unidos, encontrando diferencias morfológicas que pueden obedecer a la adaptación del cangrejo rojo americano a las condiciones del nuevo hábitat.

El cangrejo rojo americano presenta dimorfismo sexual. Las hembras son a veces más pequeñas que los machos, y en algunos individuos machos una de sus tenazas es más grande que la otra, pero no es común en toda especie, por ello no se toma como carácter diferencial del sexo. Los machos tienen un órgano copulador formado por la modificación del primer y segundo par de pleópodos (gonopodios), la presencia de ganchos copuladores está en el tercer y cuarto par de pereiópodos y las aperturas genitales se encuentran en el quinto par de pereiópodos (Figura 6B). Las hembras poseen aperturas genitales en el tercer par de pereiópodos, y los apéndices abdominales del primer y segundo par de pleópodos son vestigiales o inexistentes (Figura 6A). (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017).

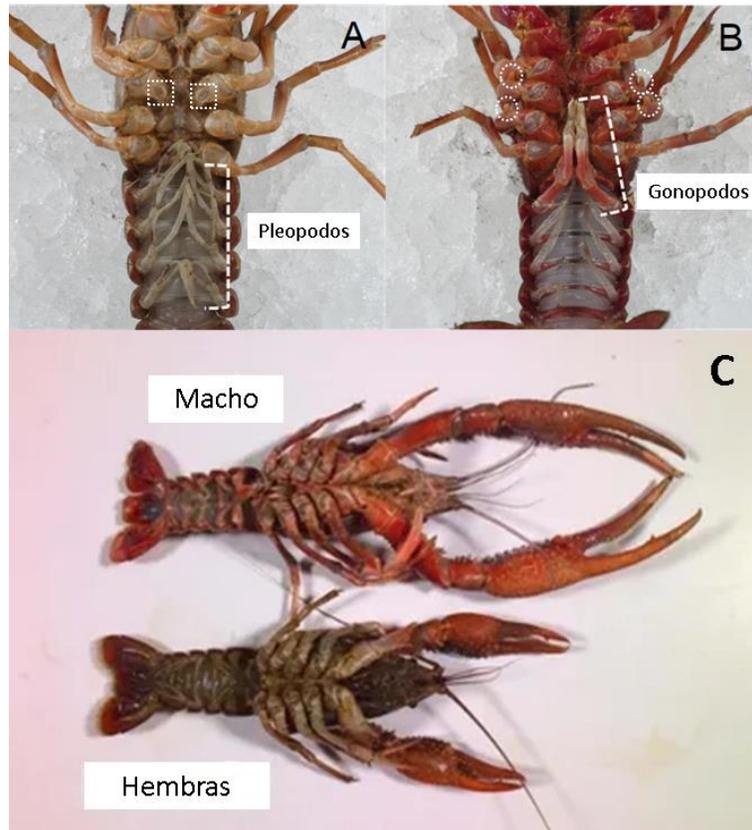


Figura 6. Dimorfismo sexual de *Procambarus clarkii*. Se muestran las diferencias entre hembras y machos. A. Vista ventral de órganos reproductivos de las hembras, B. Vista ventral de órganos reproductivos de los machos y C. Comparación morfológica de los dos. En cuadros punteados se muestra la apertura de los oviductos en el tercer par de pereiópodos. En círculos punteados se muestran los ganchos copuladores. (Modificado de Hamasaki et al., 2020 y Crayfish, Acuariopets).

En varios países del mundo, se han realizado estudios del crecimiento y tamaño promedio del cangrejo rojo en los ecosistemas de origen y donde se ha introducido. Los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy, son los que mejor permiten hacer comparaciones de la talla del organismo en varios países (Anastacio et al., 2009). Estos valores pueden cambiar en función del lugar de estudio, la medida del cuerpo evaluada y el método de análisis con el cual se estimaron los parámetros de crecimiento. En la tabla 2 se muestran datos de varias localidades donde se ha generado el valor K (factor de condición o factor de condición de Fulton) el cual permite ver en qué estado se encuentra el organismo en el lugar que habita.

Tabla 2. Comparación de parámetros poblacionales K y L (longitud asintótica del cefalotórax) en estudios realizados de *P. clarkii*.

Población/sexo	L_{∞} (mm)	K (año⁻¹)	Referencia	País
Población total	80,5	0,85	Dörr et al., (2006)	Italia
Población total	62,7-65,5	0,61-0,69	Scalici & Gherardi (2007)	Italia
Macho	74,6	0,49	Chucholl (2011)	Sur de Alemania
Hembra	79,8	0,45		
Macho	69,3	0,59	Dörr & Scalici (2013)	Italia (Lago Trasimeno)
Hembra	73,71	0,58		
Macho	15,18	1,74	Saad et al., (2015).	Egipto (Rio Nilo)
Hembra	16,95	1,54		
Macho	68,25	0,340	Maccarrone et al., (2016)	Sur Italia
Hembra	67,20	0,350		
Macho	60,93	0,81	Jin et al., (2019)	China (cultivo)
Hembra	58,12	0,86		

La L_{∞} corresponde a la longitud del caparazón y población hace referencia al valor para toda la población (hembras y machos) en el estudio.

Los individuos de cangrejo rojo de Alenia, según Chucholl, 2011; presentaron un valor más alto de L , mostrando que los organismos de esta área crecen más en comparación a los reportados en otros países de Europa, África y Asia.

2.6 Aspectos reproductivos

La reproducción de esta especie en Norteamérica se realiza en primavera, momento en el que las hembras y los machos realizan la cópula en aguas abiertas, sin embargo, en las zonas más al sur del continente se ha evidenciado que logran reproducirse hasta dos veces en un año.

El apareamiento, se resume en un encuentro de macho y hembra, previo a un reconocimiento químico y visual, el cual, inicia con peleas entre ambos sexos, utilizando sus quelípedos, hasta que el macho sostiene firmemente a las hembras con estos apéndices, postrando a la hembra con su dorso en el substrato; así, el macho usa sus pléopodos modificados en gonópodos para dar inicio a la cópula, esta puede durar de unos cuantos minutos hasta una hora y media, periodo en el cual, los machos transfieren el esperma en los receptáculos seminales de las hembras (Rodríguez-Almaraz, 2001).

Luego de la actividad reproductiva, las hembras se aíslan y buscan refugio en lugares húmedos donde suelen excavar madrigueras. De esta forma, ellas permanecen en las madrigueras hasta el momento en el que liberan los huevos negros, los cuales lleva adheridos a sus apéndices abdominales (pleópodos) (Figura 7), por un periodo aproximado de 28 días (Campos, 2005).

En este momento salen a aguas abiertas y las crías permanecen adheridas hasta que se convierten en juveniles de vida libre (McClain et al., 2005), este proceso lleva un período aproximado de 30 días, tiempo en el que alcanzan la independencia y se pueden valer por sí mismos (Campos, 2005). Se ha logrado identificar que en promedio esta especie tiene un tiempo de vida de 2 años y sus eventos reproductivos dependen de las condiciones físicas y ambientales (Rodríguez-Almaraz, 2001).

En países como México de donde es nativo y en Portugal, China, Brasil, España, (Callejas-Caraballo & Díaz-Gallego, 2019) en donde ha sido introducido se ha evidenciado que esta especie logra tener múltiples eventos a lo largo del año (Alcorlo et al., 2008). En muchos de estos países se ha logrado identificar que una hembra puede producir cerca de 500 huevos, y este número está relacionado con el tamaño y estado de la hembra (Franco-Sustaita, 2014).

Para el caso de los Cambáridos en general, el número de huevos producidos y liberados de los ovarios de las hembras, es directamente proporcional a su talla. Por ejemplo, una hembra de 57 mm puede producir 100 huevecillos, una de 80 mm produce hasta 300, mientras que una de 98 mm llega a producir alrededor de 500 huevos, los cuales pueden llegar a medir 2 mm de diámetro (Rodríguez-Almaraz, 2001).

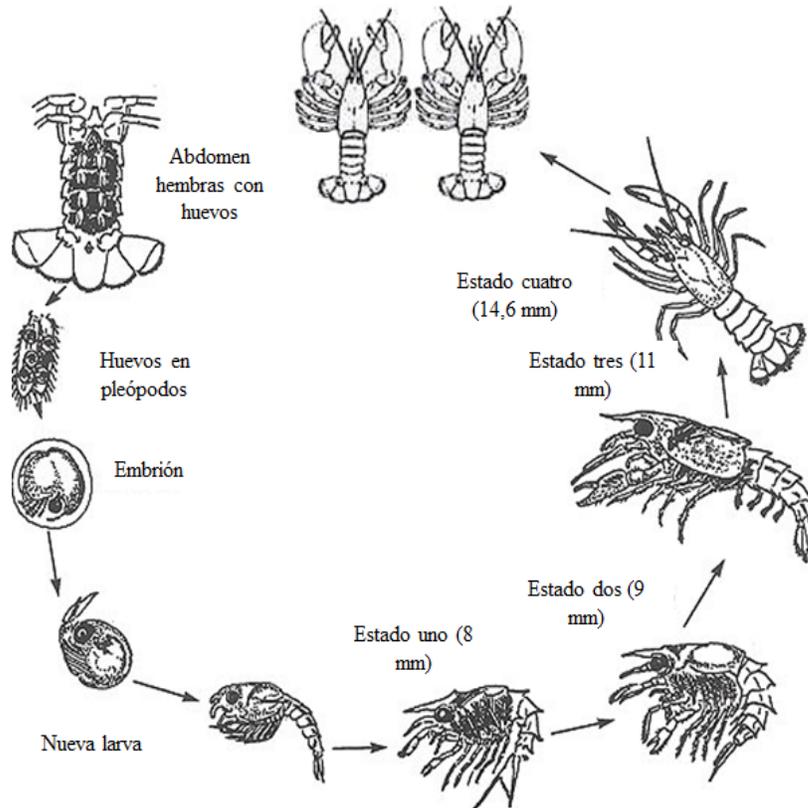


Figura 7. Ciclo de vida de organismos del grupo Decápoda. El ciclo empieza con el cuidado parental de los huevos adheridos a los pleópodos de la hembra en el abdomen. El huevo se desarrolla como embrión sujetado a la madre hasta que desarrolla estructuras que le permiten nadar (abdomen y pleópodos) lo que se conoce como nueva larva, esta se desprende de su madre para continuar su crecimiento. En el estado uno dos y tres, los individuos ya están desarrollados, solo se encargan de crecer y tienen leves cambios de color. Después de los 60 mm se consideran maduros. Imagen tomada y adaptada de larvae, www.crayfish.com (<https://sites.google.com/site/wwwcrayfishcom/larvae>)

Anatomía reproductiva de *Procambarus clarkii*:

En los camaridos, las gónadas en ambos sexos presentan forma trilobular, y se sitúan entre el corazón (inmediatamente abajo y delante de él) y el tubo digestivo de estos crustáceos; tanto en machos como en las hembras, las gónadas se dividen en dos lóbulos anteriores y un lóbulo posterior (Rodríguez-Almaraz, 2001).

En el caso de *P. clarkii*, el ovario es un órgano largo, parecido a un saco, asemeja una forma de “Y” (Figura 8), está conformado por dos oviductos laterales, las cuales se comunican con el gonópodo, ubicado en la coxa del tercer par de periópodos (Callejas-Caraballo & Díaz-Gallego, 2019). El ovario presenta una pared ovárica delgada, la capa celular más externa del ovario rodea los ovocitos y los huevos (Ando & Makioka, 1998).

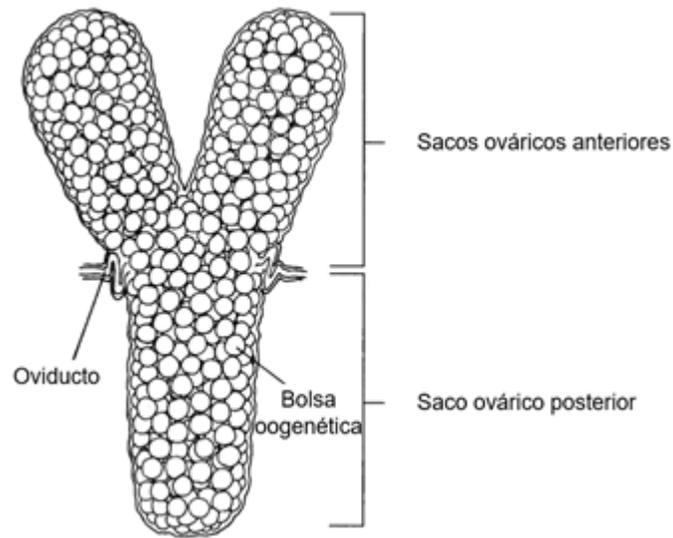


Figura 8. Dibujo en vista dorsal, del sistema reproductor femenino de *Procambarus clarkii*, ovario en forma de "Y", que consta de 2 sacos ováricos anteriores, y un único saco ovárico posterior. Modificado de (Ando & Makioka, 1998).

Las gónadas femeninas de *P. clarkii*, cambian de coloración, según el estado de madurez de las hembras y su tamaño (Dávila et al., 2009). La fase reproductiva de las hembras se asigna evaluando la maduración de las gónadas, desde un ovario inmaduro, hasta huevos en el abdomen. Rodríguez-Almaraz en (2001) afirma que, las características de coloración que diferencian a los estadios de las gónadas femeninas están clasificadas en:

- I) Condición gastada (Las gónadas son blancas y pequeñas, no se distinguen ovocitos)
- II) Gónada color crema (se empiezan a distinguir los ovocitos)
- III) Gónadas color marrón (Los ovocitos miden 1 mm de diámetro)
- IV) Gónadas café oscuro (los huevecillos miden entre 1.6 y 1.9 mm de diámetro)

En los machos de *P. clarkii*, existen dos canales deferentes enrollados uno a lado y lado del testículo del cangrejo (Figura 9), estos canales son muy largos y estrechos, y desembocan en las aberturas de las gonoporos localizados en la base del quinto par de pereiópodos (Rodríguez-Almaraz, 2001).

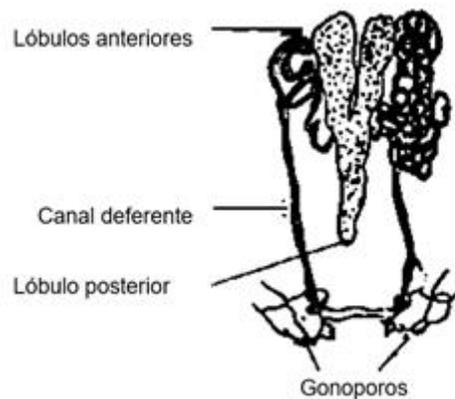


Figura 9. Dibujo de la estructura de la gónada del macho de *Procambarus clarkii*. Modificado de (Rodríguez-Almaraz, 2001).

Índice gonadosomático (IGS)

Índice común en peces para evaluar el estado gonadal. En los crustáceos, el índice gonadosomático (GSI) es un indicador de tipo cuantitativo de la condición de las gónadas de los individuos evaluados; el cálculo del IGS, representa una forma sencilla y eficaz, para medir los cambios en el tamaño y el peso de este órgano en relación con el peso total del organismo (Rodríguez-González et al., 2006). El índice gonadosomático, se convierte en una herramienta de la condición de madurez de las gónadas en las especies de cangrejos como *Procambarus clarkii*. Para calcular este índice, se tiene en cuenta: [peso de las gónadas / peso corporal] × 100 (Alcorlo et al., 2008). El peso del ovario, puede ser usado como indicador de la maduración del mismo, también puede caracterizar un desarrollo ovárico en particular.

El cálculo de este tipo de índices en los decápodos, ha generado datos científicos relevantes, dando a conocer la maduración gonadal y las épocas de desove de algunos crustáceos; la relación entre el peso de las gónadas y el peso corporal de los individuos, supone que los animales de diferentes tamaños, mantienen una relación entre talla gonadal – talla corporal (Rodríguez-Almaraz, 2001).

En la actualidad se han realizado varios estudios que implican el cálculo del IGS; trabajos como los de Alcorlo et al., en (2008) examinaron la estrategia reproductiva y ciclo de vida de *P. clarkii* con hidroperiodos variables; Hamasaki et al., en (2020) evaluaron las diferentes formas sexuales en las hembras de *P. clarkii*, valorando la condición de madurez de las gónadas y la presencia o no de huevos en las hembras.

Índice hepatosomático

El hepatopáncreas, es el principal órgano de almacenamiento de reservas orgánicas e inorgánicas en los decápodos (Sokolowicz et al., 2006). Este órgano interno, constituye una masa glandular, que ocupa gran parte del cefalotórax, y está localizada a los lados del estómago; su función incluye la síntesis y secreción de enzimas digestivas y el metabolismo

de los carbohidratos (Rodríguez-Almaraz, 2001). El desarrollo gonadal en los tejidos somáticos, está asociado con las reservas orgánicas y minerales que se depositan en el hepatopáncreas, estas reservas son llevadas a las gónadas durante la fase de la gametogénesis (Lawrence, 1976); por esta razón, se espera que cuando se implementan los dos índices tanto gonadosomático como el índice hepatosomático, estos varíen entre sí (Sokolowicz et al., 2006).

El hepatopáncreas es el responsable de varias funciones en el cuerpo de los crustáceos, constituyendo un órgano vital para la supervivencia de estos individuos; entre las funciones del hepatopáncreas, se encuentran: la síntesis y secreción de enzimas digestivas y la subsiguiente toma de nutrientes; además está implicado en la excreción, ciclo de muda, almacenamiento de reservas inorgánicas y el metabolismo de lípidos y carbohidratos (Rodríguez-Almaraz, 2001).



Figura 10. Imagen de 2 hepatopáncreas, a la izquierda un hepatopáncreas con buena coloración y reservas energéticas, a la derecha un hepatopáncreas de menor tamaño y coloración pálida, indicando menos fuentes energéticas en el organismo del crustáceo (Tomado de McClain et al., 2005).

La figura 10 se muestra el hepatopáncreas de una hembra, la diferencia marcada en la imagen en un hepatopáncreas lleno, grueso y de color amarillo indica buenas reservas de energía, necesarias para la reproducción; mientras que un hepatopáncreas pequeño, y de coloración poco resaltada, indica una condición corporal de los cangrejos poco deseable en términos de producción animal (McClain et al., 2005).

3. ECOLOGÍA TRÓFICA

La ecología trófica y las interacciones entre especies afectan la dinámica y productividad de los ecosistemas, especialmente cuando una especie invasora coloniza un nuevo hábitat y es capaz de cambiar y redefinir interacciones alimentarias. Los hábitats de agua dulce son excepcionalmente susceptibles a los cambios ambientales, y exhiben marcados gradientes ecológicos (Gonçalves-Loureiro et al., 2019).

El cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) se ha catalogado como una de las especies más invasoras de agua dulce y perjudiciales a nivel mundial (Gallardo et al., 2016), se considera de tipo desmenuzador o triturador. Es bentónico y omnívoro, se alimenta de insectos, larvas, detritos, con preferencia por materia animal en sus estadios juveniles. En su hábitat natural, han sido clasificados como carnívoros obligados, lo que significa que puede subsistir a partir de materia orgánica y vegetal, pero requieren alguna forma de materia animal en su dieta para su óptimo crecimiento y salud (Carballo-Cabezas, 2017).

Su introducción en los ecosistemas impacta negativamente la diversidad de taxones en las redes tróficas de cuerpos de agua lóticos y lénticos, incluyendo especies de macrófitas acuáticas, especies nativas de cangrejos, invertebrados acuáticos y vertebrados, incluidos peces y anfibios (Matsuzaki et al., 2009; Lodge et al., 2012; Twardochleb et al., 2013) generando cambios en los procesos del ecosistema debido a la excavación, la búsqueda de alimento y otros comportamientos de esta especie (Larson & Olden, 2016)

En el estudio realizado por Larson & Olden, (2016) en el cual se analizaron los nichos tróficos entre *Pacifastacus leniusculus* (cangrejo señal) y *Procambarus clarkii*, encontraron que ambas especies son generalistas u omnívoras, que tienen una dieta muy diversa que incluye desde una alta dependencia de detritos terrestres de calidad alimentaria, incluyendo organismos del fitoplancton, perifiton, zooplancton, y macroinvertebrados, hasta algunos grupos de vertebrados de menor tamaño como peces y anfibios (Gutiérrez-Yurrita et al., 1998; Bondar, et al., 2005); por otro lado los resultados indican que *P. leniusculus* tiene una posición trófica mayor que *P. clarkii*, en la cual se evidenció que esta especie consume presas de mayor tamaño, mientras que *P. clarkii* se relaciona positivamente con la abundancia de los productores primarios bentónicos litorales, con algunos productores planctónicos y detritos terrestres. Estos organismos interactúan con las redes alimentarias de agua dulce afectando las comunidades, las diferencias en posición trófica entre *P. leniusculus* y *P. clarkii* podría resultar en diferentes roles como vectores de contaminantes como mercurio en las redes tróficas de agua dulce (Larson & Olden, 2016). A la vez *P. clarkii* puede ocupar múltiples posiciones tróficas en las cadenas alimenticias acuáticas generando el efecto de cascada trófica, consumiendo una gran variedad de recursos y presentando flexibilidad de comportamiento dependiendo de la disponibilidad de los recursos alimenticios (Gonçalves-Loureiro et al., 2019).

También se ha evidenciado que existen diferentes preferencias alimenticias dependiendo de las etapas de desarrollo de *P. clarkii*, p. ej, los pre-adultos y los adultos tienden a ser más herbívoros, mientras que los juveniles tienden a ser depredadores. Esta selección está asociada a periodos hidroclimáticos contrastantes, en los cuales se modifican las dietas del cangrejo dependiendo de la variación ambiental (Correia, 2003).

Otros estudios han encontrado en los análisis de contenidos estomacales de los cangrejos rojos que gran parte de estos corresponden a material vegetal (Webster & Patten, 1979; Huryn & Wallace, 1987), sin embargo en el proceso de verificación de la eficiencia de asimilación en contenidos intestinales se identificó la importancia de la dieta carnívora como fuente de energía (Whiteledge & Rabeni, 1997) especialmente en la etapa juvenil de los cangrejos, cuando las tasas de crecimientos son las más altas (Gutiérrez-Yurrita et al., 1998).

El conocimiento de las interacciones interespecíficas depredador-presa de *P. clarkii* con otros macroinvertebrados acuáticos, ayuda a entender los mecanismos y procesos que involucran a la invasión biológica (Correia et al., 2005). Las especies de depredadores y presas se representan en la Figura 11 donde *P. clarkii* tiene fuertes efectos sobre el consumo de las larvas del mosquito quironómido (*Chironomus riparius*) y esto genera cambios en el comportamiento de las especies *Physa acuta* (caracol) y *Corbicula fluminea* (almeja), evidenciando que *P. acuta* y *C. fluminea* se desplazan a buscar refugio en presencia de *P. clarkii*, las interacciones entre *C. riparius*, *P. acuta*, y *C. fluminea*, no fueron evaluadas en este estudio. Sin embargo, en datos de campo el cangrejo rojo americano ajusta su dieta dependiendo de la disponibilidad de recursos alimenticios (Correia et al., 2005).

En estudios más recientes Veselý et al., (2021) encontraron que los cangrejos depredadores *Procambarus virginalis* y *Faxonius limosus* que viven en simpatria con *P. clarkii*, disminuyen el tamaño de sus nichos tróficos haciéndolos más estrechos y superpuestos en presencia de *P. clarkii*, cambiando los flujos de energía en todos los niveles tróficos, debido a la competencia por recursos alimenticios, desde consumidores primarios bentónicos sésiles que pueden ser capturados fácilmente, hasta macroinvertebrados depredadores y planctívoros (Chucholl, 2013).

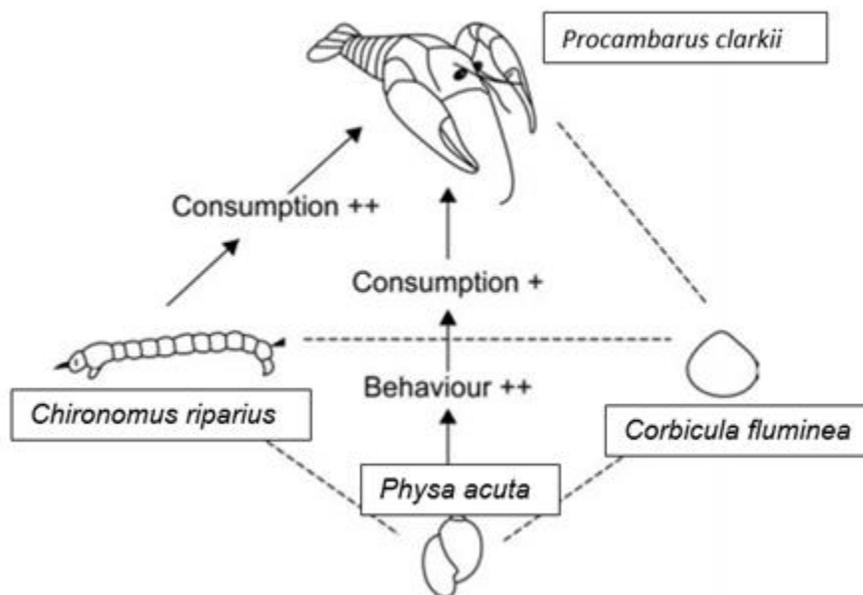


Figura 11. Configuración simplificada de las interacciones interespecíficas entre las diferentes especies de macroinvertebrados (*P. clarkii* -depredador, *Chironomus riparius*, *Physa acuta* y *Corbicula fluminea*-presas). Las líneas discontinuas indican que no se detectaron interacciones. Imagen tomada de (Correia et al., 2005). Modificado por los autores.

Cabe destacar que, para comprender mejor el papel trófico del cangrejo rojo, los métodos más implementados son los estudios de análisis de contenido estomacal, estos han sido una herramienta útil para analizar sus interacciones tróficas (Hyslop, 1980). También se ha

implementado el análisis isotópico con isótopos estables de carbono y nitrógeno que determinan variables temporales en la dieta (Correia, 2003).

Alcorlo et al., (2004) realiza un estudio comparativo de la dieta del cangrejo rojo americano en zona de marismas y cultivos de arroz en España, en el cual se identificaron 17 ítems alimentarios agrupados en tres grupos principales: detritos vegetales (verdes y no verdes), sedimentos inorgánicos y semillas y esporas en las marismas, además, los insectos aparecieron como otra fuente importante de alimento. Por otra parte, en los campos de arroz, además de los ítems mencionados anteriormente, se encontraron algas filamentosas como parte de la dieta del cangrejo rojo, también se reportaron la presencia de fragmentos de cangrejo rojo americano en los contenidos estomacales lo que indica que la especie presenta comportamientos de canibalismo, que se puede deber a la alta densidad poblacional del cangrejo rojo en la zona, y a la disponibilidad de alimento (Patiño & Barco, 2018).

A nivel nacional se conoce el trabajo de Callejas- Caraballo & Díaz-Gallego (2019) quienes realizaron estudios poblacionales y de contenido estomacal a 160 individuos de *P. clarkii* del lago del parque metropolitano Simón Bolívar en Bogotá, también trabajo de Florez-Brand & Espinosa (2011), confirmaron que el cangrejo rojo americano es una especie oportunista y generalista, incluye en su dieta alimentaria todo aquello que encuentra disponible en el medio, sin embargo, en ambos estudios la mayoría de las muestras corresponde a material de origen vegetal.

La amplia composición de la dieta y la voracidad también proporcionan información sobre los principales impactos asociados al establecimiento de esta especie, que afectan principalmente a las macrófitas, crustáceos, insectos y peces. Por lo tanto, es de suma importancia para evitar nuevas introducciones y para contener las expansiones de las poblaciones ya establecidas (Gonçalves-Loureiro et al., 2019).

4. COMPORTAMIENTO

El cangrejo rojo americano se considera un excavador, que vive principalmente en sistemas acuáticos, y se retira hacia las madrigueras durante los períodos secos y bajos de agua para evitar la pérdida de humedad y refugiarse (Huner & Barr, 1984). Estudios anteriores han cuantificado la excavación de *P. clarkii* en diferentes cuerpos de agua de Europa encontrando que las madrigueras pueden ser temporales o permanentes, pueden sobrevivir hasta un año en las madrigueras sin disponibilidad de alimentos, a la vez retienen agua en las madrigueras en épocas secas (Souty-Grosset et al., 2014).

Además *P. clarkii* depende en gran medida de la temperatura para su desarrollo, el crecimiento óptimo de la especie ocurre en temperaturas que oscilan entre los 21 y 27 °C (Hunter & Barr, 1991). Además, a bajas temperaturas se disminuye la tasa de crecimiento, el cual va acompañado del aumento en la longevidad de los organismos, pasando de una edad media 12 a 18 meses a una edad de 3,7 y 4,7 años o más (Chucholl, 2011), es decir que la temperatura del agua juega un papel importante en las tasas de reproducción sexual, crecimiento, y la maduración, estas variables se relacionan positivamente con el aumento de la temperatura (Huner & Lindqvist, 1991).

Estudios de las razones del éxito o el fracaso del establecimiento de *P. clarkii* en sistemas particulares se han centrado principalmente en factores bióticos como las interacciones con competidores y depredadores. El cangrejo rojo americano es abundante en las zonas litorales, donde dominan la biomasa bentónica, son un gran consumidor de bentos y de productores primarios (fitoplancton y perifiton) (Light, 2003). Sin embargo, la función trófica de este cangrejo rojo podría variar según la ontogenia (tamaño) y el hábitat contexto, este rango y patrón de variabilidad del nicho trófico se han conservado entre regiones nativas e invasoras (Larson & Olden, 2016). Rallo & García-Arberas (2002) examinaron las asociaciones de la fisicoquímica del agua con cangrejos rojos nativos e invasores en arroyos, en la cual se observó la relación de la abundancia de cangrejos con periodos hidroclimáticos, la abundancia de cangrejos aumenta en periodos de sequía, además se concluyó que las especies de cangrejo son sensibles a altas concentraciones de Nitritos, Magnesio y Sulfatos (Light, 2003; Sánchez-Saavedra, et al., 1993).

5. TIPOS DE HÁBITAT

El cangrejo rojo americano se encuentra tanto en hábitats de agua dulce lénticas y lólicas: arroyos tranquilos, pantanos, acequias, ciénagas y estanques, etc., especialmente entre la vegetación y hojarasca, evitando los arroyos con fuertes corrientes. Es muy resistente a todo tipo de condiciones, soportando bajos niveles de oxígeno, temperaturas altas y ambientes bastante eutrofizados. Muestra un comportamiento territorial y es agresivo hasta con individuos de su propia especie. Hiberna enterrándose durante períodos de sequía o frío. Es una especie menos crepuscular y fotofoba que el cangrejo autóctono de España *Austropotamobius pallipes*. (Carballo-Cabezas, 2017).

Entre los aspectos ecológicos más relevantes se ha observado que *P. clarkii* presenta una afinidad por cuerpos de agua con poco caudal y con un especial interés por lugares donde se encuentran macrófitas como *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) que aporta una cobertura en la parte superficial que disminuye la visualización de esta especie haciéndolos imperceptibles a la luz del día, y dotando a su hábitat una serie de detritus vegetal que les sirve como alimento; además permite a esta especie tolerar condiciones ambientales desfavorables como baja calidad de agua, altas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno y sequía (Huner & Barr, 1984).

En la sabana de Bogotá también se ha evidenciado la asociación entre los individuos de *P. clarkii* y la cobertura vegetal constituida de *Eichhornia crassipes*, como lo menciona Arias-Pineda & Pedroza-Martínez (2018), quienes encontraron que el cangrejo prefiere establecer sus poblaciones en sitios con vegetación acuática que les brinde alimento como detritus vegetal; Camacho-Portocarrero, et al., (2021) también encontraron que *P. clarkii* muestra preferencia por sitios con presencia de vegetación flotante no solo buchón de agua, causando impactos negativos en la reducción de la abundancia de macrófitas por pastoreo en los ecosistemas invadidos.

Por otro lado, en el Valle del Cauca, Florez-Brand & Espinosa (2011), reportaron que la gran mayoría de los arroyos y zanjonos donde fue encontrado *P. clarkii* no superaron los 70 cm de profundidad confirmando la afinidad de esta especie por los cuerpos de agua con poco caudal.

En la sabana de Bogotá se ha evidenciado además que este cangrejo posee una notable actividad en las horas de la noche (7:00-12:00 PM) y en la madrugada (12:00- 3:00 AM); en las horas donde se presentó la menor cantidad de individuos activos fue entre las 12:00-6:00 PM (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018). En cuanto a la población se mantiene la proporción de machos y hembras 1:1, lo cual presentan una estabilidad poblacional donde los cangrejos se reproducen constante y efectivamente aumentado el número de organismos de la población, hecho que se debe tener en cuenta para generar planes de control y mitigación (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018).

6. IMPACTOS PRODUCIDOS POR LA INTRODUCCIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

El cangrejo rojo americano ha logrado establecerse en muchos cuerpos de agua donde ha sido introducido y permanecer en estos durante mucho tiempo. Por sus características biológicas y ecológicas anteriormente mencionadas han logrado colonizar y dispersar de manera exitosa, ocupando posiciones clave tanto en sus ecosistemas naturales como en aquellos en los que logra introducirse (Holdich, 2002). Por lo tanto, se espera que el impacto y los cambios que provocan en los ecosistemas naturales, una vez introducidos sean evidentes.

A partir de su introducción, los cangrejos rojos forman poblaciones estables, seguido de una rápida expansión de su distribución dentro del hábitat invadido. La invasión y dispersión de la especie *P. clarkii* en los principales ecosistemas acuáticos genera diferentes tipos de impactos categorizados en impactos a la biodiversidad, impactos ecológicos, impactos estructurales e impactos en la salud humana, los cuales se describen a continuación:

6.1 Impactos sobre la biodiversidad

La fauna nativa se puede ver gravemente amenazada por la presencia de *P. clarkii*, debido en parte por sus hábitos alimenticios generalistas, lo cual produce alteraciones en las cadenas tróficas, ocasionando el desplazamiento y reducción de las poblaciones endémicas de peces, crustáceos por la depredación de sus huevos y larvas. Esta capacidad de integración del cangrejo rojo americano en la red alimentaria en muchos niveles, facilita la invasión en los ecosistemas acuáticos (Moyle & Light, 1996).

Por otra parte, los cangrejos rojos consumen macrófitas de agua dulce y las plantas representan un 75% de su dieta (Chidester, 1908; Chidester, 1912; Tack, 1941; Momot, 1967; Prins, 1968) estableciendo un carácter de alimentación herbívoro dominante, lo que genera un impacto notable sobre las macrófitas, y que está asociado a tres factores el tipo de macrófitas (p. ej., diferencias entre especies, biomasa inicial, forma de crecimiento, palatabilidad), el estado del cangrejo rojo (p. ej., sexos, tamaño y actividad), y la abundancia de presas alternativas (Geiger et al., 2005).

En ambientes mediterráneos, se ha citado a *P. clarkii* como responsable de la desaparición de algunas especies de macrófitas en humedales y marismas de agua dulce y salobre del sur de Europa. En España, hay otros ejemplos en los que la composición de macrófitas

sumergidas cambió tras la llegada de *P. clarkii* (p. ej. en la Laguna de El Portil en Huelva, SW España (Carreira et al., 2014); Lago Carucedo (Dpto. Ecología, UAM, no publicado), Lago Chozas, León, noroeste de España (Geiger et al., 2005).

Por otro lado, los análisis de contenidos estomacales de los cangrejos rojos han evidenciado la importancia de la dieta carnívora como fuente de energía (Whiteledge y Rabeni, 1997) especialmente en la etapa juvenil de los cangrejos, cuando las tasas de crecimientos son las más altas (Gutiérrez-Yurrita et al., 1998). Condición que genera un impacto sobre las larvas de peces (p. ej. *Gambusia holbrooki*), en huevos y larvas de anfibios, y en invertebrados acuáticos con una preferencia notable por los artrópodos (copépodos, ostrácodos) y gasterópodos. En un estudio se encontró la coincidencia entre la extinción de dos especies de gasterópodos - *Lymnaea peregra* y *L. stagnalis* en las marismas de agua dulce del Parque Nacional de Doñana (suroeste de España) y la introducción del cangrejo rojo (Geiger et al., 2005). La reducción de las poblaciones de invertebrados por la alimentación del cangrejo rojo desencadena efectos en cascada sobre los niveles tróficos más bajos.

Una de las enfermedades más transmitidas por los cangrejos rojos es una plaga producida por *Aphanomyces astaci*, un hongo parasito saprolegniaceae que se adapta fácilmente en la cutícula del cangrejo rojo de agua dulce, esto ha ocasionado el declive de muchas poblaciones de cangrejos de río nativos de Europa desde la década de 1980 (Diéguez-Urbeondo et al., 1995). Entre las especies más susceptibles a la infección por *A. astaci* se encuentra el cangrejo de río de patas rojas (*Astacus astacus*) del noroeste de Europa, el cangrejo de patas blancas (*Austropotamobius pallipes*) del sureste y este de Europa, el cangrejo de los torrentes (*Austropotamobius torrentium*) del suroeste de Europa, y el cangrejo de patas delgadas (*Astacus leptodactylus*) de Europa del este y de Asia Menor (Alderman, 1996; Alderman et al., 1984; Rahe & Soylu, 1989; Unestam & Weiss, 1970; Martín-Torrijos et al., 2017).

En dichas especies de cangrejo europeas, según la Organización mundial de sanidad animal-OIE (2012) el agente patógeno consigue frecuentemente penetrar hasta la lámina basal, situada bajo la capa celular de la epidermis, es desde ahí que este hongo parásito se disemina por todo el organismo invadiendo principalmente el tejido conjuntivo y senos hemáticos, pero que puede lograr afectar todos los tejidos internos.

La supervivencia de la especie *P. clarkii* a la infección, se debe a una respuesta inmunológica que consiste en una alta resistencia hacia el genotipo más virulento del patógeno, el genotipo Pc, realizando la encapsulación y melanización de las hifas. (Martín-Torrijos et al., 2017).

6.2 Impactos ecológicos

Además de los impactos en los componentes estructurales de las comunidades, la presencia del cangrejo rojo puede alterar el patrón de flujo de energía específicamente en los sistemas donde los detritívoros son raros y presentan dominio de los autótrofos, un ejemplo de ello son las marismas temporales de agua dulce (Geiger et al., 2005). Esta especie invasora logra consumir gran parte del detritus (Gutiérrez-Yurrita et al., 1998),

transfiriendo esa energía ganada al nivel de depredador superior (peces, aves y mamíferos) que ocasiona una reducción en el número de niveles tróficos, menor importancia a las macrófitas, herbívoros primarios y carnívoros primarios, y una mayor disponibilidad de energía para los depredadores vertebrados (Geiger et al., 2005).

Cabe mencionar que la trituración de plantas y la bioturbación inciden en el cambio de un estado de equilibrio natural de agua transparente, dominado por macrófitas a un equilibrio eutrófico turbio, dominado por fitoplancton (Duarte et al., 1990; Nyström & Strand, 1996). Angeler et al., (2001) demostraron en el humedal las tablas de Daimiel de la Mancha, Centro de España, que la alimentación bentónica de los cangrejos rojos genera perturbación y re-suspensión de los sedimentos provocando una mayor liberación de nutrientes, por otra parte, su comportamiento excavador y actividad de construcción de madrigueras contribuye a la bioturbación y empobrecimiento de la calidad de agua, lo que impide la penetración de la luz y la productividad de las plantas (Anastacio & Marques, 1997; Gutiérrez-Yurrita & Montes, 1999).

6.3 Impactos en las estructuras civiles

Una de las características de comportamiento de la especie es su territorialidad, y tener el hábito de hacer madrigueras profundas en la tierra, especialmente en época de mudas y de postura, lo que ha ocasionado grandes problemas en algunas regiones de Europa, Japón África Central y Hawái (Coll-Morales, 1988), ya que puede causar daños en estructuras civiles, afectando cimientos de grandes edificios (zapatas), estribos de puentes, tuberías de aguas servidas, cimientos de postes de energía, entre otros (Flórez-Brand & Espinosa, 2011).

Según Gherardi (2000), la especie *P. clarkii* se considera excavadora terciaria a secundaria, por lo que construye madrigueras para soportar periodos ambientales extremos y durante periodos reproductivos (Gherardi & Barbaresi, 2000; Gherardi, 2006; Souty-Grosset et al., 2014); y su actividad de excavación varía de acuerdo con el tamaño de las partículas del suelo, ciclo del agua y la estructura de la tierra, generando también daños en los sistemas agrícolas y naturales, erosión de las orillas de canales (Figura 12A), aumento de la turbidez del agua y los sedimentos finos (Anastácio & Marques, 1997; Rodríguez et al., 2003), modificación física significativa (Barbaresi et al., 2004; Orlandini et al., 2015), y reducción en la densidad de vegetación (Souty-Grosset et al., 2014).

Las especies con actividad de excavación son las principales causantes de fallas en los diques (Chang & Lange, 1967; Rudnick et al., 2000; Gribsholt et al., 2003; Serre et al., 2008), provocando inundaciones (Figura 12B). En el caso de Italia, el cangrejo rojo americano ocasionó daños en alrededor del 30% de canales de irrigación con enormes costos para las autoridades de gestión (Lodge et al., 2012), con sumas superiores a los 500 millones de dólares (Orlandini et al., 2015).



Figura 12. A. Madrigueras construidas por *P. clarkii* en acequias de riego; **B.** Dique roto junto al río Secchia (Emilia Romana, Italia) debido a la actividad excavadora del cangrejo rojo americano. Imagen tomada de Haubrock et al., 2019.

En Colombia, los diques de contención construidos a las orillas del río Cauca y las zonas de cultivo se podrían ver afectados por la rápida expansión y presencia de la especie invasora *P. clarkii* (Florez-Brand & Espinoza-Beltrán, 2011).

Impactos en sistemas de tratamiento de agua

Son pocos los estudios que tratan sobre los impactos a causa de la introducción del cangrejo rojo americano en plantas de tratamiento de agua.

Sin embargo, existen estudios relacionados con los fármacos y químicos derivados de diferentes actividades económicas cuyos desechos terminan llegando a las plantas de tratamiento; Kazakova (2020), realizó ensayos de biocumulación de principios activos farmacológicos empleando como bioindicador a *P. clarkii* en el parque de Doñana, en donde encontraron la persistencia en la acumulación de flumequina y ciprofloxacina en músculo abdominal y glándula digestiva. Esto debido, a que los medicamentos empleados en actividades como acuicultura, desechos de hospital, actividades ganaderas entre otros, suelen ser las posibles vías de entrada de los principios activos farmacológicos al medio ambiente terminando en plantas de tratamiento de aguas residuales.

En Europa, se ha identificado que *P. clarkii* es una especie excavadora y devastadora de los sistemas de drenaje de agua, también ha mostrado ser una nueva amenaza para la restauración de los cuerpos de agua superficiales como de ecosistemas de aguas subterráneas, pues se ha identificado su presencia en ellos (Mazza et al., 2014; Souty Grosset et al., 2016). Hasta el momento, se han realizado estudios de la biología de la especie invasora principalmente en cuerpos de agua con interés hídrico como represas de agua en Alemania (Chucholl, 2011), e hidroeléctricas en Colombia (Arias-Pineda & Rodríguez, 2012), sin un resultado directo de los posibles impactos del cangrejo rojo americano en sistemas de tratamiento de agua. En cuerpos de agua artificiales construidos para riego de cereales a causa de la introducción del cangrejo rojo se identificó el cambio de fase clara del agua a turbia y con disminución de la cobertura vegetal, lo que ocasiona una carga excesiva de nutrientes y bioturbación de los sedimentos debido al hábito bentónico de *P. clarkii*. (Rodríguez et al., 2003).

Se ha identificado que esta especie además de los impactos ambientales que se traducen indirectamente a impactos a las comunidades humanas como por ejemplo problemas de salud pública, entre algunas enfermedades causadas por el consumo o manipulación de esta especie se tiene el ejemplo del brote de la enfermedad de Haff, patología que puede progresar a una condición de mayor gravedad como la rabdomiólisis, lo cual afecta músculos esqueléticos con un amplio espectro. Los casos presentados en China estuvieron correlacionados con el consumo de cangrejo rojo, y su desarrollo podría estar relacionado con los cangrejos rojos contaminados del río Yangtze y su sistema de agua circundante (Guo et al., 2018) también se ha realizado la asociación de la disbiosis de la microbiota del hepatopáncreas de *P. clarkii* con brotes de enfermedades. (Wu et al., 2021).

6.4 Impactos en la salud humana y fauna

Una de las enfermedades más transmitidas por los cangrejos rojos introducidos de América del Norte, es una plaga producida por *Aphanomyces astaci*, un hongo parásito de la familia saprolegniaceae que se adapta fácilmente en la cutícula del cangrejo rojo de agua dulce (Nyhlén & Unestam, 1975). Esto ha ocasionado el declive de muchas poblaciones de cangrejos rojos nativos de Europa desde la década de 1980 y que fue incrementándose de manera intensiva desde la introducción masiva de los cangrejos rojos americanos durante las décadas de 1960 y 1970 (Diéguez-Urbeondo et al., 1995).

Puede ser transmisor de la tularemia, una enfermedad generada por el agente infeccioso *Francisella tularensis*. Consiste en una zoonosis interespecífica que suele atacar la piel, los ojos, los ganglios linfáticos y pulmones, esto afecta a mamíferos (específicamente a lagomorfos y roedores) y aves, pudiendo ser transmisores algunos artrópodos como insectos y arácnidos (Ordax, 2003). En la provincia de Cuenca, en agosto de 1998 se notificó un rebrote de origen hídrico, asociado a la pesca de cangrejos de río, y en julio del 2001, se conoció de un caso ocasionado por la manipulación de los cangrejos. (Anda et al., 2001).

En Nigeria, en los mercados locales donde se consume el cangrejo rojo de río seco se ha reportado *Cryptosporidium oocysts*, el cual es un protozoo que causa enfermedades gastrointestinales en todos los vertebrados, generando, diarrea, vómito y dolor de abdomen (Xiao, 2010). Además, se reportaron huevos de helmintos como *Toxocara* spp., *Ascaris* spp., *Trichuris* spp., *Schistosoma* spp., *Ancylostoma* spp., y *Capillaria* spp. En este país, han generado alertas ya que la mayoría de personas consumen cangrejos sin cocinar o poco cocinados, aumentando la probabilidad de enfermarse gravemente por estos parásitos (Esonu et al., 2021).

Por otra parte, *P. clarkii* sirve como hospedador intermedio de trematodos del género *Paragonimus* spp., que genera una enfermedad pulmonar granulomatosa inflamatoria crónica llamada paragonimiasis, estos patógenos son potenciales si los cangrejos son consumidos por el hombre y no cuentan con una completa cocción. En Colombia se ha reportado al cangrejo rojo americano como hospedador *Paragonimus* en Cundinamarca (Phillips, 2016).

Arias-Pineda & Rodríguez (2012), infieren que *P. clarkii* puede también afectar a las poblaciones humanas directamente, ya que es un vector del cólera.

A continuación se adjunta un listado de virus, bacterias y hongos más prevalentes en crustáceos, en este caso específicos para *P.clarkii* (Tabla 3, 4 y 5). La información fue generada a partir de una revisión y análisis integral de publicaciones científicas entre 1940 y 2020 realizado por (Dragičević et al., 2020).

Tabla 3. Lista de virus asociados al cangrejo rojo americano con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.

VIRUS	Hospedador Testeado	Tejido en el que se registro	Patogenicidad observada	Tipo de daño registrado	Referencia
<i>Cherax quadricarinatus iridovirus</i> (CqIV)	<i>P. clarkii</i>	Tejido hematopoyético, hemolinfa, branquias	SI	Mortalidad, anorexia, letargo, cese de la alimentación, flacidez, viriones en el citoplasma de células de tejido hematopoyético y células branquiales	Xu et al., (2016)
Virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV)	<i>P. clarkii</i>	Hemolinfa	SI	Movimiento lento, cese de la alimentación, no responde a estimulación externa, hemolinfa que no coagula	Huang et al., (2001)
Virus de la necrosis hematopoyética infecciosa (IHHNV)	<i>P. clarkii</i>	Branquias, hemolinfa, hepatopáncreas	SI	Mortalidad, núcleos agrandados en branquias	Chen et al., (2018)

Tabla 4. Lista de bacterias con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.

Afiliación Taxonómica	Bacteria	Hospedador Testeado	Tejido en el que se registró	Patogenicidad observada	Tipo de daño registrado	Referencia
Flavobacteriaceae	Flavobacterium sp.	<i>P. clarkii</i>	n.d.	Deficiencia de datos	Mortalidad	Amborski et al., (1975)
	<i>Aeromonas</i> sp	<i>P. clarkii</i>	n.d.	Deficiencia de datos	Mortalidad	Amborski et al., (1975)
Enterobacteriaceae	<i>Citrobacter braakii</i>	<i>P. clarkii</i>	Tracto gastrointestinal	Deficiencia de datos	n.d	Chen et al., (2017)
	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>P. clarkii</i>	n.d.	Deficiencia de datos	Mortalidad	Amborski et al., (1975)
	<i>Citrobacter werkmanii</i>	<i>P. clarkii</i>	Tracto gastrointestinal	SI	Mortalidad	Chen et al., (2017)
	<i>Escherichia coli</i>	<i>P. clarkii</i>	n.d	Deficiencia de datos	Ninguna	Amborski et al., (1975)
	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>P. clarkii</i>	n.d.	Deficiencia de datos	Mortalidad	Amborski et al., (1975)
Spiroplasmataceae	<i>Spiroplasma eriocheiris</i>	<i>P. clarkii</i>	Hemolinfa, corazón y branquias	SI	Signos clínicos de la enfermedad	Ding, et al., (2014)

Afiliación Taxonómica	Bacteria	Hospedador Testeado	Tejido en el que se registró	Patogenicidad observada	Tipo de daño registrado	Referencia
	<i>Spiroplasma mirum</i>	<i>P. clarkii</i>	n.d.	NO	Ninguna	Bi et al. (2008)
	<i>Spiroplasma</i> sp.	<i>P. clarkii</i>	n.d.	SI	Mortalidad; temblor de pereiópodos	Bi et al., (2008)
	Similar al espiroplasma del organismo	<i>P. clarkii</i>	Hemolinfa, tejido conectivo, exoesqueleto, tracto gastrointestinal, hepatopáncreas, tejido neural, corazón y branquias	SI	Síntomas de debilidad	Wang et al., (2005)

Tabla 5. Lista de hongos y microorganismos similares a los hongos con ensayos de infectividad ejecutados y estado de patogenicidad determinado según el sistema de sistematización desarrollado. Información tomada de Dragičević et al., 2020.

Afiliación taxonómica	Hongo o microorganismos similares a hongos	Hospedador testeado	Tejido en el que se encontraba	patogenicidad observada	Tipo de daño registrado	Referencia
Trichosporonaceae	<i>Trichosporon jirovecii</i>	<i>P. clarkii</i>	Exoesqueleto	SI	Mortalidad, decoloración blanquecina alrededor del sitio de la infección que desarrolló una zona de melanización negra	Abdallah et al., (2018)
	Cepa A de <i>Aphanomyces laevis</i>	<i>P. clarkii</i>	n.d	Deficiencia de datos	n.d	Smith (1940)
	Cepa de <i>Aphanomyces laevis</i>	<i>P. clarkii</i>	n.d	Deficiencia de datos	n.d	Smith (1940)
	<i>Saprolegnia parasitica</i>	<i>P. clarkii</i>	Exoesqueleto	SI	Mortalidad, cutícula melanizada	Diéguez-Uribeondo et al., (1994)

7. ALTERNATIVAS DE CONTROL

La gestión y manejo de especie exóticas y/o invasoras resulta más eficaz y rentable si se realizan acciones correctivas tempranas en la etapa inicial de la introducción, es decir recién se detecta la presencia de la especie invasora, sin embargo, es bien sabido que la prevención, es la estrategia más efectiva que cualquier medida de control o erradicación.

Las herramientas que se han utilizado para el control de especies se aplican según las circunstancias y el grado de invasión, tanto a las operaciones de control como a las de erradicación (Capdevilla-Argüelles et al., 2006).

Los métodos de control se dividen en tres grandes grupos: métodos de control físico-captura directa, métodos de control químico y métodos de control biológico, los cuales se describen a continuación:

7.1 Control físico

La especie de cangrejos invasores que han logrado establecerse en un hábitat nuevo, tienden naturalmente a crecer hasta la saturación (o capacidad de carga del ambiente), cuando esto sucede y la densidad poblacional es alta, inician la migración y dispersión en búsqueda de nuevos territorios favorables. Para esto, lograr el confinamiento o aislamiento de los individuos podría ser una opción para evitar la dispersión y colonización de nuevas localidades (Hefti & Stucki, 2006).

Una propuesta es cercar el cuerpo de agua invadido, teniendo en cuenta que el tamaño de la malla sea adecuadamente pequeño para evitar el escape de los cangrejos (Hefti & Stucki, 2006), una medida de contención estricta pero que generaría limitantes en el uso y aprovechamiento del hábitat por parte de otros animales como mamíferos, anfibios y aves. Es por ello que sería una medida de control temporal, con seguimiento y revisión continua para subsanar daños o roturas.

En sistemas lóticos, las barreras físicas ya sean naturales o artificiales y una fuerte velocidad de flujo del agua generan limitaciones en la dispersión aguas arriba de cangrejos exóticos (Light, 2003; Kerby et al., 2005; Bubb et al., 2006; Pintor & Sih, 2010). Por otra parte, Kerby et al., (2005), sugieren la construcción de barreras artificiales para contener la dispersión del cangrejo rojo americano hacia nuevos tramos fluviales, no obstante, estas barreras físicas no pueden definirse como un medio para erradicar cangrejos exóticos, pero sí un medio útil para la contención de poblaciones de cangrejo rojo invasor y proteger tramos que aún no han sido invadidos (Dana et al., 2011).

Este tipo de control físico debe ser diseñado y construido para dificultar la escalada y desplazamiento por tierra de la especie invasora. El diseño morfológico, emplazamiento y dimensiones de los diques debe maximizar el balance efectividad/costo y la durabilidad, así como minimizar su impacto visual sobre el cauce y la dinámica fluvial o el paisaje. Se trata de diques de pequeño tamaño (≤ 2 m de altura), con salto de agua únicamente en dirección aguas abajo, a modo de salto de agua y no de presa (Figura 13) (Dana et al., 2011).



Figura 13. Vista de uno de los diques de contención de cangrejo rojo, diseñados para minimizar sus efectos sobre la dinámica fluvial y contener eficazmente el ascenso aguas arriba de los cangrejos rojos invasores (*Procambarus clarkii*). Imagen tomada del libro *Manual de Gestión de Cangrejos exóticos invasores*

Entre la recomendación para la integración visual de la estructura, es el uso de la piedra natural de la zona, y en cuanto a la eficacia sugieren la creación de una plataforma horizontal de hormigón en la base del dique con el fin de: 1) impedir la colonización de vegetación perenne que pudiera actuar como refugio para la especie invasora, 2) evitar la acumulación de ejemplares en las inmediaciones del dique. Los detalles del diseño se especifican en la Figura 14.



Figura 14. Detalles constructivos de los diques diseñados para contener eficazmente el avance del cangrejo rojo en el arroyo de la Fuensanta: a) forma de cuña para maximizar la velocidad del flujo y dificultar el avance aguas arriba; b) reborde saliente para impedir la escalada; c) suelo horizontal en la base del dique, que aumentan la exposición al aire y la depredación. Imagen tomada de Dana et al., 2011.

Los diques deben incluir brazos o prolongaciones laterales para dificultar desplazamientos de los cangrejos por tierra (durante la noche o en verano, cuando la masa de agua pierde caudal y las condiciones son extremas). Sugieren anclar los diques sobre tramos de roca viva para:

1. Otorgar mayor resistencia estructural de los diques.

2. Reducir los costes de cimentación.
3. Dificultar el avance de los cangrejos por tierra.

Otras medidas de precaución, es crear depósitos de piedras a la espalda de los diques (Figura 15) que hagan las veces de refugios para favorecer el asentamiento y posterior localización y captura de individuos errantes que pudieran atravesarlos. Esta zona de refugio debe limpiarse de arena tras las crecientes, a fin de evitar la deposición de sedimentos y dificultar la creación de galerías.



Figura 15. Vista de un dique de contención de cangrejo rojo aguas arriba en un arroyo del mediterráneo. Nótese que en la espalda del dique se han colocado acúmulos de piedras para que sirvan de refugio a los cangrejos que eventualmente puedan superarlo, facilitando con ello la localización y captura. Imagen tomada de Dana et al., 2011.

La instalación de varios diques crea tramos tampón (buffer) entre las zonas invadidas y no invadidas, en los que la densidad de la población invasora se mantiene baja y decreciente aguas arriba. Al mismo tiempo, las actuaciones de control periódicas y aumento del caudal en las zonas invadidas mantienen unos niveles bajos de competencia intraespecífica y por ello menor posibilidad de expansión. La existencia de tramos relativamente separados entre sí, facilita además la opción de realizar tratamientos con biocidas, en caso que se considere necesario para la erradicación de la población. La construcción de un dique adicional por encima de la zona tampón puede servir como medida de precaución adicional, para asegurar la persistencia de la especie autóctona cuya población se quiere proteger.

Entre los posibles impactos, los diques causarían una discontinuidad en el régimen natural de los ríos que impide el libre paso de peces, por lo que es necesario completar esta medida con translocaciones periódicas para mantener stock genético. Para determinar las posibles

incidencias de los diques sobre otros grupos taxonómicos requiere de un análisis más detallado teniendo en cuenta otras variables como la representatividad de la especie afectada, su grado de amenaza, diversidad genética, etc.

Esta propuesta fue aplicada de forma pionera en Andalucía, en un arroyo de montaña en el año 2006 donde fue detectado el avance de cangrejo rojo americano y se buscaba proteger la última población de cangrejo rojo autóctono *Austropotamobius pallipes* (catalogado “En peligro”) (Galindo et al., 2000). Antes de implantar el método, siguieron un proceso jerárquico de evaluar la factibilidad de opciones efectivas de manejo adoptando la decisión de poner en marcha las recomendaciones publicadas por Kerby et al., (2005).

Otras opciones de control es el drenaje de los estanques y desvíos de ríos específicamente en cuerpos de agua con densas poblaciones, pero la eficacia de los métodos no ha logrado ser verificado, pues el cangrejo rojo americano tiene la capacidad de resistir periodos de sequía por su hábito de excavación y construcción de madrigueras. (Kerby et al., 2005)

7.2 Captura directa

En el mundo existen varios tipos de artes de pesca que van acorde con el tipo de organismo, el tipo de sistema acuático y el fin con el cual se va a realizar la captura. En general, los métodos se dividen en activos y pasivos (Hubert et al., 2012). Los métodos activos son aquellos que toman una determinada área geográfica, por un tiempo estimado, con el fin de calcular el esfuerzo de muestreo y por ende la abundancia. Además, se llama activo porque requiere movilidad del investigador en tiempo y espacio. Dependiendo del objetivo, se puede tomar varias muestras en cortos intervalos de tiempo o tomar pocas muestras por un largo tiempo. Por lo anterior, los métodos activos implican una metodología estandarizada que genera datos comparables; caso contrario de los métodos pasivos, ya que están sujetos a alteraciones de diversos factores como ambientales, antrópicos y físicos (Hubert et al., 2012).

En los métodos pasivos, la captura ya no depende del movimiento del investigador sino de la presa o especie objetivo hacia el arte de pesca. De acuerdo al tipo de red o trampa utilizada, el organismo, se puede enredar en la red ya sea de agallas, tenazas, cola entre otros, o el organismo queda aferrado por la boca al anzuelo o lo sujeta sin soltarlo (Hubert et al., 2012).

La desventaja de los métodos pasivos es que se debe saber con certeza el comportamiento de la presa, sus preferencias de carnada, los tamaños que se desean capturar, el sexo que se va a capturar. Por ello, en muchos de los casos se realiza una sobre-captura de un tamaño o sexo en particular, por tanto, se tiene un gran sesgo a nivel poblacional (Hubert et al., 2012). En este método también se tiene en cuenta la captura por unidad de esfuerzo ya que este es necesario para hacer medidas de densidad poblacional.

Entre los métodos de captura directa para *P. clarkii*, se incluye la captura mediante el uso de trampas cebadas (nasas, ZREAL, garlitos, reteles, etc.) y pesca eléctrica. Esto podría controlar poblaciones si se realiza un esfuerzo de captura continuo en el tiempo, en vez de un trampeo intensivo a corto plazo, ya que esta última técnica podría favorecer una

maduración temprana de los cangrejos y por consiguiente un aumento en la producción de huevos según lo indicado en el proyecto Life Med Wet Rivers 2013 en especies invasoras.

7.3 Control químico

En el proceso de erradicación de cangrejos exóticos invasores, en varios trabajos de campo se ha evaluado la efectividad de opciones de biocidas (Peay, 2001; Peay et al., 2006, Souty-Grosset et al., 2016). Sin embargo, no puede ser implementado fácilmente debido a las consecuencias colaterales que puede generar su uso y que aún requiere de investigaciones para dimensionar sus impactos. Entre los potenciales riesgos se encuentra la permanencia de residuos químicos tóxicos en el ecosistema, infiltración a aguas subterráneas, afectaciones en la salud humana, el bienestar de otras especies y el impedimento de actividades antrópicas como el uso del agua para consumo humano y animal, y actividades agrícolas, estos ejemplos de implicaciones secundarias deben ser valoradas detalladamente para cada caso (Dana et al., 2011).

Ante la negación social por el uso de esos productos químicos en hábitats naturales, se debe adoptar medidas previas que impliquen la exposición técnico-científica del método, las dimensiones y repercusiones del problema ecológico que se quiere manejar y el detalle de las opciones que serán ejecutadas. Si la fuente de agua es usada de manera constante para consumo, riego de cultivos, abastecimiento para ganado o para instalaciones de piscifactoría, podría convertirse en una problemática y definirse como un impedimento para utilizar esos productos químicos, como medida de precaución. Si algún biocida es aplicado en medio natural, es necesario ejecutar un seguimiento periódico para detallar la evolución de los compuestos y productos de degradación en la zona. (Dana et al., 2011)

Entre los productos químicos para el control o erradicación de poblaciones de cangrejos exóticos invasores, se citan los siguientes:

Los piretroides sintéticos (deltametrina, ciperpermetrina) presentan alta toxicidad para cangrejos rojos invasores y sus compuestos los define con un gran potencial para su erradicación (Eversole & Seller, 1997; Morolli et al., 2006). Pero debido a su toxicidad y permanencia en el ambiente, su uso no está permitido fuera del ámbito agrícola, limpieza industrial o doméstico (Dana et al., 2011).

Las piretrinas naturales, como la obtenida del piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium* y *C. coronarium*), son eficaces y de rápida degradación con la luz solar. A diferencia de los piretroides sintéticos, presentan una baja toxicidad para mamíferos y aves (Hudson et al., 1984), no dejan residuos tóxicos y son inocuas para plantas. Sin embargo, resultan tóxicos para otros crustáceos acuáticos, insectos y peces (Burr ridge & Haya, 1997).

Existen otras sustancias propuestas en la gestión de poblaciones de cangrejo son los insecticidas organofosforados derivados del fentión o incluso surfactantes como el Genapol OX-80. No obstante, su toxicidad y/o persistencia en el medio son elevadas y los pocos datos existentes indican que no resultan tan efectivas (Cabral et al., 1996; Cano & Jimenez, 2003).

Dado el comportamiento de los cangrejos de refugiarse en sus profundas galerías, en la aplicación de los biocidas es necesario realizar un proceso previo que consiste en la desoxigenación del cuerpo de agua-con sulfito de sodio- para impulsar la salida de los organismos; pero resulta ser un proceso que reduce en la eficacia de algunos biocidas (Peay et al., 2006). Por consiguiente, es obligatorio realizar ensayos con anterioridad para evaluar efectos en el medio (Dana et al., 2011).

7.4 Feromonas

Esta técnica ha despertado interés para el control de especies exóticas invasoras, como en el caso del cangrejo señal *Pacifastacus leniusculus*, en la aplicación del método se colocaron feromonas sexuales específicas del cangrejo señal en geles de liberación lenta, puestas en nasas cangrejeras. Entre los resultados se evidenció efectividad en la atracción de machos (Stebbing et al., 2003), aun así, se requiere optimización de la técnica para que sea trasladado a condiciones de campo.

Actualmente, el uso de esta técnica se limita por la disponibilidad en el mercado de este tipo de feromonas. Por otra parte, debido a la selectividad del método y posible inocuidad para la comunidad acuática acompañante, se debe seguir investigando como opción de control y que puede resultar útil (Dana et al., 2011).

7.5 Control biológico

Desde su introducción en 1974 en las marismas del Guadalquivir-Europa, *P. clarkii* ha sido fácilmente aceptado como presa por peces, aves y mamíferos, ofreciendo así un nuevo recurso para niveles tróficos más altos.

Entre los mamíferos, la nutria (*Lutra lutra*), incluyen el cangrejo rojo hasta un 76% de su alimentación en el verano cuando las poblaciones del crustáceo son más abundantes. El zorro (*Vulpes vulpes*), la gineta común (*Genetta genetta*) y el meloncillo (*Herpestes ichneumon*) ingieren a menudo cangrejos como ingrediente de su dieta oportunista. Sin embargo, estos depredadores se alimentan de forma oportunista de los cangrejos rojos y ninguno de ellos es especialista en esta presa.

P. clarkii también es importante en la dieta de al menos seis especies de aves, particularmente en las especies ciconiformes. Como es el caso de la cigüeña blanca, la garza nocturna o la garceta común, los cangrejos rojos pueden constituir hasta 80% de la dieta durante la época de verano, cuando las densidades de cangrejos rojos son mayores. Además, se informa que otras especies de aves como la cigüeña negra (Parkes et al., 2001) o la gaviota menor (Amat y Aguilera, 1988) también se alimentan de *P. clarkii*. las aves, al igual que los mamíferos, depredan cangrejos rojos por encima del tamaño mínimo para la madurez, pero por debajo del tamaño medio de un adulto maduro. La depredación en este fragmento de tamaño reduce la competencia intraespecífica entre los cangrejos rojos y produce adultos de gran tamaño que a su vez producen un mayor número de crías (Correia, 2001).

Entre los peces, las anguilas (*Anguilla anguilla*) son los depredadores más importantes del cangrejo rojo (Aquiloni et al., 2010). En las marismas naturales del Bajo Guadalquivir (España), estos peces redujeron considerablemente su espectro alimenticio después de la introducción del cangrejo rojo americano en 1992, pues en los análisis de contenidos estomacales se encontró un 16,7% de otras especies de peces y como presa dominante la especie *P. clarkii* con una ocurrencia del 66.7%. Al alimentarse fácilmente del cangrejo rojo, las anguilas fueron dispuestas como organismos de control biológico efectivo en un lago suizo (Geiger et al., 2005).

Pero es importante tener en cuenta, que las anguilas también son depredadores eficientes de huevos de peces y alevines, así como de anfibios y reptiles, es por esto que su uso para controlar las poblaciones de *P. clarkii* debe considerarse con precaución.

El cangrejo rojo americano, también es depredado por peces como la perca americana (*Micropterus salmoides*) y el lucio (*Esox lucius*), pero que son también especies exóticas introducidas (Geiger et al., 2005).

Existen diferentes especies en las áreas de distribución natural de *P. clarkii* que integran al cangrejo rojo en su dieta. Para el caso de los juveniles de *P. clarkii* la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) y salamandras, son especies que pueden ejercer presión sobre todas las cohortes poblacionales (McClain et al., 2005). Según Rodríguez-Almaraz (1992) en los estanques de Lousiana se evidencia que la carpa (*Ctenopharyngodon idella*) influyó en la producción del cangrejo rojo americano, en promedio las carpas de 190 gramos de peso y en densidades de 4 por 0.01 hectárea disminuyeron de manera significativa la producción de cangrejos de tallas cosechables (>74 mm de longitud total) tanto en número como en peso. Según el análisis de los contenidos estomacales realizados en las carpas permiten evidenciar que al verse reducida o ausente la materia vegetal, la cantidad de materia animal (cladóceros, girínidos y crustáceos) se incrementaron notablemente en los estómagos (Forester & Avault, 1978).

En el área de la dársena se encuentran especies acuáticas como las carpas (*Cyprinus carpio*) que pueden alimentarse del cangrejo en sus estados juveniles, al igual que algunas especies de aves de la familia Ardeidae o aves zancudas que se ha evidenciado suelen consumir al cangrejo rojo americano (Montesinos et al., 2008) y que se encuentran frecuentemente en ecosistemas acuáticos de la Sabana de Bogotá. Sin embargo, para saber si son depredadores efectivos, es necesario realizar un estudio enfocado en la búsqueda de depredadores en ecosistemas altoandinos que puedan limitar significativamente el crecimiento poblacional de *P. clarkii*.

8. MARCO JURÍDICO

Adicional a la revisión bibliográfica también se incluye la revisión del marco jurídico de la normativa aplicable al objeto del proyecto de investigación, resaltando que aunque Colombia cuenta con una normativa para especies invasoras, esta no se ha podido aplicar

a *P. clarkii*, porque aún no ha sido reconocida como tal, por lo tanto con este estudio se podrá aportar información específica para el manejo y control de la especie *P. clarkii* así como para su cambio de estatus de especie introducida a especie invasora.

Tabla 6. Marco jurídico del proyecto

Norma	Descripción
Constitución Política de Colombia -1991	<p>El Capítulo III del Título II consagra lo referente a los derechos colectivos y del ambiente, específicamente en su artículo 79 establece el derecho de todos los colombianos a gozar de un ambiente sano y el artículo 80 el cual le otorga al Estado la facultad de encargarse del manejo del medio ambiente y garantizará su conservación, restauración o sustitución.</p> <p>Artículos 79 y 80, que señalan el deber del Estado frente a la protección de la diversidad e integridad del ambiente.</p>
Ley 9 de 1989	<p>Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones.</p>
Ley 165 de 1994	<p>Establece en el literal “h” del artículo octavo la obligación para los estados de impedir que se introduzcan, controlar o erradicar las especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies.</p>
Decreto ley 2811 de 1974	<p>Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.</p> <p>En su artículo 137 declara como objeto de protección y control especial:</p> <ul style="list-style-type: none"> a). Las aguas destinadas al consumo doméstico humano y animal y a la producción de alimentos; b). Los criaderos y el hábitat de peces crustáceos y demás especies que requieran manejo especial; c). Las fuentes, cascadas, lagos y otros

Norma	Descripción
	<p>depósitos o corrientes de aguas, naturales o artificiales, que se encuentren en áreas declaradas dignas de protección.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establece como deberes de la Administración Pública entre otros los de: <ul style="list-style-type: none"> a). Velar por la protección de las cuencas hidrográficas contra los elementos que las degraden o alteren y especialmente los que producen contaminación, sedimentación y salinización de los cursos de aguas o de los suelos. b). Reducir las pérdidas y derroche de aguas y asegurar su mejor aprovechamiento en el área. c). Prevenir la erosión y controlar y disminuir los daños causados por ella. d). Mantener o mejorar las condiciones ecológicas del agua, proteger los ecosistemas acuáticos y prevenir la eutrofización. <p>Artículo 258 literal “e”, faculta a la Autoridad pública a prohibir o restringir la introducción de especies exóticas perjudiciales para la conservación y el desarrollo del recurso.</p>
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 1376 de 2013	<p>Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial.</p> <p>ARTÍCULO 4. Competencia. Las autoridades ambientales competentes para el otorgamiento del Permiso de Recolección son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Las Corporaciones Autónomas Regionales o de desarrollo sostenible o los grandes centros urbanos, cuando las actividades de recolección se desarrollen exclusivamente en sus respectivas jurisdicciones.

Norma	Descripción
	<p>b) La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, en caso de que las actividades de recolección se desarrollen en jurisdicción de dos o más autoridades ambientales.</p> <p>c) Parques Nacionales Naturales de Colombia, cuando las actividades de recolección se desarrollen dentro de las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.</p>
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 050 de 2018	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de las Macrocuencas (Carmac), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594 de 1984	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.</p> <p>Este Decreto define regulaciones para los siguientes tipos de usos: a. Consumo humano y doméstico; b. Preservación de flora y fauna; c. Agrícola; d. Pecuario; e. Recreativo; f. Industrial; y g. Transporte. Frente a cada uno de estos tipos de usos establece los criterios de calidad del agua que deben satisfacerse. De igual manera, este decreto regula todo lo atinente a vertimientos líquidos sobre los cuerpos de agua.</p>
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el

Norma	Descripción
	marco de la gestión integral.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 1303 de 2008	Por la cual se adopta un método para análisis microbiológico de aguas para consumo humano validado por el Instituto Nacional de Salud.
Resolución 0811 de 2008	Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
Resolución 622 de 2020	Adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano en zonas rurales, y señala el procedimiento para autorizaciones sanitarias que deben expedir las autoridades competentes, enfocadas a la expedición o renovación de la concesión de agua para consumo humano en zonas rurales.
Resolución 0848 de 2018	Por la cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones.

9. LITERATURA CITADA

Abdallah, E. S. H., Mahmoud, M. M., & Abdel-Rahim, I. R. (2018). *Trichosporon jirovecii* infection of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of fish diseases*, 41(11), 1719-1732.

Abumandour, M. M. (2016). Gill Morphology in the Red Swamp Freshwater Crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda: Cambarids) (Girard 1852) from the River Nile and its Branches in Egypt. *International Journal of Morphology*, 34(1), 168-178.

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(4), 435-453. <https://www.jstor.org/stable/20105729>.

Alcorlo, P., Geiger, W. & Otero, M. (2008). Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology*, 173(3), 197.

Alderman, D. J. (1996). Geographical spread of bacterial and fungal diseases of crustaceans. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 15(2), 603-632.

Alderman, D. J., Polglase, J. L., Frayling, M. & Hogger, J. (1984). Crayfish plague in Britain. *Journal of Fish Diseases*, 7(5), 401-405. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1984.tb01205>.

Álvarez-León, R. & Gutiérrez-Bonilla, F. (2007). Situación de los invertebrados acuáticos introducidos y transplantados en Colombia: antecedentes, efectos y perspectivas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 31(121): 557-574.

Amat, J. A., & Aguilera, E. (1988). Robo de alimento a aves acuáticas por gaviotas sombrías (*Larus fuscus*). *Ardeola*, 35(2), 275-278.

Anastácio, P. M. (1993). Ciclo biológico e produção do lagostim vermelho da Louisiana (*Procambarus clarkii*, Girard) na região do Baixo Mondego. *Departamento de zoologia, Universidade de Coimbra*.

Anastácio, P. M. & Marques, J. C. (1997). Crayfish, *Procambarus clarkii*, effects on initial stages of rice growth in the lower Mondego River valley (Portugal). *Freshwater crayfish*, 11, 608-617. <https://www.researchgate.net/publication/234556492>.

Anastácio, P. M., Leitão, A. S., Boavida, M. J., & Correia, A. M. (2009). Population dynamics of the invasive crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard, 1852) at two marshes with differing hydroperiods. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 45, 4, 247-256. <https://doi.org/10.1051/limn/2009025>.

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, L. P. & Martínez-Navarro, J. F. (2001). Waterborne outbreak of tularemia associated with crayfish Fishing. *Emerging Infectious Diseases* 7(3): 575–582.

Ando, H. & Makioka, T. (1998). Structure of the ovary and mode of oogenesis in a freshwater crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). *Zoological Science*, 15(6), 893-901.

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(1), 89-98.

Aquiloni, L., Brusconi, S., Cecchinelli, E., Tricarico, E., Mazza, G., Paglianti, A., & Gherardi, F. (2010). Biological control of invasive populations of crayfish: The European eel (*Anguilla anguilla*) as a predator of *Procambarus clarkii*. *Biological invasions*, 12(11), 3817-3824.

Arias-Pineda, J. Y. A., & Rodríguez, W. D. (2012). First record of the invasive species *Procambarus* (*Scapulicambarus*) *clarkii* (Girard 1852) (Crustacea, Decapoda, Cambaridae) from the Colombian Eastern Cordillera. *Boletín de la SEA*, (51), 313-315.

Arias-Pineda, J.Y., & Pedroza-Martínez, D.R. (2018). Presencia del cangrejo rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) en la sabana de Bogotá, Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 62 (30/06/2018), 283–286.

Arias-Pineda, J.Y., Sánchez, J.S.G. & Castillo, N.S. (2020). Diferencias morfológicas entre dos poblaciones de cangrejo rojo *Procambarus* (*Scapulicambarus*) *clarkii* (GIRARD, 1852) (CRUSTACEA: DECAPODA: CAMBARIDAE). *The Biologist*, 18(2), 213-222.

Baptiste, M. P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez F. P., Gil, D. L. & Lasso, C. A. (eds). (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Barbaresi, S., & Gherardi, F. (2000). The invasion of the alien crayfish *Procambarus clarkii* in Europe, with particular reference to Italy. *Biological invasions*, 2(3), 259-264.

Barbaresi, S., Tricarico, E., & Gherardi, F. (2004). *Factors inducing the intense burrowing activity of the red-swamp crayfish, Procambarus clarkii, an invasive species. Naturwissenschaften*, 91(7). doi:10.1007/s00114-004-0533-9.

Bi, K., Huang, H., Gu, W., Wang, J., & Wang, W. (2008). *Phylogenetic analysis of Spiroplasmas from three freshwater crustaceans (Eriocheir sinensis, Procambarus clarkii and Penaeus vannamei) in China. Journal of Invertebrate Pathology*, 99(1), 57–65. doi:10.1016/j.jip.2008.06.008

Bondar, C. A., Bottrliell, K., Zeron, K., & Richardson, J. S. (2005). Does trophic position of the omnivorous signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in a stream food web vary with life

history stage or density? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(11), 2632-2639.

Bubb, D. H., Thom, T. J. & Lucas, M. C. (2006). Movement, dispersal and refuge use of co-occurring introduced and native crayfish. *Freshwater Biology*, 51(7), 1359-1368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01578.x>

Bustillos-Garza, N. (2012). *Evaluación del crecimiento y sobrevivencia del acocil rojo *Procambarus clarkii* (GIRARD, 1852) con un alimento natural y una dieta formulada bajo condiciones de laboratorio*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/2604/>

Burridge, L. E. & Haya, K. (1997). Lethality of pyrethrins to larvae and postlarvae of the American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 38(2), 150-154.

Cabral, J. A., Anastácio, P. M., Carvalho, R. & Marques, J. C. (1996). A non-harmful chemical method of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, population control and non-target organisms problematics in the lower Mondego River Valley, Portugal. *Freshwater Crayfish*, 11, 286-292.

Callejas-Caraballo, J. P. & Díaz-Gallego, H. V. (2019). *Estudio poblacional y contenido estomacal de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) en el Parque Metropolitano de Bogotá Simón Bolívar*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23233>

Camacho-Portocarrero, R. F., Duarte-Gándica, I. & Altamiranda-Saavedra, M. (2021). Áreas en riesgo de invasión por *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae), un cangrejo de río introducido en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1): 77-89. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/41493/44783>.

Campos, M. (2005). *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii* (Girard 1852) (Crustacea: Decapoda: Cambaridae). Una langostilla no nativa de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 291(111), 295-302.

Cano-Sánchez, E., & Jiménez-Pino, A. (2003). Efecto de tres pesticidas sobre la mortalidad diferencial intersexual de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Cambaridae). *Zoologica Baetica*, 13/14, 145-153.

Capdevila-Argüelles, L., Iglesias-García, Á., Orueta, J. F. & Zilletti, B. (2006). *Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.

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(1), 89–98.

Carballo-Cabezas, P. (2017). Estudio de la influencia de parámetros ambientales en la distribución del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en los márgenes del lago de Carucedo y del embalse La Campañana (León). [Tesis de pregrado. Universidad de León]. Repositorio institucional de la Universidad de León.

Chang, V. C. & Lange, W. H. (1967). Laboratory and field evaluation of selected pesticides for control of the red crayfish in California rice fields. *Journal of economic entomology*, 60(2), 473-477

Chen, B. K., Dong, Z., Pang, N. Y., Nian, Y. Y., & Yan, D. C. (2018). A novel real-time PCR approach for detection of infectious hypodermal and haematopoietic necrosis virus (IHHNV) in the freshwater crayfish *Procambarus clarkii*. *Journal of invertebrate pathology*, 157, 100-103.

Chen, H., Wang, Y., Zhang, J., Chen, Y., & Wu, M. (2017). Isolation and identification of *Citrobacter* spp. from the intestine of *Procambarus clarkii*. *Journal of Fisheries Research*, 2(1), 1-6.

Chien, Y.-H., & Avault, J. W. (1980). *Production of Crayfish in Rice Fields*. *The Progressive Fish-Culturist*, 42(2), 67–71. doi:10.1577/1548-8659(1980)42[67: pocirf]2.0.co;2

Chidester, F. E. (1908). Notes on the daily life and food of *Cambarus bartonius bartoni*. *The American Naturalist*, 42(503), 710-716.

Chidester, F. E. (1912). The biology of the crayfish. *The American Naturalist*, 46(545), 279-293.

Chucholl, C. (2011). Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (401), 29.

Chucholl, C. (2013). Feeding ecology and ecological impact of an alien “warm-water” omnivore in cold lakes. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 43(4), 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.10.001>.

Coll-Morales, J. (1988). El cultivo controlado de los cangrejos de río. *Revista latinoamericana de acuicultura*, 35, 25-41. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-latinoamericana-de-acuicultura/articulo/el-cultivo-controlado-de-los-cangrejos-de-rio>

Comisión Europea. (2008). Boletín de Naturaleza de la LIFE y Naturaleza y Biodiversidad de la Dirección General: Especies exóticas invasoras. Europa. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/nat2000news/nat25_es.pdf

Correia, A. M. (2003). Food choice by the introduced crayfish *Procambarus clarkii*. *Annales Zoologici Fennici*, 40 (6), 517–528.

https://www.researchgate.net/publication/256195525_Food_choice_by_the_introduced_crayfish_Procambarus_clarkii.

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 Oecologica*, 28(3), 337-343. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.06.002>.

Crandall, K. A. (2010). *Procambarus clarkii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T153877A4557336. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T153877A4557336.en>.

Crehuet, M., Alcorlo, P., Bravo-Utrera, M.A., Baltanás, A. & Montes, C. (2007). Assessing the trophic ecology of crayfish: a case study of the invasive *Procambarus clarkii*. En Gherardi, Francesca editor. *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats* (pp. 559-576). Springer, Dordrecht.

Cruz, M. J, & Rebelo, R. (2005). Vulnerability of Southwest Iberian amphibians to an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*. *Amphibia-Reptilia*, 26 (3), 293-303. <https://doi.org/10.1163/156853805774408577>.

Dana, E.D., García de Lomas, J., González, R., García-Ocaña, D. M., Gámez, V., Ceballos, G. & Ortega, F. (2011). *Manual de gestión de cangrejos exóticos invasores*. *Consejería de Medio Ambiente*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Dávila, D., Cruz, R., Sanz, A., Perera, E. & Saavedra, G. (2009). Histología gonadal de la langosta *Panulirus argus*. *Revista de Investigaciones Marinas*, 30(3), 215-225.

Delibes, M. & Adrián, I. (1987). Effects of crayfish introduction on Otter *Lutra lutra* food in the Doñana National Park, SW Spain. *Biological Conservation*, 42(2), 153–159. [https://doi:10.1016/0006-3207\(87\)90021-8](https://doi:10.1016/0006-3207(87)90021-8).

Delsinne, T., Lafontaine, R.M., Beudels, R.C. & Robert, H. (2013). *Risk analysis of the Louisiana Crayfish Procambarus clarkii (Girard, 1852)*. - Risk analysis report of non-native organisms in Belgium from the Royal Belgian Institute of Natural Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment.

Diéguez-Uribeondo, J., Cerenius, L., & Söderhäll, K. (1994). *Saprolegnia parasitica and its virulence on three different species of freshwater crayfish*. *Aquaculture*, 120(3-4), 219–228. doi:10.1016/0044-8486(94)90080-9

Diéguez-Uribeondo, J., Huang, T. S., Cerenius, L. & Söderhäll, K. (1995). Physiological adaptation of an *Aphanomyces astaci* strain isolated from the freshwater crayfish *Procambarus clarkii*. *Mycological Research*, 99(5), 574–578. doi:10.1016/s0953-7562(09)80716-8.

Ding, Z., Tang, J., Xue, H., Li, J., Ren, Q., Gu, W., & Wang, W. (2014). Quantitative detection and proliferation dynamics of a novel *Spiroplasma eriocheiris* pathogen in the freshwater crayfish, *Procambarus clarkii*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 115, 51–54. doi:10.1016/j.jip.2013.10.012

Dörr, A.J.M., LaPorta, G., Pedicillo, G., & Lorenzoni, M. (2006). Biology of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Lake Trasimeno. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture*, 380–381, 1155–1167.

Dörr, A.J.M., & Scalici, M. (2013). Revisiting reproduction and population structure and dynamics of *Procambarus clarkii* eight years after its introduction into Lake Trasimeno (Central Italy). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 408:10

Dragičević, P., Bielen, A., Petrić, I., & Hudina, S. (2020). Microbial pathogens of freshwater crayfish: A critical review and systematization of the existing data with directions for future research. *Journal of Fish Diseases*, 00, 1–27.

Duarte, C., Montes, C., Agustí, S., Martino, P., Bernués, M. & Kalff, J. (1990) Biomasa de macrófitos acuáticos en las marismas del Parque Nacional de Doñana (SW de España): Importancia y factores ambientales que controlan su distribución. *Limnetica*, 6, 1-12.

Esonu, D.O., Kia, G.S.N., Evelyn, O., Mathias, S. (2021). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and helminth ova on dried crayfish (*Procambarus clarkii*) sold in Kaduna State, Nigeria. *Folia Veterinaria* 65(1), 29-36.

Eversole, A. G. & Sellar, B. C. (1997). Comparison of relative crayfish toxicity values. *Freshwater Crayfish*, 11 (1), 274-285. <https://www.astacology.org/article.asp?uid=Guest&t=&type=1&a=518&err=0>

FAO (2007-2021). Cultured Aquatic Species Information Programme *Procambarus clarkii*. Programa de información de especies acuáticas. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Procambarus_clarkii/es

Forester, J. S., & Avault, J. W. (1978). Effects of Grass Carp on Freshwater Red Swamp Crawfish in Ponds. *Transactions of the American Fisheries Society*, 107(1), 156–160.

Flórez-Brand, P. E. & Espinosa-Beltrán, J. O. (2011). Presencia y dispersión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii* ; Girard, 1852) (Decápoda: Cambaridae) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2), 57-62. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/252>.

Franco-Sustaita, M. K. (2014). Morfometría, distribución actual y potencial en el norte de México del acocil rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Crustacea: Cambaridae) [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/4081/1/1080253565.pdf>

- Galindo, J., Monzó, J., & Sancho. (2000). Estatus del cangrejo de río (*Austropotamobius pallipes*) en Valencia. *Dugastella*, 1, 9-11.
- Gallardo, B., Clavero, M., Sánchez, M. I., & Vilà, M. (2016). Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems. *Global change biology*, 22 (1), 151-163.
- Geiger, W., Alcorlo, P., Baltanás, A., & Montes, C. (2005). Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. *Biological Invasions* 7, 49–73.
- Gherardi, F. (2006). Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39(3), 175-191.
- Gherardi, F., & Acquistapace, P. (2007). Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshwater Biology*, 52(7), 1249-1259. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01760>
- Gherardi, F., Barbaresi, S., & Salvi, G. (2000). Spatial and temporal patterns in the movement of *Procambarus clarkii*, an invasive crayfish. *Aquatic Sciences*, 62(2), 179-193. <https://doi.org/10.1007/PL00001330>
- Gherardi, F., & Barbaresi, S. (2000). Invasive crayfish: activity patterns of *Procambarus clarkii* in the rice fields of the Lower Guadalquivir (Spain). *Archiv für Hydrobiologie*, 153-168.
- Gherardi, F., Tarducci, F., & Vannini, M. (1988). Locomotor activity in the freshwater crab *Potamon fluviatile*: The analysis of temporal patterns by radio-telemetry. *Ethology*, 77(4), 300-316. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1988.tb00212.x>
- Gherardi, F., Tricarico, E., & Ilhéu, M. (2002). Movement patterns of an invasive crayfish, *Procambarus clarkii*, in a temporary stream of southern Portugal. *Ethology Ecology & Evolution*, 14(3), 183-197.
- Gribsholt, B., Kostka, J. E., & Kristensen, E. (2003). Impact of fiddler crabs and plant roots on sediment biogeochemistry in a Georgia saltmarsh. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 237-251.
- Goncalves-Loureiro, T., Anastácio, P.M., Siqueira-Bueno, S.L., Wood, T., & Araujo, P.B. (2019). Food matters: Trophodynamics and the role of diet in the invasion success of *Procambarus clarkii* in an Atlantic Forest conservation area. *Limnologia* 79, 125717.
- Goncalves-Loureiro, T., Anastácio, P. M. S. G., Araujo, P. B., Souty-Grosset, C., & Almerão, M. P. (2015). Red swamp crayfish: biology, ecology and invasion-an overview. *Nauplius*, 23, 1-19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-64972014002214>
- Guo, B., Xie, G., Li, X., Jiang, Y., Jin, D., Zhou, Y., & Sun, G. (2018). *Outbreak of Haff disease caused by consumption of crayfish (Procambarus clarkii) in nanjing, China. Clinical Toxicology*, 1–7.

Gutiérrez-Yurrita, P.J., & Montes, C. (1999). Bioenergetics and Phenology of Reproduction of the Introduced Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*) in Doñana National Park (Spain), and Implications for Management. *Freshwater Biology*, 42, 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 Donana National Park temporary fresh-water marsh (Spain). *Journal of Crustacean Biology*, 18(1), 120-127. <https://doi.org/10.1163/193724098X00124>.

Hamasaki, K., Osabe, N., Nishimoto, S., Dan, S., & Kitada, S. (2020). Sexual Dimorphism and Reproductive Status of the Red Swamp Crayfish *Procambarus clarkii*. *Zoological studies*, 59, e7. <https://doi.org/10.6620/ZS.2020.59-07>

Haubrock, P. J., Inghilesi, A. F., Mazza, G., Bondoni, M., Solari, L., & Tricarico, E. (2019). Burrowing activity of *Procambarus clarkii* on levees: analysing behaviour and burrow structure. *Wetlands Ecology and Management* 27, 497–511. doi:10.1007/s11273-019-09674-3

Hefti, D., & Stucki, P. (2006). Crayfish management for Swiss waters. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), 937-950.

Hobbs, H.H., Jr. (1989). "An Illustrated Checklist of the American Crayfishes (Decapoda, Astacidae, Cambaridae, Parastacidae)." *Smithsonian Contributions to Zoology*. 1–236. <https://doi.org/10.5479/si.00810282.480>.

Holdich, D. M. (2002). *Biology of freshwater crayfish* (Vol. 702, pp. 125-138). Oxford: Blackwell Science.

Huang, C., Zhang, L., Zhang, J., Xiao, L., Wu, Q., Chen, D., & Li, J. K.K. (2001). Purification and characterization of White Spot Syndrome Virus (WSSV) produced in an alternate host: crayfish, *Cambarus clarkii*. *Virus Research*, 76(2), 115–125. doi:10.1016/s0168-1702(01)00247-7

Hubert, W. A., Pope, K. L., & Dettmers, J. M. (2012). Passive capture techniques. In A. V. Zale, D. L. Parrish, & T. M. Sutton, editors. *Fisheries techniques*, 3rd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 223-265 pp.

Hudson R.H., Tucker R.K., & Haegele M.A. 1984. *Handbook of toxicity of pesticides to wildlife*. Second edition. US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. Washington, D.C., p.68.

Huner, J. V., Barr, J. E., & Coleman, E. B. (1984). Red swamp crawfish: biology and exploitation. Sea Grant College Program. Louisiana: Louisiana State University. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US874968488>

Huner, J.V. & Lindqvist, O.V. (1991). Special problems in freshwater crayfish egg production. In A. Wenner and A. Kuris (eds.), Crustacean egg production, pp. 235-249. A. A. Balkema, Rotterdam and Brookfield. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003072560-19/special-problems-freshwater-crayfish-egg-production-jay-huner-ossi-lindqvist?context=ubx&refId=fbe9313f-b3e1-4a0e-9515-9d83e3ffeb63>

Hury, A. D & Wallace, J. B. (1987). Production and litter processing by crayfish in an Appalachian mountain stream. *Freshwater Biology* 18(2), 277–286.

Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis—a review of methods and their application. *Journal of fish biology*, 17(4), 411-429.

Issa, F. A., Adamson, D. J., & Edwards, D. H. (1999). Dominance hierarchy formation in juvenile crayfish *Procambarus clarkii*. *Journal of Experimental Biology*, 202(24), 3497-3506.

Jin, S., Jacquin, L., Xiong, M., Li, R., Lek, S., Li, W., & Zhang, T. (2019). Reproductive pattern and population dynamics of commercial red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) from China: implications for sustainable aquaculture management. *PeerJ*, 7: e6214.

Kazakova, J. (2020). Ensayos de bioacumulación de principios activos farmacológicos de *Procambarus clarkii* y *Scrobicularia plana*. Uso como bioindicadores en el Parque Natural de Doñana. [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Portal bibliográfico Dialnet

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. *Biological Conservation*, 126, 402-409.

Lange, S., & Schram, F. R. (1999). Evolución y filogenia de los crustáceos. *Evolución y Filogenia de los Arthropoda. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 26, 235-254.

Larson, E. (2007). Pacific northwest aquatic invasive species profile: red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Unpublished Report, University of Washington*.

Larson, E. R., & Olden, J. D. (2016). Field sampling techniques for crayfish En: Longshaw, M & Stebbing, P (Eds.), *Biology and ecology of crayfish* (1 ed, 287, pp. 38). CRC Press.

Lawrence, J. M. (1976). Patterns of lipid storage in post-metamorphic marine invertebrates. *American Zoologist*, 16(4), 747-762.

Light, T. (2003). Success and failure in a lotic crayfish invasion: the roles of hydrologic variability and habitat alteration. *Freshwater biology*, 48(10), 1886-1897.

Lodge, D. M., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D. C., Arcella, T., Baldrige, A. K., & Zeng, Y. (2012). Global introductions of crayfishes: evaluating the impact of species invasions on ecosystem services. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 449-472.

Maccarrone, V., Filiciotto, F., Buffa, G., Di Stefano, V., Quinci, E.M., De Vincenzi, G., Mazzola, S., Buscaino, G. (2016). An invasive species in a protected area of Southern Italy: the structure, dynamics and spatial distribution of the crayfish *Procambarus clarkii*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16, 401–412.

MacEachern, D., Kay, M. K., Cartwright, E. J., McCullough, J., Barzilay, E., Mintz, E., Duchin, J., MacDonald, K. Turnsek, M., Tarr, C., Talkington, D., Newton, A., Marfin, A. A. (2012). *Vibrio mimicus* Infection Associated with Crayfish Consumption, Spokane, Washington, 2010. *Journal of Food Protection*, 75(4), 762–764. doi:10.4315/0362-028x.jfp-11-410.

Manenti, R., Bonelli, M., Scaccini, D., Binda, A., & Zugnoni, A. (2014). *Austropotamobius pallipes* reduction vs. *Procambarus clarkii* spreading: management implications. *Journal for Nature Conservation*, 22 (6), 586-591. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.09.001>

Martín-Torrijos, L., Campos Llach, M., Pou-Rovira, Q., & Diéguez-Urbeondo, J. (2017). Resistance to the crayfish plague, *Aphanomyces astaci* (Oomycota) in the endangered freshwater crayfish species, *Austropotamobius pallipes*. *PLoS One*, 12 (7), e0181226.

Matsuzaki S.S., Usio N., Takamura N. & Washitani I. (2009) Contrasting impacts of invasive engineers on freshwater ecosystems: an experiment and meta-analysis. *Oecologia*, 158, 673–686.

Mazza, G., Reboleira, A. S. P. S., Goncalves, F., Aquiloni, L., Inghilesi, A. F., Spigoli, D., & Tricarico, E. (2014). A new threat to groundwater ecosystems: first occurrences of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in European caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76 (1), 62-65.

McClain, W. R., Romaine, R. P., Lutz, C. G., & Shirley, M. G. (2005). Louisiana crawfish production manual. *Louisiana Cooperative Extension Service, Baton Rouge, LA*.

McNeely, J. A, Mooney, H. A, Neville, L. E, Schei, P. J, & Waage, J. K. (2001). Estrategia Mundial sobre Especies Exóticas Invasoras. Global invasive species programme (GISP). UICN.

Momot, W. (1967). Population Dynamics and Productivity of the Crayfish, *Orconectes virilis*, in a Marl Lake. *The American Midland Naturalist*, 78(1), 55-81. doi:10.2307/2423370

Montesinos, A., Santoul, F., y Green, A. J. (2008). The diet of the night heron and purple heron in the Guadalquivir marshes. *Ardeola*, 55(2), 161-167.

Morlans, M. C. (2014). Introducción a la ecología de poblaciones. Editorial Científica Universitaria – Universidad Nacional de Catamarca.

Morolli, C., Quaglio, F., Della Rocca, G., Malvisi, J., & Di Salvo, A. (2006). Evaluation of the toxicity of synthetic pyrethroids to red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard 1852)

and common carp (*Cyprinus carpio*, L. 1758). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), 1381-1394.

Moyle, P. B., & Light, T. (1996). *Biological invasions of fresh water: Empirical rules and assembly theory*. *Biological Conservation*, 78(1-2), 149–161. doi:10.1016/0006-3207(96)00024-9.

Nyhlén, L., & Unestam, T. (1975). *Ultrastructure of the penetration of the crayfish integument by the fungal parasite, Aphanomyces astaci, Oomycetes*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 26(3), 353–366. doi:10.1016/0022-2011(75)90233-5.

Nyström P., & Strand J.A. (1996) Grazing by a native and an exotic crayfish on aquatic macrophytes. *Freshwater Biology* 36: 673–68.

Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., Klose, K., Kawai, T., Lejeune, C. (2019). Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshwater Biology*, 64(8), 1382-1400.

Ordax, J. (2003). Tularemia posiblemente transmitida por cangrejos. *Gaceta Sanitaria*, 17, 164-165.

Orlandini, S., Moretti, G., & Albertson, J. D. (2015). Evidence of an emerging levee failure mechanism causing disastrous floods in Italy. *Water Resources Research*, 51(10), 7995-8011.

Parkes, C., Torés, A., & Torés, A. (2001). Población invernante de cigüeña negra *Ciconia nigra* en los arrozales junto al río Guadalquivir.

Patiño, Y. P., & Barco, M. V. (2018). Anotaciones al estado, uso y gestión de la langostilla roja *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii*, especie invasora en la laguna de Fúquene (Cundinamarca, Colombia). *Biodiversidad en la práctica*, 3 (1), 30-51.

Peay, S. (2001). Eradication of alien crayfish populations. Environment Agency and English Nature, R&D Technical Report W1-037/TR1.

Peay, S., Hiley, P. D., Collen, P., & Martin, I. (2006). Biocide treatment of ponds in Scotland to eradicate signal crayfish. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), 1363-1379.

Pedroza-Martínez, D.R. (2017). Estudio de la estructura poblacional de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca, Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 22-34 p.

hillips, G., Hudson, D. M. y Chaparro-Gutiérrez, J. J. (2019). Presence of *Paragonimus* species within secondary crustacean hosts in Bogotá, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(2), 150-157.

Pintor, L. M., & Sih, A. (2011). Scale dependent effects of native prey diversity, prey biomass and natural disturbance on the invasion success of an exotic predator. *Biological Invasions*, 13(6), 1357-1366. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9894-5>.

Prins, R. (1968). Comparative ecology of the crayfishes, *Orconectes rusticus* and *Cambarus tenebrosus* in Doe Run, Meade County, Kentucky. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 53: 667–714.

Rahe, R., & Soylu, E. (1989). Identification of the pathogenic fungus causing destruction to Turkish crayfish stocks (*Astacus leptodactylus*). *Journal of invertebrate pathology*, 54 (1), 10-15.

Rallo, A., & García-Arberas, L. (2002). Differences in abiotic water conditions between fluvial reaches and crayfish fauna in some northern rivers of the Iberian Peninsula. *Aquatic Living Resources*, 15 (2), 119-128.

Re-Araujo, A. D., & Bückle-Ramírez, L. F. (1985). Growth and Survival of *Procambarus clarkii* Girard (Crustacea, Decapoda) With Different Temperatures and Isocaloric Diets. *Ciencias Marinas*, 11(2), 39-68.

Rodríguez-Almaraz, G.A. (1992). Tamaño poblacional, morfometría y crecimiento de *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustácea: Cambaridae) del área central de Nuevo León, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Rodríguez-Almaraz, G. A. (2001). *Fisiología reproductiva del acocil rojo Procambarus clarkii (Crustacea: decapoda): establecimiento del ciclo de maduración gonadal y evaluación de su potencial reproductivo* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Rodríguez-González, H., Hernández-Llamas, A., Villarreal, H., Saucedo, P.E., García-Ulloa, M., & Rodríguez-Jaramillo, C. (2006). Gonadal development and biochemical composition of female crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in relation to the Gonadosomatic Index at first maturation. *Aquaculture*, 254(1-4), 637-645.

Rodríguez, C. F., Bécares, E., & Fernández-Aláez, M. (2003). Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Hydrobiologia*, 506(1), 421-426.

Saad, A. E. H., Mehanna, S., Khalil, M., & Said, M. (2015). Population dynamics of the freshwater crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in the River Nile, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 19(2), 101-116.

Sánchez-Saavedra, M., Re-Araujo, A. D., & Voltolina, D. (1993). Tasa de crecimiento y contenido estomacal en una población natural de *Procambarus clarkii* (Crustacea: Cambaridae) de Baja California, México. *Revista de biología tropical*, 591-597.

Scalici, M. & Gherardi, F. (2007). Structure and dynamics of an invasive population of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a Mediterranean wetland. *Hydrobiologia*, 583(1), 309–319.

Serre, D., Peyras, L., Tourment, R., & Diab, Y. (2008). Levee performance assessment methods integrated in a GIS to support planning maintenance actions. *Journal of Infrastructure Systems*, 14(3), 201-213.

Sokolowicz, C. C., Bond-Buckup, G., & Buckup, L. (2006). Dynamics of gonadal development of *Aegla platensis* Schmitt (Decapoda, Anomura, Aeglidae). *Revista brasileira de Zoologia*, 23, 1153-1158.

Souty-Grosset, C., Reynolds, J., Gherardi, F., Aquiloni, L., Coignet, A., Pinet, F., & Mancha Cisneros, M. D. M. (2014). Burrowing activity of the invasive red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in fishponds of La Brenne (France). *Ethology Ecology & Evolution*, 26(2-3), 263-276.

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

Smith, R. I. (1940). *Studies on Two Strains of Aphanomyces laevis Found Occurring as Wound Parasites on Crayfish*. *Mycologia*, 32(2), 205. doi:10.2307/3754494.

Stebbing, P. D., Watson, G. J., Bentley, M. G., Fraser, D., Jennings, R., Rushton, S. P., & Sibley, P. J. (2003). Reducing the threat: the potential use of pheromones to control invasives signal crayfish. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 370, 219-224.

Tack, P. I. (1941). The life history and ecology of the crayfish *Cambarus immunis* Hagen. *The American Midland Naturalist*, 25 (2), 420-446.

Twardochleb, L. A., Olden, J. D., & Larson, E. R. (2013). A global meta-analysis of the ecological impacts of nonnative crayfish. *Freshwater Science*, 32 (4), 1367-1382.

Unestam, T., & Weiss, D. W. (1970). The host-parasite relationship between freshwater crayfish and the crayfish disease fungus *Aphanomyces astaci*: responses to infection by a susceptible and a resistant species. *Microbiology*, 60 (1), 77-90.

Veselý, L., Ruokonen, T.J., & Weiperth, A. (2021). Trophic niches of three sympatric invasive crayfish of EU concern. *Hydrobiologia* 848, 727–737. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04479-5>.

Wang, W., Gu, W., Ding, Z., Ren, Y., Chen, J., & Hou, Y. (2005). A novel *Spiroplasma* pathogen causing systemic infection in the crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapod), in China. *FEMS Microbiology Letters*, 249 (1), 131–137. doi:10.1016/j.femsle.2005.06.005.

Webster, J.R. & Patten, B.C. (1979). Effects of watershed perturbation on stream potassium and calcium dynamics. *Ecological Monographs*, 49(1), 51–7.

Whiteledge, G.W. & Rabeni, C.F. (1997). Energy sources and ecological role of crayfishes in an Ozark stream: insights from stable isotopes and gut analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54 2555-2563.

Wu, Z., Zhang, Q., Zhang, T., Chen, J., Wang, S., Hao, J., & Li, A. (2021). Association of the microbiota dysbiosis in the hepatopancreas of farmed crayfish (*Procambarus clarkii*) with disease outbreaks. *Aquaculture*, 536, 736492. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736492>.

Xiao, L., (2010): Molecular epidemiology of cryptosporidiosis: an update. *Experimental Parasitology*, 124(1), 80-9.

Xu, L., Wang, T., Li, F., & Yang, F. (2016). Isolation and preliminary characterization of a new pathogenic iridovirus from redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 120(1), 17–26. doi:10.3354/dao03007

**CAPÍTULO 1. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA
ASOCIADOS A LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO
AMERICANO (*Procambarus clarkii*).**

CAPÍTULO 1. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA ASOCIADOS A LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*).

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tibitoc hace parte del denominado agregado Norte o Sistema del Río Bogotá y en el Distrito Capital abastece algunos sectores del norte de la ciudad, Engativá, Fontibón, Tintal Central y Suba (Secretaría Distrital de Salud, 2015). Antes de ingresar a la PTAP Tibitoc, el Río Bogotá recibe descargas de aguas residuales tanto domésticas, como industriales y agropecuarias. De la misma manera, el Río Teusacá se contamina por la presencia de actividades agropecuarias en su cuenca y el desarrollo de procesos suburbanos asociados a la vivienda campestre. El agua que entra a la PTAP Tibitoc es captada del Río Bogotá en el sector conocido como El Espino y del Río Teusacá en el Embalse de Aposentos (Secretaría Distrital de Salud, 2015).

Una vez captada el agua, se conduce hasta la estructura conocida como dársena donde se lleva a cabo el proceso de presedimentación. La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tibitoc está diseñada para tratar 12 m³ /s y se trata de una planta tipo convencional, por lo que incluye los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Después de la presedimentación que ocurre en la dársena, el agua es bombeada para iniciar el proceso de tratamiento propiamente dicho, para lo cual se cuenta con dos estaciones de bombeo. A la entrada de las bombas se tiene un punto de control donde se realiza medición de parámetros como pH, turbidez y alcalinidad. El agua bombeada es conducida hacia el canal de aducción y en el trayecto se cuenta con puntos para aplicación de Sulfato de Aluminio y Polímero como insumos para la coagulación y floculación (Secretaría Distrital de Salud, 2015).

Posteriormente el agua pasa a los floculadores de allí a los sedimentadores donde se logran grandes remociones de turbiedad. Desde el cuarto de control de floculadores, se lleva a cabo la operación de estas estructuras y se hace un seguimiento en tiempo real a su funcionamiento. Al final de este cuarto se tiene un punto de control donde se monitorea la calidad del agua en esta etapa del proceso. Después del proceso de sedimentación el agua pasa a los canales de agua clarificada y de aquí a los filtros. Finalmente, el agua es sometida al proceso de desinfección y una vez se ha potabilizado totalmente se traslada hasta las líneas de conducción ya sea para la ciudad de Bogotá o para los otros municipios abastecidos desde esta planta (Secretaría Distrital de Salud, 2015)

El primer reporte que se conoce del cangrejo rojo americano en la dársena de presedimentación de la planta de tratamiento de agua potable de Tibitoc es del 2019 (SiB-Colombia), la construcción de madrigueras es una característica típica de esta especie, remueve la tierra circundante al cuerpo de agua aumentando la turbidez del agua y causando desde la desestabilización de las orillas hasta afección de los taludes e infraestructura y construcciones civiles, lo que puede llegar a afectar el área de la bocatoma norte, y otras estructuras dentro de la dársena, también al igual que las orillas de la dársena

Por otro lado, el Cangrejo rojo americano es una especie omnívora, se alimenta principalmente de macrófitas y detritus para lo cual remueve continuamente los sedimentos

del fondo de la Dársena lo que puede afectar la función de presedimentación de la misma; la remoción de sedimentos también contribuye al aumento de la turbidez del agua, disminuyendo de manera considerable la disponibilidad de oxígeno, generando un impacto sobre las características del ecosistema, que causa la disminución y detrimento de las poblaciones nativas (Campos, 2005; Gil-Sánchez & Alba-Tercedor, 2002).

La remoción de sedimentos también genera una translocación de nutrientes en la columna de agua, disminuyendo la calidad de agua debido al aumento de nutrientes inorgánicos (e.g. fósforo reactivo soluble, amoníaco etc.), los cuales son incorporados a la cadena [1] trófica por los productores primarios generando blooms o floraciones de algas lo que conlleva a un efecto trófico de cascada, alterando en su riqueza y/o abundancias los diferentes niveles de la cadena alimenticia (Angeler et al., 2001).

Por lo tanto, los impactos en el ecosistema por parte de los cangrejos rojos influyen en gran medida en la disponibilidad de recursos orgánicos directamente al triturar la hojarasca y consumir macroinvertebrados, o indirectamente a través de la bioturbación durante la construcción de madrigueras o el desplazamiento sobre los sedimentos (Dunoyer et al. 2020). A su vez, los peces grandes, aves y otros depredadores del cangrejo rojo pueden tener impactos directos sobre los cangrejos a través de la depredación y efectos indirectos no letales al inducir la pérdida de extremidades (Dunoyer et al. 2020).

Otro aspecto a tener en cuenta es el tamaño de los cangrejos, se ha reportado que los cangrejos rojos de mayor tamaño tienen la capacidad de producir una mayor turbidez en el agua que los cangrejos de río más pequeños, esto, en condiciones de mesocosmos, lo que confirma la importancia de estos organismos (número y tamaño de los cangrejos rojos) como inductores de turbidez en los arroyos de agua dulce. (Dunoyer et al., 2020).

Por otro lado, algunos estudios han encontrado que las señales químicas que emiten los peces depredadores parecen reducir los comportamientos inductores de turbidez como la exploración y remoción del sedimento y la construcción de madrigueras en los cangrejos rojos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que un aumento en la abundancia de peces puede generar también un aumento de la turbidez. (Dunoyer et al., 2020).

Investigaciones realizadas en humedales de la llanura aluvial española indican que el cangrejo rojo americano, influye directamente en el ciclo de nutrientes, ya sea a través de alimentación, excreción y la bioturbación, lo que puede llevar a un aumento en la eutrofización del cuerpo de agua, es decir aumento de la productividad primaria, empobreciendo la calidad de agua (Figura 16), sobre todo en épocas de baja precipitación (Angeler et al., 2001), lo cual se evidencia en el aumento de turbidez.

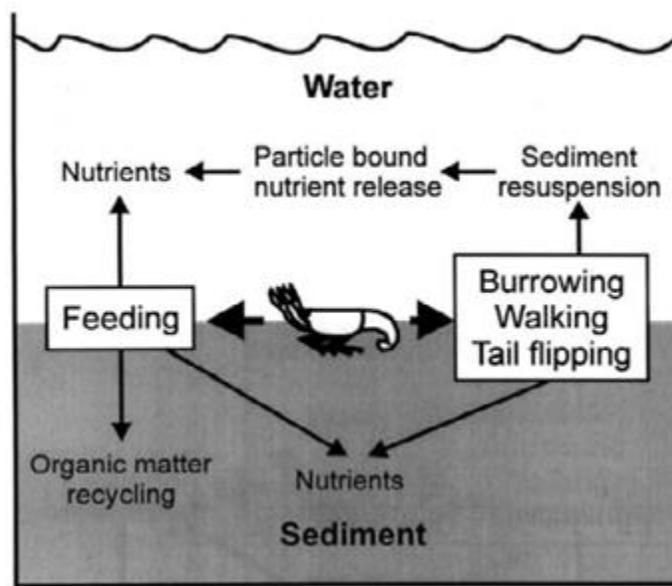


Figura 16. Modelo de representación de los efectos hipotéticos de *P. clarkii* en la calidad de agua y sedimentos en humedales. Fuente: Angeler et al., (2001).

Por otra parte, la eutrofización de los cuerpos de agua es una problemática global que debe resolverse y la carga interna de fósforo (P) se considera una de las causas principales (Wang & Pei, 2013), la contaminación orgánica, industrial y agrícola constituyen una de las fuentes más importantes de nitrógeno y fósforo en el agua y es el principal responsable de los fenómenos de eutrofización. Este problema es más agudo en los trópicos donde, no hay suficiente control de la contaminación, los nutrientes son utilizados por las algas y plantas acuáticas de forma permanente, todo ello favorecido por las condiciones de medianas y altas temperaturas a lo largo de todo el año (Roldán & Ramírez, 1992).

Las proliferaciones de algas ocurren en tiempos relativamente cortos y dependen de la cantidad de formas biológicamente disponibles de fósforo y nitrógeno (Ryding, & Rast, 1989), estos nutrientes pueden aumentar su disponibilidad en la columna de agua debido a la bioturbación generada por el cangrejo *P. clarkii* lo cual altera la calidad de agua debido a que el fitoplancton puede absorber y utilizar estos nutrientes (Ryding, & Rast, 1989) de ahí se produce una reacción en cadena donde la biomasa de algas se puede aumentar dependiendo de la cantidad o proporción con que estos nutrientes están disponibles en la masa de agua (Wang & Pei, 2013).

Los nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los iones que en un momento determinado pueden ser los factores limitantes en la productividad primaria, estos iones varían con los periodos hidrolimáticos en las zonas tropicales, debido a su utilización por parte de las algas (Roldán & Ramírez, 2008). El fósforo proviene de la disolución de rocas fosfatadas y por la mineralización de la materia orgánica que retorna a la columna de agua a través de procesos de descomposición microbiana. La principal fuente de nitrógeno en

los sistemas acuáticos es el nitrógeno atmosférico, el cual es un elemento más abundante que el fósforo (Roldán & Ramírez, 2008).

El fosfato es una de las formas disponibles de fósforo en los sistemas acuáticos. En aguas continentales estratificados térmicamente con alta concentración de materia orgánica, es común observar, durante el período de anoxia, se da la formación de sulfuro de hidrógeno. En estos ambientes, el ión Fe^{2+} reacciona con el ión sulfuro (S^{2-}), originado por la disociación del sulfuro de hidrógeno, formando sulfuro de hierro (FeS), que es un compuesto altamente insoluble. Mediante este proceso, el fosfato permanece libre en la columna de agua. La precipitación de FeS puede reconocerse fácilmente por el color negro del sedimento. Así, cuando surgen condiciones anaeróbicas (especialmente en el sedimento), el sulfato se reduciría a sulfuro (S^{2-}) que precipitaría los iones ferrosos en forma de FeS (muy insoluble), dando como resultado la liberación de iones fosfato (Esteves, 1998). De esta manera está disponible para que sea absorbido por las algas y plantas acuáticas e incorporar en procesos biológicos como la generación de energía y crecimiento.

Uno de los factores importantes que contribuyen a la resuspensión de sedimentos es la corriente de agua impulsada por el viento, que promueve el reclutamiento de cianobacterias del sedimento (Andrew et al., 2008). Otro grupo que puede estar aportando al proceso de bioturbación es el zoobentos, dentro de este grupo se encuentran grandes especies como el cangrejo rojo, el cual, al aumentar su densidad poblacional hasta convertirse en una especie dominante, puede tener un efecto significativo en la resuspensión del sedimento y afloramiento de las Cianobacterias (Mermillod-Blondin, & Rosenberg, 2006).

Yamamoto, (2010) realizó un estudio en el lago Hirosawa, clasificado como eutrófico en Japón, en cual se exploró el desarrollo de floraciones de cianobacterias junto con el efecto potencial de bioturbación por el cangrejo de río rojo *P. clarkii*. Se observó que *Aphanizomenon flos-aquae* fue la única Cyanobacteria en el lago Hirosawa que creció cuando la temperatura del agua estaba por debajo de los 15 °C. Otras cianobacterias, como *Microcystis sp* y *Anabaena sp*, alcanzaron sus densidades máximas cuando la temperatura del agua superó los 23 °C, lo que sugiere que no solo la actividad del cangrejo rojo provoca este crecimiento de las cianobacterias, sino que también es necesario unas temperaturas adecuadas para su desarrollo.

La alimentación activa del cangrejo rojo de una amplia gama de las fuentes de alimentos puede afectar fuertemente la estructura de las redes tróficas. En particular, el sustancial impacto negativo de *P. clarkii* en la diversidad y la estructura de las macrófitas ha sido bien documentada por Rodríguez et al. (2003). En este estudio se señaló que la propagación de *P. clarkii* provocó el deterioro de las macrófitas en el lago Chozas en España, y los principales productores primarios en el lago fueron reemplazados por *Microcystis* causando deterioro en la calidad de agua (Rodríguez et al., 2003).

Estudios previos explican este fenómeno en al menos dos caminos. Primero, los autores midieron una alta concentración del fósforo total después de la dominancia de *P. clarkii*, que favorece el predominio de las cianobacterias. Segundo, la influencia alelopática de las

macrófitas no suprimió el crecimiento de cianobacterias. Además, el impacto directo del cangrejo rojo a través de la bioturbación también parece ser importante. El cangrejo rojo puede influir en las poblaciones de microalgas directa o indirectamente a través del consumo de microalgas e invertebrados, o excreción de nutrientes, aunque generalmente estos efectos se suponen insignificantes (Yamamoto. 2010).

Por otra parte *P. clarkii* es potencial bioacumulador de metales pesados, los cuales son vectores potenciales de contaminantes para los escalones superiores de la cadena trófica, por esta razón es considerado una especie potencial y eficaz como bioindicadora de contaminación por Cu, Zn, Cr y As, Hg. Algunos estudios revelan resultados con cantidades significativas de bioacumulación de As, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn en el tejido muscular. Aunque otros estudios han demostrado que el tejido muscular contiene el menor peso de metales en comparación con otros tejidos, el tejido muscular es una medida importante desde el punto de vista de la salud, ya que es la más comestible (Suárez-Serrano et al., 2010; Zaglol & Eltadawy, 2009), por otro lado, es importante aclarar que faltan estudios sobre bioacumulación de arsénico y de los efectos toxicológicos del consumo de *P. clarkii* (Suárez-Serrano et al., 2010; Rallo & García-Arberas, 2002).

En el ámbito nacional Pedroza-Martínez en el 2017, estudió la población de la Laguna de Fúquene donde encontró que las poblaciones de *P. clarkii* tienen un comportamiento asociativo o de hacinamiento en presencia de madrigueras, lo que implica que la calidad de agua pierda sus características fisicoquímicas naturales; es decir, aumento en la concentración de iones generando cambios en valores de conductividad, mayor turbidez y se refleja en un aumento de temperatura (Marcó et al., 2004) cambiando las características del sedimento (Gherardi & Acquistapace, 2007).

Según Pedroza-Martínez, (2017), los factores que mayor incidencia tienen en el cangrejo rojo americano son la humedad relativa, el oxígeno disuelto, la conductividad, la presión atmosférica y la turbidez, sin embargo, hacen falta más estudios para mostrar un patrón fuerte de asociación (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018).

Las cianobacterias tóxicas son las causantes de la pérdida de la calidad del agua y la mortalidad de otros invertebrados acuáticos, y también afectan al grupo de peces. Sin embargo, el cangrejo rojo americano tiene una alta capacidad para tolerar estas cianobacterias. Vasconcelos et al., (2001) demostró en diferentes ensayos de toxicidad que las larvas juveniles de *P. clarkii* son resistentes a estas cianobacterias expuestas a ciertos niveles de oxígeno en el agua, lo que indica que son acumuladores de toxinas y estas se transfieren en la cadena alimentaria.

Por otro lado, aunque son escasos los estudios sobre afectaciones o impactos en el tratamiento del agua y la calidad del agua, Alcorlo, et al. (2008) recomienda el uso de *P. clarkii* como especie bioindicadora de la salud ambiental del Corredor Verde del Guadiamar España, debido a que este crustáceo posee una gran capacidad de tolerancia a las concentraciones de metales en su hemolinfa en función de su estado fisiológico (Allison et al., 2000). Se ha probado en numerosos estudios que los cangrejos rojos responden rápidamente a las concentraciones de los elementos no esenciales para ellos como el plomo, el cadmio, el cromo o el arsénico, acumulándolos en sus tejidos (Alcorlo et al., 2008),

según los resultados de este estudio, la contaminación del tramo medio del río Guadamar procede de los vertimientos industriales, urbanos y agrícolas de los alrededores, los cangrejos presentes en este río exhiben concentraciones altas de metales pesados en los tejidos, aunque en general, existe una tendencia a disminuir su concentración (Alcorlo et al., 2008); Lo anterior hace del cangrejo rojo un organismo óptimo para el monitoreo de las concentraciones de metales pesados en aguas destinadas a la potabilización.

Para el territorio colombiano aún no se reportan casos de estudio sobre la presencia de *P. clarkii* y su impacto sobre la calidad del agua en plantas de tratamiento de agua potable.

MATRIZ DOFA

La matriz DOFA es un instrumento metodológico que se emplea para identificar acciones viables mediante el cruce de variables, e implementar acciones estratégicas que deben ser ante todo acciones posibles y que la factibilidad se debe encontrar en la realidad misma del sistema. En otras palabras, por ejemplo, la posibilidad de superar una debilidad que impide el logro del propósito, solo se la dará la existencia de fortalezas y oportunidades que lo permitan.

Esta matriz se realizó con el fin de establecer cómo se comportan las fuerzas internas y externas que intervienen sobre el cangrejo rojo americano y la calidad de agua de la dársena de la PTAP Tibitoc, por esta razón se hace necesario un análisis de la biología del cangrejo para aprovechar los escenarios que se producen cuando interactúan los diferentes factores, entre el ecosistema y *P. clarkii*. Los factores internos que intervienen son las fortalezas y las debilidades, ya que estas pueden mostrar las limitaciones que se puede tener al momento de controlar la especie; mientras que las oportunidades y las amenazas son dadas por el entorno.

Las oportunidades relacionadas con el desarrollo de este proyecto nos permitirán aprender sobre la biología y ecología de esta especie introducida, aportar información primaria para los ecosistemas altoandinos, e implementar un control de las poblaciones para reducir su impacto en las infraestructuras de la dársena, en la calidad del agua y en las especies nativas.

Tabla 7. Matriz DOFA de los impactos en la calidad del agua asociados a la presencia de *P. clarkii*.

FORTALEZAS (internas)	DEBILIDADES (internas)
1. La temperatura del agua de la Dársena, inferior a 20°C, limita el crecimiento de las poblaciones de <i>P. clarkii</i> ; la temperatura óptima para el	1. La dársena puede favorecer la presencia y establecimiento del cangrejo rojo al producirse el paso de un sistema

<p>crecimiento acelerado de <i>P. clarkii</i> presenta un rango entre 21 - 27 °C (Huner, Barr & Coleman., 1984).</p> <p>2. Los depredadores más comunes de <i>P. clarkii</i>, se encuentran algunos invertebrados acuáticos de vida libre como las ninfas de odonatos, chinches de agua de gran tamaño, coleópteros y algunos peces (Goncalves-Loureiro et al., 2015) En la Dársena se observaron las siguientes especies de peces: <i>Grundulus bogotensis</i>, <i>Cyprinus carpio</i> y <i>Eremophilus mutisii</i>, sin embargo, no encontramos información de la efectividad de estos como depredadores de <i>P. clarkii</i>.</p> <p>3. La presencia de peces como la carpa puede actuar como depredadores de juveniles y adultos de cangrejo rojo y la guapucha de juveniles lo que puede ayudar a controlar la población del cangrejo.</p> <p>4. Su abundancia puede estar limitada por la presencia de depredadores como algunas aves ocasionales como la garza (<i>Casmerodius albus</i>) que se ha registrado consumiendo crustáceos (Cupul & Mc Cann, 2016) que se encuentran en la dársena.</p> <p>5. Puede ser empleado por la Planta de tratamiento como bioindicador para el monitoreo de la presencia de metales pesados, debido a que estudios indican un potencial bioacumulador de estos elementos en su biomasa (Alcorlo et al., 2008). Para esto se debe hacer análisis de metales pesados en tejidos muscular, branquias y hepatopáncreas (Anderson et al., 1997), que a su vez permite identificar el grado de contaminación.</p>	<p>lótico a léntico en donde suele lograr un mayor éxito.</p> <p>2. Los cangrejos consumen macrófitas de agua dulce que pueden estar presentes en la dársena (Nyström & Strand, 1996).</p> <p>3. Las características propias de la dársena al ser un sistema de sedimentación favorecen la oferta de detritus que puede ser consumido por el cangrejo (FAO, 2021).</p> <p>4. La inexistencia de barreras físicas en la bocatoma de la dársena que impidan el ingreso del cangrejo a la dársena.</p> <p>5. Inexistencia de un protocolo de control y manejo de la especie dentro de la dársena.</p> <p>6. Esta especie ha evidenciado que en zonas tropicales como en la que se encuentra la dársena puede llegar a presentar una reproducción multivoltina es decir reproducirse varias veces al año (Chucholl, 2011).</p> <p>7. El sustrato de la dársena es en parte arcilloso que puede facilitar la excavación de las madrigueras; Flórez-Brand & Espinosa-Beltran, en el 2011 resaltan que este tipo de sustrato facilita la construcción de las madrigueras.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>6. Desarrollo de estudio de parámetros poblacionales del Cangrejo rojo (<i>P. clarkii</i>).</p> <p>7. Contratación de personal capacitado y especializado para la supervisión y desarrollo del estudio de parámetros poblacionales del Cangrejo rojo (<i>P. clarkii</i>).</p> <p>8. Desarrollo histórico de monitoreo y medición de variables fisicoquímicas de la dársena que permitirán evidenciar posibles cambios a causa de la presencia de <i>P. clarkii</i>.</p> <p>9. La Dársena es un lugar de acceso restringido lo que facilita el control y limita la introducción por persona particulares.</p>	
<p>OPORTUNIDADES (externas)</p>	<p>AMENAZAS (externas)</p>
<p>1. Desarrollar planes de monitoreo y control que permitan disminuir o mitigar el crecimiento poblacional del cangrejo en la dársena y que sirvan de base para otras plantas de tratamiento del departamento y del país.</p> <p>2. Emplear el monitoreo de parámetros físicoquímico históricos del agua de la dársena, para evidenciar cambios en la calidad del agua por la presencia del cangrejo rojo.</p> <p>3. Estudiar cómo los regímenes de inundación de la dársena a largo del día pueden afectar las conductas de excavación de madrigueras, su permanencia en ellas, la muda y crías.</p> <p>4. Desarrollar análisis de metales pesados en estructuras del cangrejo para considerar su uso en alimento para</p>	<p>1. La presencia del cangrejo rojo puede llegar a alterar variables fisicoquímicas y organolépticas del agua que debe ser tratada.</p> <p>2. Puede llegar a ser fuente considerable de bacterias del género <i>Vibrio</i> sp. Responsables de producir cólera.</p> <p>3. Durante el proceso de reproducción el cangrejo tiende a realizar madrigueras que pueden desestabilizar los bordes de la dársena.</p> <p>4. Una alta densidad poblacional puede conllevar a bioturbación del agua que posteriormente debe ser potabilizada, aumentando los costos del proceso de potabilización.</p>

<p>especies de peces, gallinas y cebo para pesca, podría ayudar en su control.</p> <p>6. Desarrollar investigación básica que aporte información para catalogar a <i>P. clarkii</i> como una especie invasora dentro de la legislación colombiana</p> <p>7. Generar conocimiento de la biología y ecología de la especie que permite aproximarse a establecer métodos efectivos de manejo y control.</p> <p>8. Hacer una detección temprana de la especie para reducir el aumento de la población y el riesgo que representa para la calidad del agua de la dársena</p> <p>9. Conocer la relación de las variables Físicoquímicas (FQ), Microbiológicas (M) e Hidrobiológicas (HB) con la presencia del cangrejo que puede conducir a un manejo adecuado del cangrejo rojo.</p> <p>10. Generar información de línea base para programas de sensibilización y educación ambiental con respecto al manejo de la especie.</p>	<p>5. Genera cambios negativos en la calidad del agua, como lo es el aumento de la demanda biológica de oxígeno (DBO).</p> <p>6. El cangrejo puede transmitir enfermedades a especies nativas que se encuentren en la dársena.</p> <p>7. En su rol como vector, puede transmitir hongos como <i>Aphanomyces</i> a especies nativas que ponen en riesgo la supervivencia de estas, además puede transmitir otros patógenos que pueden afectar la salud humana (Arias-Pineda & Rodríguez, 2012).</p> <p>8. Puede llegar a colonizar sistemas acuáticos cercanos a la dársena.</p> <p>9. Los cangrejos pueden propiciar el aumento de la presencia de cianobacterias.</p> <p>10. Puede llegar a ocupar un lugar importante en la estructura trófica de la Dársena con interacciones en varios de sus niveles por lo que podría llegar a cambiar del todo el funcionamiento de este ecosistema.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ESTRATEGIAS DOFA

Posterior a identificar las fuerzas internas y externas que interaccionan con el ecosistema y la presencia de *P. clarkii*, se realiza un cruce entre estas y se establecen las estrategias necesarias para reforzar las fortalezas y oportunidades que se tienen, y para atacar y contrarrestar las debilidades y las amenazas que se presentan

El instrumento también permite la identificación de acciones que potencien entre sí a los factores positivos, permitiendo generar estrategias que mejoren los procesos tanto internos del ecosistema, así como con los factores externos que influyen de manera directa con el mismo, esto quiere decir que el ente administrador puede ajustar los recursos y planes de acción hacia la identificación de oportunidades internas de mejora y dinamizarlas con los

riesgos que suponen las fuerzas externas que intervienen sobre el dársena. Dando así un fortalecimiento a las debilidades internas, y garantizar oportunidades de mejora continua.

Tabla 8. Estrategias DOFA

<p>Internas Externas</p>	<p>FORTALEZAS</p>	<p>DEBILIDADES</p>
<p>OPORTUNIDADES</p>	<p>ESTRATEGIA (FO) Mediante el monitoreo de agua de la Dársena y la correlación con la presencia del cangrejo ayudará a entender mejor el comportamiento de la especie y así facilitar la generación de un protocolo de control. Generar conocimiento de línea base que permita el reconocimiento de esta especie como especie invasora para Colombia.</p>	<p>ESTRATEGIA (DO) Potenciar la capacidad técnica y operativa del personal, mediante capacitaciones y cursos acerca de la biología de especies invasoras en la zona, con el fin de implementar un protocolo de control de la población de <i>P. clarkii</i>.</p>
<p>AMENAZAS</p>	<p>ESTRATEGIA FA Implementar campañas de monitoreo en la dársena de la planta con el objetivo de conocer la ecología de las especies y su relación con la variables Físico-Químicas (FQ), Microbiológicas (M), e Hidrobiológicas (HB) y de esta manera implementar estrategias para el control de la población.</p>	<p>ESTRATEGIA DA Realizar estrategias de control como la captura pasiva y activa que evite la colonización de la especie a ecosistemas cercanos La construcción de barreras como mallas que permitan el flujo de agua y eviten el paso de cangrejos a la zona de succión, facilita además la opción de realizar tratamientos de control, en caso que se considere necesario para la erradicación de la población. Fortalecer las estructuras civiles de la dársena con el fin de evitar daños en la rigidez y estabilidad de las estructuras y orillas.</p>

MAPA DEL CONOCIMIENTO

Finalmente, con base en la revisión literaria realizada sobre la biología, ecología y métodos de control del cangrejo rojo se construye el mapa de conocimiento que presenta el diagnóstico resumido de la problemática relacionada con la presencia de *P. clarkii*, y los posibles impactos en la dársena de la planta de tratamiento de agua de Tibitoc. En el mapa del conocimiento se destacan los impactos sobre la salud humana por la transmisión de parásitos, virus y diversas enfermedades; los impactos sobre las infraestructuras como la bocatoma, el área de bombeo, las orillas de la dársena; impactos económicos porque se afecta el papel de sedimentación de la dársena, además del aumento de la turbidez, la eutrofización, disminución del oxígeno, aumento de fosfatos y nitratos que deben ser compensados durante el tratamiento del agua; impactos sobre la potabilización del agua y los impactos ambientales (Figura 17).

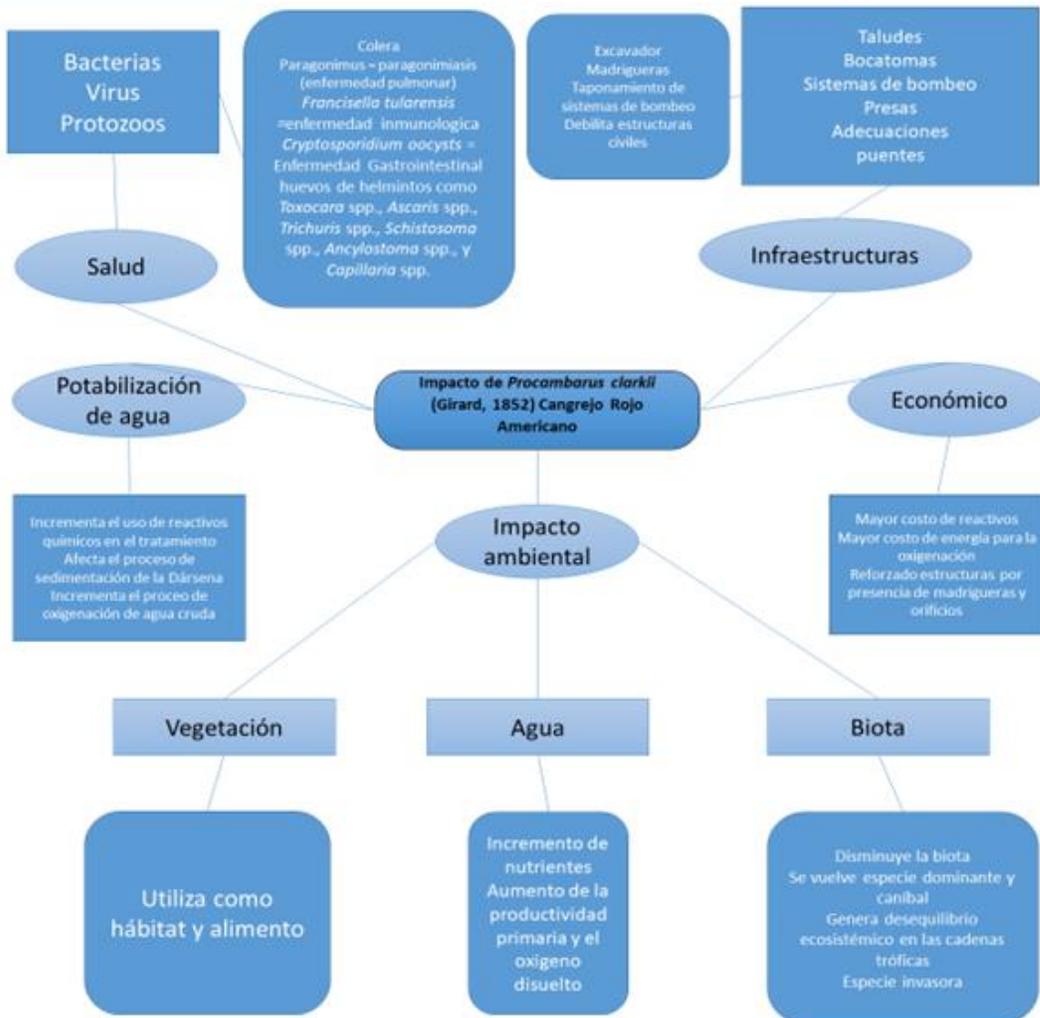


Figura 17. Mapa del conocimiento del diagnóstico y la problemática del cangrejo rojo americano.

LITERATURA CITADA

Alcorlo, P., Otero, M., Crehuet Peralta, M., Lozano, I., Baltanás Gentil, Á., & Montes del Olmo, C. (2008). Seguimiento y bioacumulación de metales en las poblaciones de cangrejo americano (*Procambarus clarkii*) del río Guadiamar después del vertido minero de Aznalcóllar.

Allinson G., Laurenson L.J.B., Pistone G., Stagnitti F. & P.L. Jones. (2000). Effects of dietary copper on the Australian freshwater crayfish *Cherax destructor*. *Ecotox Environ Saf* 46: 117-123.

Anderson, M. B., Reddy, P., Preslan, J. E., Fingerman, M., Bollinger, J., Jolibois, L., y George, W. J. (1997). Metal accumulation in crayfish, *Procambarus clarkii*, exposed to a petroleum-contaminated bayou in Louisiana. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37(3), 267-272.

Andrew R., Dzialowski, A. R., Shih-Hsien W., Niang-Choo Lim, Beury J. H. & Huggins, D. G. (2008) Effects of sediment resuspension on nutrient concentrations and algal biomass in reservoirs of the Central Plains, *Lake and Reservoir Management*, 24:4, 313-320.

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(1), 89-98.

Arias-Pineda, J. Y. A., & Rodríguez, W. D. (2012). First record of the invasive species *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii* (Girard 1852) (Crustacea, Decapoda, Cambaridae) from the Colombian Eastern Cordillera. *Boletín de la SEA*, (51), 313-315.

Arias-Pineda, J. Y., & Pedroza-Martínez, D. R. (2018). Presencia del cangrejo rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) en la sabana de Bogotá, Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 62 (30/06/2018), 283–286.

Campos, M. (2005). *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii* (Girard 1852) (Crustacea: Decapoda: Cambaridae). Una langostilla no nativa de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 291(111), 295-302.

Chucholl, C. (2011). Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (401), 29.

Cupul, F., & Mc Cann, F. (2016). Consumo de presas por algunas aves acuáticas en Bahía de Banderas, México: Documentación Fotográfica. *The Biologist* 4(1), 75–80.

Dunoyer, L. A., Coomes, D., & Crowley, P. H. (2020). Nonconsumptive predator effects modify crayfish-induced bioturbation as mediated by limb loss: Field and mesocosm experiments. *Ecology and evolution*, 10(6), 2739.

Esteves, F. de Assis. (1998). *Fundamentos de limnología*. 2^{da} Edición. Rio de Janeiro. Interciência.

FAO (2007-2021). *Cultured Aquatic Species Information Programme Procambarus clarkii*. Programa de información de especies acuáticas. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Procambarus_clarkii/es

Flórez-Brand, P. E. & Espinosa-Beltrán, J. O. (2011). Presencia y dispersión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii* ; Girard, 1852) (Decápoda: Cambaridae) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2),57-62. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/252>.

Gherardi, F., & Acquistapace, P. (2007). Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshwater Biology*, 52(7), 1249-1259. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01760>.

Gil-Sanchez, J. M., & Alba-Tercedor, J. (2002). Ecology of the native and introduced crayfishes *Austropotamobius pallipes* and *Procambarus clarkii* in southern Spain and implications for conservation of the native species. *Biological Conservation*, 105(1), 75-80.

Goncalves-Loureiro, T., Anastácio, P. M. S. G., Araujo, P. B., Souty-Grosset, C., & Almerão, M. P. (2015). Red swamp crayfish: biology, ecology and invasion-an overview. *Nauplius*, 23, 1-19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-64972014002214>

Huner, J. V., Barr, J. E., & Coleman, E. B. (1984). Red swamp crawfish: biology and exploitation. Sea Grant College Program. Louisiana: Louisiana State University. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US874968488><https://drive.google.com/file/d/1AZz5OnftBAWjuuiW44kDQSnnkZ4g8JfO/view?usp=sharing>

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad ambiental*, 4(11).

Meineri, E., Rodriguez-Perez, H., Hilaire, S., & Mesleard, F. (2013). Distribution and reproduction of *Procambarus clarkii* in relation to water management, salinity and habitat type in the Camargue. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(3), 312-323.

Mermillod-Blondin, F., & Rosenberg, R. (2006). Ecosystem engineering: the impact of bioturbation on biogeochemical processes in marine and freshwater benthic habitats. *Aquatic sciences*, 68(4), 434-442.

Nyström P., & Strand J.A. (1996) Grazing by a native and an exotic crayfish on aquatic macrophytes. *Freshwater Biology* 36: 673–68.

Pedroza-Martínez, D. R. (2017). Estudio de la estructura poblacional de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca, Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 22-34 p.

Rallo, A., & García-Arberas, L. (2002). Differences in abiotic water conditions between fluvial reaches and crayfish fauna in some northern rivers of the Iberian Peninsula. *Aquatic Living Resources*, 15(2), 119-128.

Rodríguez, C. F., Bécares, E., & Fernández-Aláez, M. (2003). Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Hydrobiologia*, 506(1), 421-426.

Roldán, G., & Ramírez, J. (1992). Fundamentos de limnología tropical. *Medellín: Editorial Universidad de Antioquia*.

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología tropical. 2ª edición. *Medellín: Editorial Universidad de Antioquia*.

Ryding, S., & Rast, W. (1989). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. *Ediciones Piramide SA-Madrid*.

Secretaría Distrital de Salud. (2015). Mapa de Riesgo de la Calidad del Agua Para Consumo Humano Sistema Tibitoc. *Empresa De Acueducto De Bogotá—EAB: Bogotá, Colombia*, 29.

Suárez-Serrano, A., Alcaraz, C., Ibanez, C., Trobajo, R., & Barata, C. (2010). *Procambarus clarkii* as a bioindicator of heavy metal pollution sources in the lower Ebro River and Delta. *Ecotoxicology and environmental safety*, 73(3), 280-286.

Vasconcelos, V., Oliveira, S., & Teles, F.O. (2001). Impact of a toxic and a non-toxic strain of *Microcystis aeruginosa* on the crayfish *Procambarus clarkii*. *Toxicon*, 39(10), 1461–1470. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(01\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(01)00105-2).

Wang, C., & Pei, Y. (2013). Effects of light, microbial activity, and sediment resuspension on the phosphorus immobilization capability of drinking water treatment residuals in lake sediment. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8900-8908.

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

Zaglol, N. F., & Eltadawy, F. (2009). Study on chemical quality and nutrition value of fresh water crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of the Arabian aquaculture society*, 4(1), 1-18.

**CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA
POBLACIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA
DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE TIBITOC.**

CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA POBLACIÓN DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIBITOC.

Para el ajuste del diseño metodológico con el que se realizará el monitoreo y control del cangrejo rojo americano en la dársena de la Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Tibitoc, se realizaron dos visitas de campo que tenían por objetivos generales hacer un reconocimiento del área de trabajo, identificar los aspectos más importantes para organizar la logística de las posteriores salidas de campo, identificar las necesidades de protección y cuidados para prevenir los riesgos durante el trabajo de campo desde el área de SST y realizar las pruebas para el ajuste metodológico.

A continuación, se hace una breve descripción de los objetivos, actividades y resultados de cada visita.

1. VISITAS DE CAMPO

Visita 1: reconocimiento del área de trabajo

La primera visita a la dársena de la PTAP de Tibitoc se realizó el día 1 de junio del 2021, contó con la participación del equipo técnico del acueducto encabezado por la supervisora del contrato la ingeniera Nubia León, Diana Villamil, William Villamil, el Dr. Carlos Rivera y la candidata a Dr. Angela Zapata.

Por parte de la OLFRSI asistieron a la salida la directora del proyecto la Dra. Elisabeth Jiménez, la coordinadora: Gina Romero, el coordinador de campo: Julián Benavides, el ingeniero ambiental: Julián Wilches, los biólogos: Isabella González, Catalina Sarmiento y Fabian Mesa, la auxiliar SST Patricia Silva y Rosaneth Angarita.



Dársena de la RTAP de Tibitoc. Foto: E. Jiménez

1.1.1 Objetivos:

- Reconocimiento del área de trabajo (dársena de la PTAP de Tibitoc).
- Identificar los aspectos más importantes para la logística de las posteriores salidas de campo.
- Identificar las necesidades de protección y cuidados para prevenir los riesgos durante el trabajo de campo desde el área de SST.
- Realizar las pruebas de las trampas y el cebo propuesto en la metodología para la consultoría en el plan de calidad.
- Registrar los parámetros físico-químicos *in-situ*.

1.1.2 Actividades:

- Recorrido de reconocimiento por la dársena, identificando punto de inicio (bocatoma norte) entrada del río Bogotá; punto medio área donde se encuentra la cosechadora; Punto final: área de succión, además también se identificaron los puntos críticos de afectación por el cangrejo donde se observó la presencia de madrigueras.
- Evaluación y comparación en campo de los sitios preseleccionados para la instalación de las trampas; se escogieron los sitios donde se evidenció mayor presencia de madrigueras.
- Se instalaron las trampas Zreal y Accesotech en las orillas en dos puntos dentro de la dársena como se describen a continuación:
- Punto 1: cerca al área de succión (donde está la estaca) un sitio de fácil acceso.
- Punto 2: cerca de la bocatoma norte por la entrada del río Bogotá ya que este fue uno de los sitios con mayor presencia de madrigueras.
- Las trampas fueron arrojadas desde la orilla utilizando como cebo 150 gr de grasa de res, el cual ha sido probado en otros ambientes con excelentes resultados, cada trampa se amarró a la vegetación cercana a la orilla y se dejaron actuar por tres horas, después de este tiempo las trampas se revisaron.
- También se probaron los anzuelos como métodos activos para la captura del cangrejo, los cuales también se dejaron amarrados a la vegetación por un lapso de tres horas, tiempo después del cual se sacaron para su revisión.
- Toma de datos físico-químicos *in-situ* en los mismos puntos donde se instalaron las trampas. Los datos se encuentran consignados en el formato 4.7 (Anexo 2.1).
- Desde el componente de SST se realizó la entrega de kit de bioseguridad (gel, alcohol, tapabocas N95 y careta) al personal para garantizar medidas de prevención durante la salida del COVID-19.
- Se realizó la entrega de elementos de protección personal (casco, gafas, impermeable y fontanero) para el desarrollo de las actividades de campo.
- Se realizó inspección de vehículos, kit de emergencias y botiquín, como cumplimiento al plan de trabajo de seguridad y salud en el trabajo.
- Se realizó una charla antes del inicio de las actividades en campo sobre la identificación de riesgos y peligros en el área a desarrollarse la salida de campo.

Tabla 9. Caracterización parámetros *in-situ* vista 1 de junio, Dársena de Tibitoc.

Hora	Coordenadas		pH	T. Ag (°C)	T. Am (°C)	OD (ppm)	C (us/cm)	N° EM	Observaciones
	N	W							
11:17	04.97787 °	073.96400 °	6,68	21,0 6	17	8,68	176,6	1	Punto estaca / área de succión
11:50	04.98330 °	073.96476 °	6,76	18,0 7	17,5	0,99	131,8	2	Bocatoma norte- río Bogotá

14:35	04.9771 °	073.9656°	5	17,0 9	NA	NA	NA	3	Estación de muestreo de la PTAP Tibitoc.
-------	--------------	-----------	---	-----------	----	----	----	---	------------------------------------------

pH: unidades de pH; T. Ag: temperatura del agua; T. Am: Temperatura ambiente; C: Conductividad; N° EM: Número de estaciones de muestreo.

1.1.3 Resultados:

- Aunque se observan las madrigueras, no se pudo observar ningún individuo de cangrejo rojo americano.
- Después de las 3 horas de exposición de las trampas y los anzuelos no fue posible capturar ningún cangrejo.
- Durante el recorrido se nos indicó que el sitio donde está la cosechadora es el lugar autorizado para ubicar la base del equipo de trabajo (carpa y baño).

Durante la actividad se pudo identificar una falla en el equipo multiparámetro que se utilizó en la visita, para la medición del parámetro de oxígeno disuelto ya que la sonda presentaba una falla y no calibraba bien el equipo. No obstante, y al revisar la información histórica de la PTAP de Tibitoc, entregada por la entidad, se pudo verificar que los datos de oxígeno disuelto varían entre 1,5 y 7,9 ppm, lo que indica que el valor registrado está muy cercano a los registros históricos, por lo que el margen de error del equipo utilizado es mínimo, esto para el dato registrado en la zona de succión de la Dársena.

Respecto a los datos tomados en la estación de bombeo, equipo que pertenece a la PTAP de Tibitoc, solo media los datos de pH y Temperatura del agua, por tal motivo los demás datos no se completaron.

1.1.4 Conclusiones:

- Es necesario probar otros tipos de cebo para la captura del cangrejo rojo en la dársena de la PTAP de Tibitoc.
- También se plantea que las nuevas pruebas contemplen diferente tiempo de exposición de las trampas y se evalúe tanto la profundidad como las orillas (ver Anexo 2.2 Formato 4.6 registro de salidas de campo).
- No se generaron incidentes y/o accidentes laborales en el desarrollo de la visita de campo.
- De acuerdo a las inspecciones realizadas se deduce que se ha dado cumplimiento a los requisitos mínimos establecidos en el SG-SST para los vehículos, kit de emergencias y botiquín.
- Se va a verificar la calibración y funcionamiento de los equipos alquilados previo a las visitas siguientes para no presentar alteración en los datos a tomar *in-situ*.
- Las condiciones de calidad de agua medidas *in-situ* respecto a los datos históricos fueron muy similares.

1.2. Visita 2: pruebas de diferentes tipos de cebos y evaluación de los tipos de hábitat (profundidad y orilla).

La segunda visita a la dársena de la PTAP de Tibitoc se realizó entre los días 23 y 24 de junio del 2021, contó con la participación del equipo técnico del acueducto encabezado por la supervisora del contrato la ingeniera Nubia León y Diana Villamil profesional de la Dirección de Ingeniería Especializada (DIE).

Por parte de la OLFRSI asistieron a la salida la directora del proyecto la Dra. Elisabeth Jiménez, la coordinadora: Gina Romero, el Coordinador de campo: Julián Benavides, el ingeniero ambiental: Julián Wilches, los biólogos: Isabella González, Catalina Sarmiento, Fabián Mesa y Mabel Pimiento, la auxiliar SST Patricia Silva y Rosaneth Angarita.

1.2.1 Objetivos:

- Definir las estaciones de muestreo dentro de la Dársena.
- Realizar las pruebas de las trampas (Zreal y Accesotech) con diferentes tipos de cebo.
- Comparar la efectividad de las trampas y los cebos en dos tipos de hábitats (profundidad y orilla).
- Evaluar la efectividad de captura de las trampas con diferente tiempo de exposición.
- Identificar las necesidades de protección y cuidados para prevenir los riesgos durante el trabajo de campo desde el área de SST.
- Registrar los parámetros físico-químicos *in-situ*. Los datos se encuentran consignados en el formato 4.7 (Anexo 2.1).
- Se realizó entrega de dotación (pantalón y camisa de trabajo) para el desarrollo de la visita de campo y de igual manera se entrega dotación (casco, gafas y fontanero) al personal nuevo.
- Se realizó inspección locativa, inspección del bote y pre operacionales a los vehículos con el fin de garantizar el desarrollo de la visita de campo de manera segura.
- Se entregó el kit de bioseguridad al personal nuevo, para cubrir el 100% de los colaboradores con el kit para garantizar su lavado de manos y desinfección durante la salida de campo.

1.2.2 Actividades:

De acuerdo con la visita realizada el día 22 de junio con los funcionarios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, se estableció los polígonos donde se harían los muestreos y captura del cangrejo rojo americano, se determinaron tres estaciones de muestreo, la primera cerca al área de succión de la Dársena, la segunda en la entrada del río Bogotá y la tercera en la zona donde se encuentra la cosechadora.

- a) Estación de muestreo: Cerca al área de Succión.

En este polígono, se realizó la instalación de seis varillas de hierro con banderillas que permitió la señalización y asegurar con nylon cada una de las trampas, estas debieron ser ancladas en el suelo en las orillas y con una distancia entre cada una de 5 m. En el proceso de la ubicación de la línea de trampas, se presentaron algunas dificultades por la altura y densidad de los pastos de la zona que impedían la visualización del terreno especialmente de las pendientes pronunciadas de algunos de los bordes de la Dársena.

Al interior de las trampas (3 trampas Zreal-3 Trampas Accesotech) se introdujo un recipiente plástico agujereado (cebador) con los tres tipos de cebos (alimento procesado para felino, cabezas de pescado maceradas y grasa de res) para evaluar eficiencia de captura tanto del tipo de trampa como del cebo; siendo ubicadas de la siguiente manera:

Trampa N°1- Accesotech con cebo de grasa de res

Trampa N°2-Zreal con cebo de alimento procesado para felino

Trampa N°3-Accesotech con cebo de cabezas de pescado maceradas

Trampa N°4-Zreal con cebo de grasa de res

Trampa N°5-Accesotec con cebo de alimento procesado para felino

Trampa N°6-Zreal con cebo de cabezas de pescado maceradas

Las trampas a medida que se sumergían, se tomaba registro de la hora de la instalación para asegurar los tiempos de la línea de trampas a evaluar, los tiempos evaluados correspondieron a tres horas, seis horas y 24 horas. Cumplidos los tiempos se sacaban hacia los bordes para revisar cada trampa; la revisión consistió en el registro fotográfico, verificación del tipo de sexo de los cangrejos y finalmente su respectiva liberación en cada zona tanto de los cangrejos como los organismos en captura incidental. Los resultados de cada uno de los periodos de tiempo verificados se encuentran relacionados en la tabla 2 y en el registro fotográfico.

b) Entrada Río Bogotá

En esta segunda estación también se instalaron 6 varillas de hierro ancladas al suelo cerca al talud como punto de amarre de cada una de las trampas a utilizar, para esto fue necesario abrir paso en el terreno utilizando un machete para cortar la gran cantidad de pasto que había en la zona, el cual impedía el paso, la visibilidad y dificultaba el trabajo del personal afectando su seguridad para el desarrollo de esta actividad. Seguido a este proceso, se instalaron las varillas, enterrando cada una con una separación de 5 m una de la otra.

Posteriormente, se prepararon cada una de las trampas (tres Accesotech y tres Z-real) con los distintos cebos (alimento procesado para felino, pescado y grasa de res), para luego ubicarlos en la orilla de la Dársena de la siguiente manera:

Trampa Z-Real con cebo de alimento procesado para felino

Trampa Accesotech con cebo de alimento procesado para felino.

Trampa Z-Real con cebo de pescado.

Trampa Accesotech con cebo de pescado.

Trampa Z-Real con cebo de grasa de res.

Trampa Accesotech con cebo de grasa de res.

Cada una de las trampas, estaba sujeta a las varillas previamente mencionadas; seguido de la preparación de las trampas, cada una de ellas fue instalada y sumergida, registrando la hora de instalación; el conjunto de las seis trampas, se dejaron por un periodo inicial de tres horas, seguido por un periodo de seis horas, y finalmente se dejaron por un periodo de 24 horas. Los resultados de cada periodo se registraron en la Tabla 2 Resultados de captura en cada uno de los sitios establecidos.

En esta estación también se realizó muestreo de profundidad como se describe para la estación de la cosechadora, en este punto la profundidad de la dársena varió entre 1m y 1.8 m.

c) Cosechadora.

En este punto de inspección, el cual estaba dispuesto para hacer muestreos de profundidad de manera perpendicular al flujo del agua, la recolecta se realizó de la siguiente manera: se instaló una varilla con bandera de marca en una de las orillas, posteriormente usando el bote se atravesó el cuerpo de agua llevando una cuerda de 6 mm la cual, se determinó para atravesar de lado a lado en esta zona de la dársena. En la otra orilla, se puso una varilla con bandera de la cual se sujetó la cuerda. Después, se instalaron seis trampas, con 10 metros de distancia entre ellas, las cuales se sujetaron a la cuerda principal con su respectiva boya indicadora. Las trampas Accesotech y Zreal se colocaron de la siguiente manera:

Trampa 1: Zreal con cebo de res

Trampa 2: Accesotech con cebo de res

Trampa 3: Zreal con alimento de gato

Trampa 4: Accesotech con alimento de gato

Trampa 5: Zreal con cabezas de pescado

Trampa 6: Accesotech con cabezas de pescado

En el lugar donde fue dispuesta cada trampa se tomó la profundidad en el punto exacto con la sonda de profundidad, con el fin de tomar registro de las capturas; las profundidades en esta zona variaron entre 5 m y 5.8 m.

Las trampas se dejaron tres horas, seis horas y 24 horas. Cada vez que se cumplía el tiempo se sacaban del agua, se hacía el registro de los organismos colectados si había y luego se devuelven al agua hasta que completaran el tiempo final.

1.2.3 Resultados:

A continuación, se hace una breve descripción con base en el registro fotográfico de los resultados del muestreo realizado durante la segunda visita.

3 horas de trampas instaladas: polígono 1-cerca al área de succión:



Foto 1. Trampa N°4 Accesotech- cebo alimento procesado para felino – 1 individuo hembra

3 horas de trampas instaladas: polígono 2 entrada del río Bogotá



Foto 2. Trampa N°6 Accesotech- Cebo grasa de res– 1 individuo macho

6 horas de trampas instaladas: Polígono 1-cerca a área de succión:

No hubo organismos capturados en trampa.

6 horas de trampas instaladas: polígono 2 entrada del río Bogotá

No hubo organismos capturados en trampa.

24 horas de trampas instaladas: polígono 1-cerca a área de succión



Foto 3. Trampa N°1 Accesotech- Cebo grasa de res: Se capturaron 3 peces Carpa- Ningún Cangrejo

Trampa N°2 -Zreal - cebo de alimento procesado para felino: 1 cangrejo capturado: Hembra



Foto 4. Trampa N°3 Accesotech - cebo cabezas de pescado maceradas: 1 Cangrejo capturado Macho, se presenta captura de una guapucha - *Grundulus bogotensis*



Foto 5. Trampa N°4 Zreal- Cebo grasa de res: No hubo individuos capturados.



Foto 6. Trampa Nª 5 Accesotech con cebo de alimento procesado de felino: 2 cangrejos capturados machos



Foto 7. Trampa N^o 6 Zreal cebo cabezas de pescado maceradas: 1 Cangrejo Macho capturado- Pez atrapado en tenaza de cangrejo.

Para el área de succión a las 24 horas, se observó que en los cebos que son de origen animal no procesado (Cebo de res y cabezas de pescado), son más propensos a caer peces como *Cyprinus carpio* y *Grundulus bogotensis*. Estos cebos, aunque atraen al cangrejo representan un porcentaje de captura incidental mayor que con el cebo de alimento procesado para felinos, por tal razón, no sería el más indicado para usar en el caso de hacer control de cangrejo rojo, ya que en el caso de un trampeo mayor para el protocolo de control se podrían ver afectadas las especies de peces nativos presentes en la dársena.

También se observó que los niveles del agua en la dársena cambian a lo largo del día y que esto puede afectar el muestreo en especial de las trampas Zreal dispuestas en la orilla, al momento de ser puestas en el agua quedaban sumergidas, sin embargo, al pasar las 24 horas, al menos 2 de las 6 trampas quedaron por fuera del agua, razón por la cual ningún organismo puede detectar la carnada y entrar.

24 horas de trampas instaladas: polígono 2 entrada del río Bogotá



Foto 8. Trampa N°1 Zreal – cebo alimento procesado para felino: 1 cangrejo macho capturado



Foto 9. Trampa N°2 Accesotech - Cebo alimento procesado para felino: 2 cangrejos capturados macho.



Foto 10. Trampa N°3 Zreal con cebo de cabezas de pescado maceradas: 1 cangrejo macho capturado



Foto 11. Trampa N°4 Accesotech con cebo de cabezas de pescado maceradas: 1 cangrejo macho capturado



Foto 12. Trampa N°5 Zreal con cebo grasa de res: No hubo individuos



Foto 13. Trampa N°6 Accesotech con cebo grasa de res: No hubo individuos capturados

Los resultados indican que en el punto denominado “cosechadora”, no se hizo captura cangrejo rojo, ni otros organismos que habitan el cuerpo de agua como peces (Tabla 10). Este punto en particular, era el más profundo (>5m) en comparación al área de succión, donde también se hizo inspección en zona limnética de la dársena. Todas las trampas que se colocaron allí, estuvieron a mínimo 5 metros de profundidad. Aunque se usaron diferentes tipos de trampas y cebos, y, las distancias fueron amplias entre trampas, no se capturó nada a esta profundidad.

Tabla 10. Resumen de los resultados de captura en cada uno de los sitios establecidos.

Estación de muestreo	Esfuerzo de muestreo	Orilla						Profundidad						TOTAL
		Accesotech			Z-Real			Accesotecn			Z-Real			
		GR	PG	P	GR	PG	P	GR	PG	P	GR	PG	P	
1. Cerca al área de succión	3 horas	0	1 H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	6 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24 horas	3 ∞	2 M	1 M 1 Δ	0	1 H	1 M	0	0	0	0	0	0	5
2. Entrada del río Bogotá	3 horas	1 M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	6 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24 horas	0	2 M	1 M	0	1 M	1 M	1+	0	0	2+	0	0	5
3. Cosechadora	3 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24 horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	12 individuos H: 2 M: 10	1	5	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	

Tipos de cebos: GR: grasa de res; PG: purina de gato; P: cabezas de pescado; H: Hembra; M: Macho; Δ *Grundulus bogotensis* (1); ∞ Carpa (3); + *Eremophilus mutisii* (2)

1.2.4 Actividad de toma de datos *in-situ*

Se realizó la toma de parámetros fisicoquímicos *in-situ*, en cada uno de los sitios establecidos en la visita del 22 de junio y que son los mismos donde se instalaron las trampas en la Dársena, el muestreo se realizó apenas se culminó la instalación de las trampas en cada sitio para verificar las condiciones del agua en el momento (tabla 11).

Tabla 11. Caracterización parámetros *in-situ* vista 23 de junio, Dársena de Tibitoc.

Hora	Coordenadas		pH	T. Ag (°C)	T. Am (°C)	OD (ppm)	C (us/cm)	N° E M	Observaciones
	N	W							
11:57:00	04,9834 7°	073,9671 3°	6,51	17,6	15,4	0,73	277	2	Entrada Río Bogotá

13:50: 00	04,9781 9°	073,9674 1°	6,42	17,5	15, 8	5,13	271	1	Cosechador a
14:49: 00	04,9807 2°	073,9646 8°	6,97	19,6	14, 3	5,96	283	3	Cerca al área de succión.

pH: unidades de pH; T. Ag: temperatura del agua; T. Am: Temperatura ambiente; C: Conductividad; N° EM: Número de estaciones de muestreo.

1.2.5 Resultados de los Datos *in-situ*

Para esta visita, se contó con un nuevo equipo multi – parámetro para la medición de los parámetros *in-situ*, dando como resultado valores similares en la calidad de agua para los tres puntos establecidos y a los evidenciados en la visita 1, y que están acorde con los datos históricos de la PTAP, lo que indica una estabilidad en las condiciones de calidad de agua en el sistema de tratamiento durante el mes.

Estos valores más adelante serán verificados con los datos del laboratorio de la PTAP para verificar en qué afecta o mejora dichas condiciones en el sistema de tratamiento en general.

1.2.6 Conclusiones:

- A partir del trabajo realizado en la segunda visita de inspección, se pudo establecer, las zonas de muestreo estratégicas para el estudio del cangrejo rojo americano (ver anexo 2.3 Formato de registro de salidas de campo).
- Con base en las pruebas realizadas en la segunda visita de inspección se logra verificar que la trampa Accesotech y el cebo de alimento procesado para felino, permiten una mayor captura de individuos de cangrejo rojo americano.
- Las carnadas de origen animal que no son procesados como el cebo de res y las cabezas para pescado, fueron un fuerte atrayente para otras especies asociadas al cuerpo de agua como la carpa (*Cyprinus carpio*), la guapucha (*Grundulus bogotensis*) y el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*, por tal razón, y bajo los resultados obtenidos, se recomienda no usar estas carnadas ya que aumentaría el número de capturas incidentales, lo que podría afectar a las especies nativas durante un muestreo más intensivo.
- Se recomienda realizar el muestreo del cangrejo rojo únicamente en las orillas de la dársena al ser esta la zona en la que ocurrió el mayor número de capturas.
- El trabajo con cangrejo rojo, está sujeto a las variables ambientales, como la baja temperatura del agua y precipitaciones, lo que podría influir en los resultados del muestreo.
- Es necesario tener en cuenta que los niveles del agua en la dársena fluctúan ampliamente a lo largo del día (aprox. 40 cm) y esto influye en que las trampas no queden totalmente sumergidas como se espera. Es necesario para los próximos muestreos tener en cuenta esta variable propia de las condiciones de la dársena, para minimizar los errores con la puesta de las trampas.
- Desde el componente SST se concluye que durante la segunda visita de campo se obtiene el cero (0) incidentes y accidentes laborales.
- Se determina que se dio cumplimiento a las medidas de prevención para el COVID-19 establecidas dentro del protocolo de bioseguridad del contrato.

- Como resultado y análisis de las inspecciones se concluye el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos dentro del SG-SST del proyecto.
- Para la segunda visita se puede verificar que los datos *in-situ* obtenidos se ajustan a los datos históricos entregados por la entidad, y que el comportamiento del agua se mantiene estable en cada uno de los puntos de muestreo, situación que es acorde a los datos arrojados en la visita del 1 de junio.

2. DISEÑO METODOLÓGICO PARA EVALUAR LA BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO Y ESTABLECER UN PROTOCOLO DE CONTROL PARA ESTA ESPECIE EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIBITOC.

El diseño metodológico que se propone en este documento busca dar respuesta a los tres objetivos principales del proyecto “Estudio de los Parámetros Poblacionales del Cangrejo Rojo Americano (*Procambarus Clarkii*) en la Dársena de la Planta Tibitoc”; estos tres objetivos se relacionan con:

- Generar información de línea base de los parámetros poblacionales como la densidad poblacional, la proporción de sexos, la estructura de tallas y los aspectos reproductivos del cangrejo rojo en la dársena, además de aportar información sobre la dieta del cangrejo rojo.
- Medir las variables físico-químicas, microbiológicas e hidrobiológicas que puedan estar afectando o favoreciendo la presencia del cangrejo rojo en la dársena.
- Establecer un protocolo para el control de esta especie en la dársena.

A continuación, se presenta el ajuste al diseño metodológico con base en los resultados de las visitas 1 y 2 a la dársena de la PTAP de Tibitoc.

2.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Con base en las dos vistas de campo realizadas en el mes de junio, se identificaron las áreas dentro de la dársena donde se instalarán las trampas para el muestreo del cangrejo rojo americano.

Estas áreas o estaciones de muestreo se seleccionaron con base en los siguientes criterios:

- Presencia de madrigueras, las madrigueras son indicador de que el cangrejo rojo americano está presente en el lugar
- Presencia y abundancia de macrófitas, se ha documentado en la literatura que el cangrejo rojo está asociado a la presencia de macrófitas pues estas hacen parte de su dieta.
- Acceso, es importante que los sitios seleccionados sean de fácil acceso para la instalación de las trampas con el fin de hacer más eficiente el trabajo y evitar posibles accidentes.

Con base en estos criterios se escogieron tres estaciones de muestreo, identificados en la figura 1 como polígonos 1, 2 y 3; el polígono uno (1) representa la estación de muestreo más cercana al área de succión, el polígono dos (2) corresponde a la estación de muestreo de la entrada del río Bogotá y en el polígono tres (3) se encuentra la estación de muestreo de la cosechadora, en el mapa también se representa la disposición de las trampas para la evaluación de los tres objetivos del proyecto (figura 18).

MAPA GENERAL- LOCALIZACIÓN DE TRAMPAS PARA EL MUESTREO

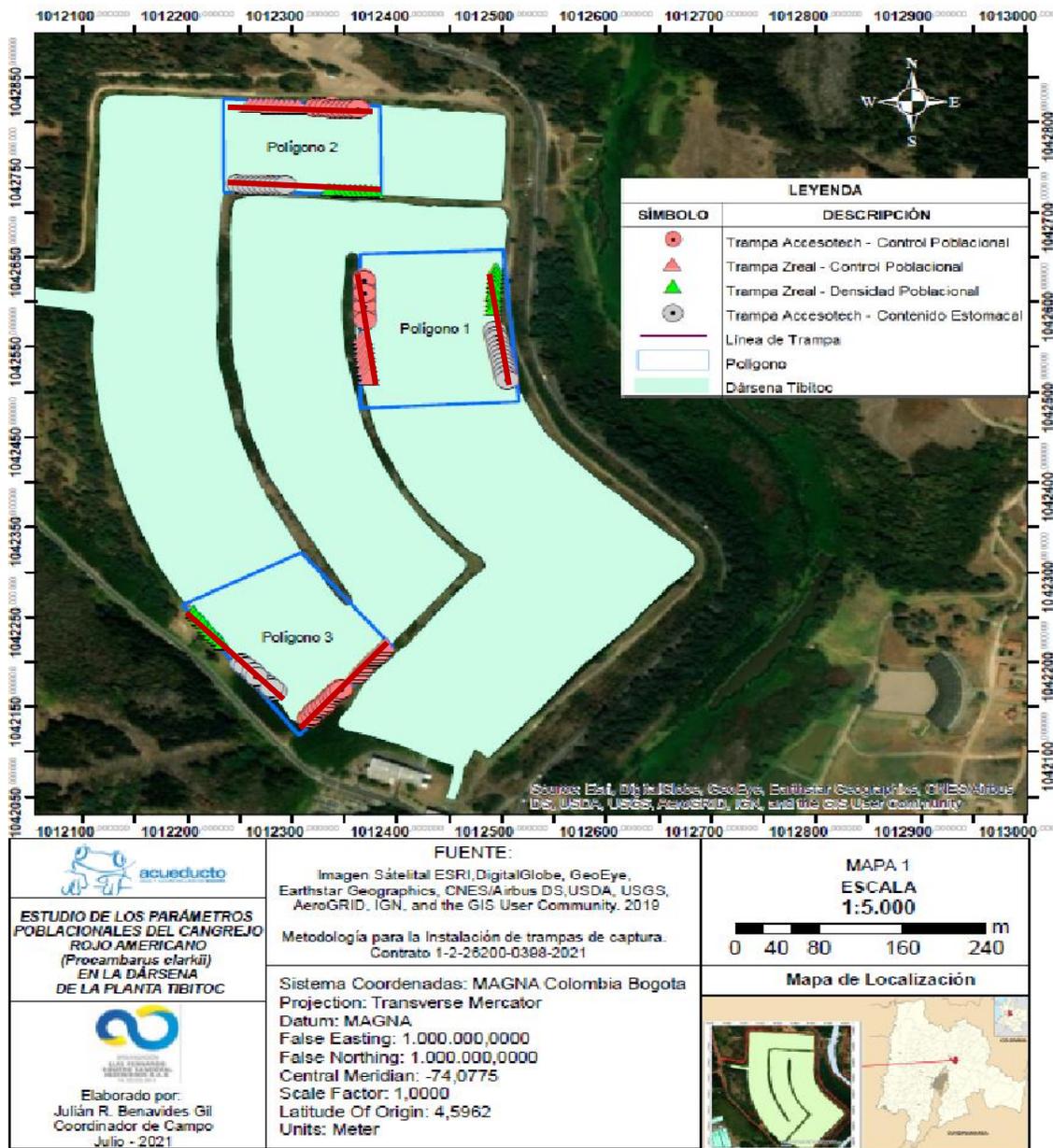


Figura 18. Ubicación de las estaciones de muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

2.2 PARÁMETROS POBLACIONALES

Los parámetros poblacionales son un indicador que nos permite evaluar o valorar una población en términos de la densidad poblacional, la proporción de sexos, la estructura de edades y la morfometría (Rodríguez, 2011). La evaluación de estos parámetros mínimos permite determinar características de la población objetivo como los tamaños corporales en

los cuales se alcanza la madurez, su abundancia en un ecosistema, la frecuencia de las tallas y las posibles épocas reproductivas. Para el caso del cangrejo rojo americano se evaluarán los siguientes parámetros poblacionales:

2.2.1 DISEÑO PARA EL MUESTREO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

La densidad poblacional se evaluará con Trampas Zreal (Figura 19), estas trampas pueden tener mayor efectividad al momento de realizar la captura de cangrejos. De acuerdo a Pfister & Romaire (1983), una trampa con mayor número de entradas puede tener mayor probabilidad de captura. Aunque hay otros factores como la corriente en la columna de agua, la posición de la entrada del cangrejo a la trampa, el cebo y el poro de malla, que pueden afectar la efectividad de captura de cangrejo y las diferentes tallas.

La densidad poblacional será medida con el número de cangrejos recolectados en cada una de las trampas por estación de muestreo. Para esto, se aplicará la fórmula de Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de dos maneras: 1. N° cangrejos / trampa y N° cangrejos / estación de muestreo, con ello se podrá evaluar esta medida comparando entre estaciones de muestreo (Arana, 2000).



Figura 19. Trampa Zreal. Fuente: cdir.com.br

Se realizarán tres (3) salidas de campo, en el mes tres (3), cinco (5) y siete (7) del contrato No.1-2-2600-038-2021. Durante cada salida de campo, se muestrearán las mismas estaciones de muestreo, las cuales se ubicarán en el área de la dársena de la PTAP-Tibitoc. En total se establecerán tres (3) estaciones de muestreo, georreferenciados usando un GPS de mano marca Garmin. En cada una de las estaciones, se instalará una línea de 10 trampas aseguradas a un marcador afuera en la orilla para marcaje, en posición paralela al flujo del agua, en la parte litoral, ubicadas a 5 m una de la otra. Cada trampa tendrá en su interior un recipiente plástico agujereado (cebador) con alimento procesado para felino

como atrayente, por ser uno de los cebos probados en visitas de reconocimiento como el más atractivos de cangrejo rojo (ver figura 20). Esta actividad contará con un esfuerzo de muestreo de veinticuatro (24) horas, después de las cuales se retirarán las trampas.

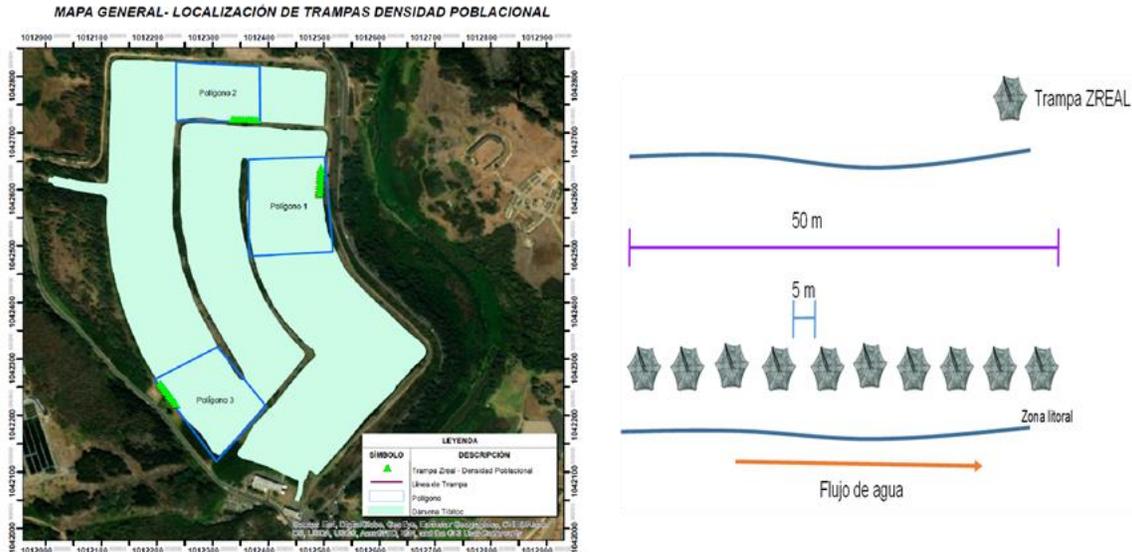


Figura 20. Diseño de muestreo con trampas Zreal para evaluar densidad poblacional y otros parámetros de la especie *Procambarus clarkii*. Fuente: Elaboración propia

Los individuos capturados de cada trampa se separan en bolsas plásticas de alto calibre, las cuales serán marcadas con la codificación respectiva, como por ejemplo M1E1T1CC#, donde M: N° muestreo, E: Estación de muestreo respectivo, T: N° Trampa, #: Número asignado al individuo. Los registros de información *in-situ* y del procesamiento de las muestras biológicas serán registradas en el formato para el registro de la evaluación de densidad poblacional del cangrejo rojo americano (FORMATO 4.3 entregado con el plan de calidad).

Traslado: Los individuos de cangrejo rojo americano capturados en la PTAP de Tibitoc, serán depositados en canecas plásticas con tapa de 20 galones, a las cuales se les agregará hielo seco para reducir el estrés postcaptura y la actividad metabólica. Luego, serán transportados en los vehículos contratados por la empresa hasta los laboratorios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), el material biológico será depositado en un congelador horizontal no frost de -20°C , que se encuentra en dicho laboratorio. El material biológico será procesado (estudiado) y mantenido congelado hasta realizar la entrega al gestor autorizado (EMIR-Empresa regional para el manejo integral de residuos) por la UPTC.

Sacrificio: Los especímenes serán sacrificados por descenso en actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura. Para ello, se dispondrán los cangrejos en un congelador a -20°C , según lo recomendado en el Plan de Manejo y Control del Cangrejo

Rojo Americano (*Procambarus clarkii*), en la jurisdicción CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2016), como también en el Manual de Buenas Prácticas para la conservación del Cangrejo de Río Común (Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, 2010).

Preservación: Los cangrejos se almacenarán en bolsas plásticas de alto calibre para congelación a una temperatura a -20°C con su respectiva codificación.

Para medir los parámetros poblacionales los cangrejos se descongelarán a temperatura ambiente a partir de las muestras por trampa de manera gradual (Figura 20).

2.2.2. DIFERENCIACIÓN SEXUAL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

Con el fin de diferenciar el sexo del organismo, se dispondrá cada individuo en posición ventral para diferenciar sus estructuras reproductivas (Figura 21) La diferenciación se hace dependiendo de los poros genitales y otras estructuras (Figura 21). Las hembras poseen aberturas genitales en el tercer par de pereiópodos y los apéndices abdominales del primer y segundo par de pleópodos son vestigiales o inexistentes. Los machos tienen un órgano copulador formado por la modificación del primer y segundo par de pleópodos (gonopodios), la presencia de ganchos copuladores está en el tercer y cuarto par de pereiópodos y las aberturas genitales se encuentran en el quinto par de pereiópodos (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017).

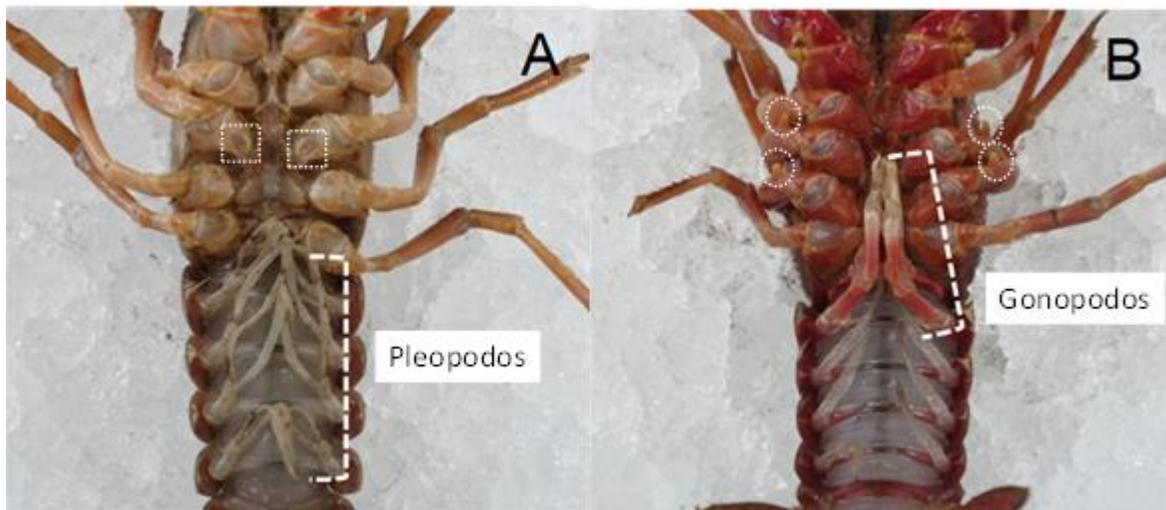


Figura 21. Diferencias en las estructuras de machos y hembras. A. Hembras y B. Machos. En cuadros punteados se muestra la apertura de los oviductos en el tercer par de pereiópodos. En círculos punteados se muestran los ganchos copuladores. (Modificado de Hamasaki et al., 2020).

Al diferenciar hembras de machos, se hará una categorización con el fin de determinar el estado de madurez de cada sexo.

HEMBRAS

Las hembras se dividirán en cuatro categorías principales para determinar su estado de madurez.

- **Categoría 1. Hembras inmaduras:** Son aquellas que aún no superan los 6 cm de longitud total, por tanto, aún no alcanzan la madurez (Rodríguez-Almaraz, 1992).
- **Categoría 2. Hembras sin huevos:** Las hembras superiores a 6 cm de longitud total que no presentan huevos de manera externa (adheridos a la parte inferior en los pleópodos o apéndices abdominales) ni interna (cuando se hace disección del cefalotórax).
- **Categoría 3. Hembras Ovígeras:** Hembras que presentan huevos en estado de desarrollo interno (al diseccionar las hembras se encuentran los huevos en el cefalotórax).
- **Categoría 4. Hembras postovígeras:** Hembras con presencia de huevos y/o crías en desarrollo en los pleópodos o apéndices abdominales.

MACHOS

Los machos de acuerdo a su estado de desarrollo se distribuirán en las siguientes categorías:

- **Categoría 1. Machos inmaduros:** Aquellos individuos que estén por debajo de los 6 cm de longitud total y que no presenten ganchos copuladores visibles (Rodríguez Almaraz, 1992).
- **Categoría 2. Machos maduros:** Individuos con presencia de ganchos copuladores bien desarrollados y que superen los 6 cm de longitud total (Rodríguez-Almaraz, 1992).

2.2.3. MÉTODOS PARA MEDIR LA MORFOMETRÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

En paralelo a la revisión del estado de madurez, se realizarán medidas morfométricas y el pesaje a los cangrejos recolectados. Las medidas a tener en cuenta serán:

- Largo Total (LT): El cual se toma desde la punta del rostrum hasta el final del telson (Arias-Pineda et al., 2020).
- Largo del Cefalotórax (LC): Se toma desde la punta del rostrum hasta el final del cefalotórax (Arias-Pineda et al., 2020).
- Ancho del Cefalotórax (AC): Medido en la parte media del cefalotórax (zona ancha) (Arias-Pineda et al., 2020).

- Ancho del abdomen (AA): Medido en el primer somito abdominal (ver figura 22) (Hamasaki et al., 2020).
- Peso húmedo del cangrejo (PHC) (Arias-Pineda et al., 2020).

Las medidas morfométricas, se harán con un calibrador digital registrando las medidas en mm; para la medición del peso se empleará una balanza analítica, la unidad de medida en gramos.

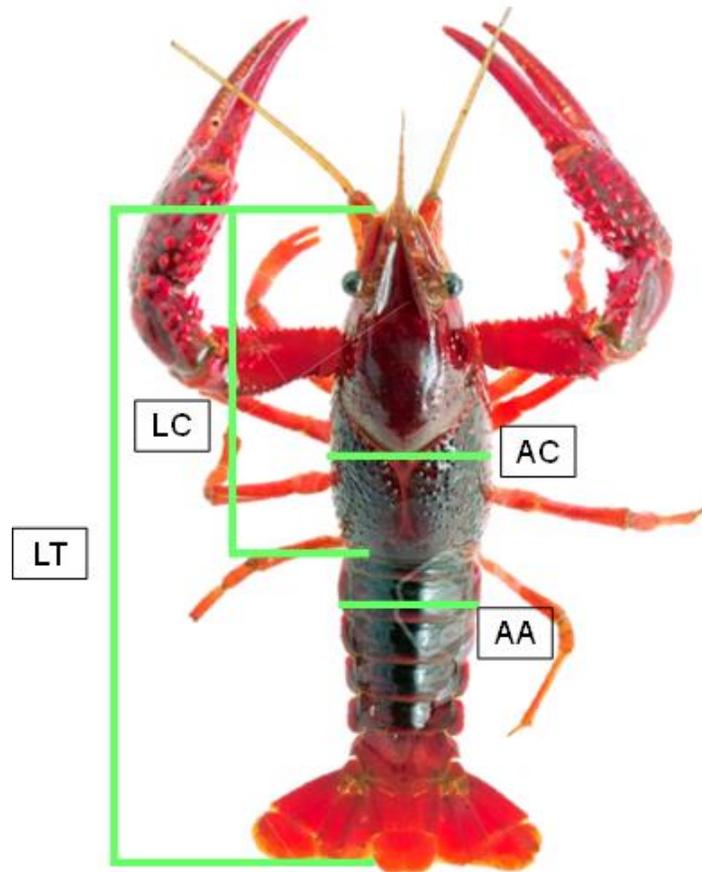


Figura 22. Diagrama con medidas morfométricas que se tomarán al cangrejo rojo americano (*P.clarkii*). En líneas verdes se muestran las medidas a evaluar: Longitud total (LT), Longitud del cefalotórax (LC), Ancho del cefalotórax (AC), Ancho del abdomen (AA).

Fuente: Tomado y modificado de https://www.123rf.com/photo_47135463_crayfish-procambarus-clarkii.html.

Otras medidas del cuerpo como ancho y largo de la pinza no serán evaluadas, ya que estas se han usado para hacer diferenciación por estados de desarrollo del cangrejo rojo americano, cuando no hay la posibilidad de colectarlos y verificar sus estructuras internas (Hamasaki et al., 2020). En este caso, como se hará la evaluación por diferenciación sexual como se planteó anteriormente en el documento y se revisarán las estructuras internas, lo cual es más exacto, estas medidas no son necesarias.

2.2.4. MÉTODOS PARA MEDIR LA ESTRUCTURA DE TALLAS DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

La composición de tallas se hará con la metodología propuesta por Rodríguez-Almaraz (1992). Esta consiste en tomar una medida de largo del cefalotórax con intervalos de 5 mm de diferencia. En este caso mediante un histograma se mostrará en el eje X: los intervalos derivados de los organismos y en el eje Y: la frecuencia (No. de individuos dentro de cada intervalo). Esto se hará para cada sexo y para cada salida campo. En estas gráficas se determinarán los organismos con tamaño adulto (>6 cm).

Posteriormente, se utilizará el parámetro CL para obtener la distribución de frecuencias a partir de la composición de tallas estimadas de 5 mm. Para esto se usará el programa FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT-II) (Gayanilo et al., 2005; Mistri et al., 2019), con el cual se podrán obtener las constantes necesarias para generar la ecuación de Von Bertalanffy, para parámetros de crecimiento. Esto se evaluará por salida de campo y por sexos.

$$L(t) = L^{\infty} [1 - \exp(-k(t - t_0))]$$

Donde,

L(t): es la longitud a la edad t

L[∞]: longitud asintótica (igual a Lmax/0,95, donde Lmax es la longitud máxima registrada)

k: parámetro de curvatura

t₀: parámetro de condición inicial (matemáticamente cuando las muestras tienen CL = 0).

A partir de los datos obtenidos del programa FISAT se obtendrá la longevidad esperada la cual da una aproximación al tiempo de vida del cangrejo rojo. Para ello, se usará la siguiente ecuación:

$$t_{max} = (3/k) + t_0$$

Donde,

t_{max}: tiempo máximo de vida

k: parámetro de curvatura obtenido de la ecuación de Von Bertalanffy

t₀: parámetro de condición inicial (matemáticamente cuando las muestras tienen CL = 0) obtenido de la ecuación anterior.

2.2.5. ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

Otros aspectos reproductivos de la especie de cangrejo rojo americano que se tomará en cuenta serán el índice gonadosomático y el índice hepatosomático. Estos dos índices son indicadores de paso de reservas energéticas desde el hepatopáncreas en cangrejos hacia las gónadas. Estos índices también están relacionados con la actividad reproductiva y la muda. En otros crustáceos decápodos como *Cherax quadricarinatus*, se ha demostrado una relación inversa entre los índices donde las reservas de hepatopáncreas las usa el organismo para poder madurar las gónadas (Rodríguez-González et al., 2006; Medina et al., 2019).

2.2.5.1. Índice gonadosomático

Se tomarán las hembras que estén en categoría 3 de madurez sexual (Hembras Ovígeras: Hembras que presentan huevos en estado de desarrollo interno) y machos en categoría 2 (Machos maduros: Individuos con presencia de ganchos copuladores bien desarrollados y que superen los 6 cm de longitud total). Antes de retirar las gónadas del cuerpo se tomará el peso del organismo sin tenazas (PHsT). Se sacarán las gónadas y se pesarán en una balanza analítica de precisión. Con esta información se calculará el índice gonadosomático así (Ferré et al., 2012):

$$\text{IGS} = \text{PG} / \text{PHsT} * 100$$

Donde IGS= índice gonadosomático

PG= Peso de las gónadas

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.

Para el índice gonadosomático solo se tomará a las hembras de categoría 3, ya que las hembras que son postovígeras en ese momento del tiempo no tienen desarrollo gonadal interno, al encontrarse en un periodo parental.

2.2.5.2. Índice hepatosomático

Para este índice se tomarán hembras y machos de todas las categorías sexuales. Antes de retirar el hepatopáncreas del cuerpo, se tomará el peso del organismo sin tenazas (PHsT). Se retirará el hepatopáncreas y se pesarán en una balanza analítica de precisión. Con esta información se calculará el índice hepatosomático así (Ferré et al., 2012):

$$\text{IHS} = \text{PH} / \text{PHsT} * 100$$

Donde IHS= Índice hepatosomático

PH= Peso del hepatopáncreas.

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.

2.2.5.3. Conteo de huevos

El conteo de los huevos internos se hará sobre los individuos (hembras) de categoría 3 con el uso de un estereoscopio de 40 X de aumento. Los huevos externos se medirán con un calibrador digital, en hembras de categoría 4; los huevos externos no se contarán, puesto que las hembras de cangrejo rojo pueden adoptar huevos ajenos que encuentran en el medio. Por otra parte, la manipulación y el transporte hace que los huevos se desprendan y se pierda gran cantidad de ellos (Alcorlo et al., 2008).

2.2.5.4. Índice de maduración

El índice de maduración es un valor que provee información sobre el grado de madurez de las gónadas de las hembras, a partir de su coloración. Para ello, se tomarán las gónadas extraídas de las hembras de cada salida de campo, se les observará su color y se categorizarán por color de la siguiente manera siguiendo la metodología de Guerra y Niño (1996); Anastacio et al., (2009).

Estado K- 1: gónadas blancas

Estado K – 2: gónadas amarillas

Estado K – 3: gónadas naranjas

Estado K - 4: gónadas cafés

Las gónadas de color más intenso, son aquellas que se encuentran en un estado de madurez más avanzado. Después de determinar la categoría por color se empleará el índice de maduración (IM) para cada salida de campo:

$$IM = \sum (\text{estado de } K \text{ de los individuos})/N$$

IM = Índice de madurez

N = número total de las hembras analizadas por salida de campo.

Nota: El número de hembras analizadas dependerá de la eficiencia de captura y en todos los casos el máximo será de 30 individuos.

Los individuos capturados de cada trampa se separan en bolsas plásticas de alto calibre, las cuales serán marcadas con la codificación respectiva, como por ejemplo M1E1AccT1C#, donde

M: N° muestreo

E: Estación de muestreo respectivo

Acc: Trampa Accesotech

T: N° Trampa

C#: Número asignado al individuo.

Los registros de información *in-situ* y del procesamiento de las muestras biológicas serán registradas en el formato para el registro de aspectos reproductivos del cangrejo rojo americano (FORMATO 4.4 entregado con el plan de calidad).

2.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

Los análisis estadísticos se harán por medio de estadística descriptiva y estadística inferencial. Para los datos poblacionales como densidad, estados de madurez y medidas morfométricas se hallarán la media, varianza, desviación estándar y rango, los cuales se representarán por medio de gráficas de frecuencia, cajas y bigotes o tablas dependiendo el caso.

Para realizar las comparaciones de densidad y abundancia de organismos entre estaciones de muestreo y profundidades, se determinarán primero la normalidad de los datos usando test de Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov dependiendo del tamaño de la muestra (Frank, 1951).

Posteriormente, si los datos son normales se aplicará un Análisis de Varianza el cual sirve para determinar si las medias de los grupos (individuos capturados por diferentes estaciones) son significativamente diferentes entre sí o no, para ello se puede aplicar análisis de una vía (Blanca et al., 2017). A partir de los resultados de este análisis se podrá inferir con el p valor que se rechaza la hipótesis nula de igualdad ($p < 0,05$), o que se acepta ($p > 0,05$). Este análisis muestra si son diferentes, pero no exactamente cuál, así que después se aplicará el test de Tukey HSD para observar cuales son las profundidades y estaciones que presentan diferencias (Abdi & Williams, 2010).

Si los datos obtenidos de los muestreos no son normales o paramétricos entonces se aplicará un análogo al Análisis de Varianza. El test de Kruskal Wallis nos permite mirar diferencias usando un método de rangos. Después de observar si se acepta la hipótesis nula de igualdad o se rechaza ($p < 0,05$), se aplica el test de Tukey HSD para observar cual es diferente (Legendre y Legendre, 2003). Estas pruebas estadísticas se usarán para hacer comparaciones en cada uno de los parámetros poblacionales evaluados.

Para los datos de los intervalos de las tallas se harán análisis de frecuencia. Como una adición a los análisis de la estructura de tallas se tomará en cuenta el método de Normsep con el algoritmo Simplex o el método de Bhattacharya (Gayanilo et al., 2005), ambos del FISAT dependiendo de los resultados preliminares de los análisis.

2.3. DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

Una de las técnicas más usadas para evaluar la dieta de diferentes organismos es evaluar su contenido estomacal. El conocimiento de la alimentación de las especies es un punto de partida para el análisis de la estructura de una comunidad y su dinámica de interacciones. Muñoz et al., 2009 afirma, que las dietas pueden variar en el tiempo y en el espacio, siendo en muchos casos complejas de identificar o cuantificar debido al poder triturador de las mandíbulas del cangrejo y la rápida digestión de las partículas finamente trituradas.

2.3.1. DISEÑO DEL MUESTREO PARA LA DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

Para evaluar la dieta del cangrejo rojo americano en zona de la dársena de la PTAP-Tibitoc, se realizarán muestreos en tres estaciones cada una con 10 trampas Accesotech, para un total de 30 trampas por muestreo, el lugar donde se ubicarán las trampas será georreferenciadas con un GPS marca Garmin.

Los muestreos se realizarán en tres (3) salidas de campo, en los meses tres (3), cinco (5) y siete (7) de la ejecución del proyecto. Para realizar el muestreo del cangrejo rojo americano, cada trampa tendrá en su interior un cebo de alimento para gato como atrayente, con un sistema de recipiente plástico agujereado para evitar que los cangrejos consuman este cebo. Luego las trampas serán sumergidas en zona litoral y serán localizadas en la dársena mediante un marcador desde la orilla (Figura 23).

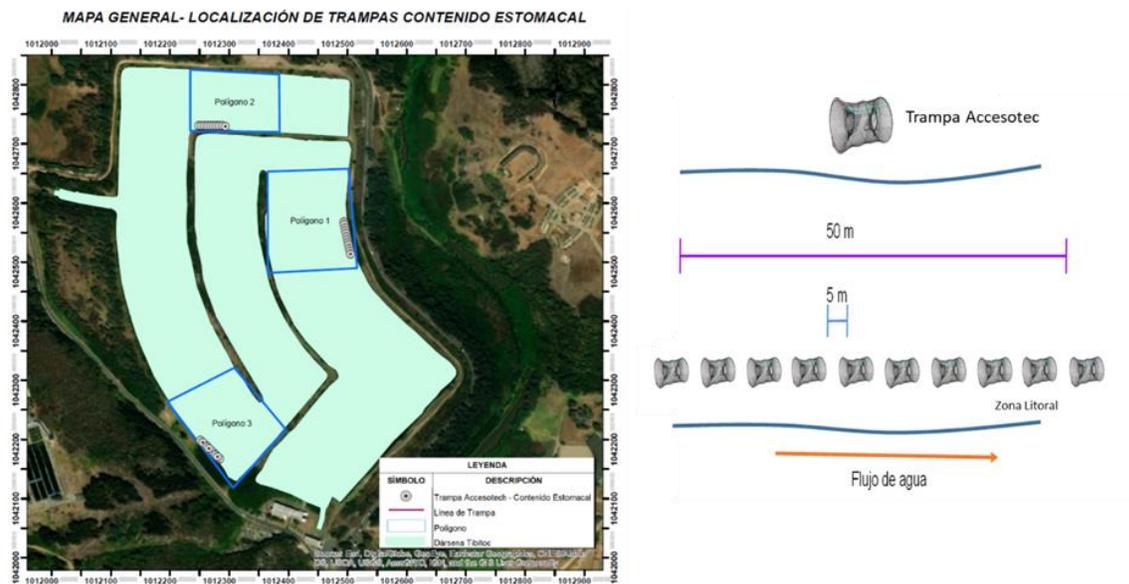


Figura 23. Localización de puntos de muestreo en la dársena de la PTAP-Tibitoc. (La ubicación de los puntos de muestreo se ajustarán de acuerdo a la cantidad de individuos colectados).

Cada trampa tendrá una exposición no mayor a tres (3) horas, para evitar que el alimento que previamente haya consumido el cangrejo no sea digerido por completo; cuando las

trampas cumplan con el tiempo de exposición serán recogidas. Muñoz et al., 2009 recomienda extraer el tracto digestivo a un mínimo de 10 individuos. Sin embargo, para el estudio en dársena se capturarán 10 individuos por estación de muestreo los cuales se separarán en hembras, machos (<60 mm) y juveniles, en total se colectarán 30 individuos en cada muestreo, esto con el fin de tener una muestra representativa y robusta para hacer los análisis estadísticos.

Según Loureiro-Gonçalves et al., 2019 los individuos adultos que se seleccionarán para revisar el contenido estomacal no deben estar en ninguna etapa reproductiva (e.g. hembras grávidas) para reducir la variación fisiológica y ecológica asociado al ciclo de muda y reproducción. Los individuos adicionales que se capturen en las trampas no se tendrán en cuenta para los análisis de contenido estomacal y serán empacados para su disposición final.

Con el fin de no sesgar la información se analizarán el mismo número de hembras y machos adultos y juveniles. Por lo tanto, se contará con un tamaño de muestra total de 90 individuos para todos los muestreos.

El material colectado será marcado con el código*: M1E1AccT1C# respectivo. Los registros de información *in-situ* y del procesamiento de las muestras biológicas serán ingresados en el formato de análisis de contenido estomacal del cangrejo rojo americano (FORMATO 4.2 entregado con el plan de calidad).

Donde,

M: Número de muestreo

E: Estación de muestreo

Acc: Trampa Accesotech

T: Número de trampa

C#: Número de individuos para contenido estomacal

2.3.1.1. Sacrificio

Los especímenes serán sacrificados por descenso en actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura. Para ello, se dispondrán los cangrejos en un congelador a -20°C, según lo recomendado en el Plan de Manejo y Control del Cangrejo Rojo Americano (*Procambarus clarkii*), en la jurisdicción CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2016), como también en el Manual de Buenas Prácticas para la conservación del Cangrejo de Río Común (Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, 2010).

2.3.1.2. Preservación

Los cangrejos se almacenarán en bolsas plásticas de alto calibre para congelación a una temperatura a -20°C con su respectiva codificación.

Traslado

Los individuos de cangrejo rojo americano capturados en la PTAP de Tibitoc, serán depositados en canecas plásticas con tapa de 20 galones, a las cuales se les agregará hielo seco para reducir el estrés postcaptura y la actividad metabólica. Luego, serán transportados en los vehículos contratados por la empresa (en el plantón de dichos vehículos) hasta los laboratorios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), el material biológico será depositado en un congelador horizontal no frost de -20°C , que se encuentra en dicho laboratorio. El material biológico será procesado (estudiado) y mantenido congelado hasta realizar la entrega al gestor autorizado (EMIR-Empresa regional para el manejo integral de residuos) por la UPTC.

2.3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez los individuos son trasladados al laboratorio estos serán dejados en las bandejas plásticas para que se descongelen a temperatura ambiente, posterior a esto, se procederá a la identificación del sexo, peso húmedo y medidas morfométricas LT y AT (longitud total y ancho total) respectivamente (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017; Loureiro-Gonçalves et al., 2019 y Arias-Pineda et al., 2020). Siguiendo la metodología propuesta en este documento en la sección de parámetros poblacionales y la biología del cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii* en la dársena de Tibitoc.

Posterior a ello, se realizarán las disecciones con tijeras y pinzas limpias sobre una bandeja plástica para extraer el tracto digestivo. Cada estómago, será dispuesto en tubos falcon de 15 ml, debidamente preservados en alcohol al 70%, etiquetados y almacenados para su posterior análisis.

Los estómagos se revisarán en cajas de Petri, lo que nos permitirá estimar el porcentaje de llenado del estómago, mediante una escala porcentual que se considera desde 0% a 100% de llenado (Goulding 1980, Goulding et al., 1988). Una vez obtenido el porcentaje se registra la información en los formatos correspondientes, y se procede a separar por ítems alimentarios mediante pinces finos que evitan raspar células de la pared del estómago del cangrejo rojo.

Una vez se identifiquen los diferentes ítems alimentarios, se procederá a hacer el registro fotográfico, usando un estéreo-microscopio y en algunos casos, se usará un microscopio para revisar microalgas y partículas finas, haciendo placa con parte del material diluido en agua destilada. No se usarán colorantes en esta metodología, ya que estos pueden deteriorar las muestras de las algas que son un ítem importante del contenido estomacal.

2.3.2.1 Determinación de Ítems

Se identificarán por grandes grupos definidos como tejido animal o vegetal, y se continuará con la identificación y clasificación hasta el menor nivel taxonómico posible, para esto se

usarán las guías y claves taxonómicas disponibles, con el fin de determinar su procedencia. El material finamente particulado será definido como detrito.

2.3.2.2. Tratamiento de datos

Con base a la frecuencia de los ítems y el volumen de ocupación de cada uno de ellos por individuos se calcularán los siguientes indicadores:

Coefficiente de vacuidad (CV):

Determina el porcentaje de estómagos vacíos en relación con el total de estómagos analizados.

$$CV = (N^{\circ} \text{ estómagos vacíos} / N^{\circ} \text{ total de estómagos}) * 100$$

Frecuencia de ocurrencia (FO):

Corresponde al número de veces que determinado ítem alimentario aparece en relación al número total de estómagos analizados con alimento. El número de estómagos en cada ítem alimentario es expresado como porcentaje en relación al número total de estómagos examinados, conforme la siguiente fórmula Marrero (1994):

$$\% FO_i = (n_i * 100) / N$$

Donde:

% FO_i: es la frecuencia de ocurrencia del ítem i

n_i: es la cantidad de estómagos con el ítem i

N: es el número total de estómagos

Frecuencia numérica (FN):

Se expresa en el porcentaje de una determinada presa en función del total de presas encontradas en todos los estómagos. Se emplea la ecuación de Marrero (1994)

$$FN = (N^{\circ} \text{ de individuos (o piezas) del ítem A} / N^{\circ} \text{ total de individuos de todos los ítems}) * 100$$

Índice de Importancia Relativa (IIR)

El Índice de Importancia Relativa (IIR) describe la frecuencia de ocurrencia porcentual (citado por Mar Silva et al., 2014) y el área para cada presa. Debido a que, los cangrejos consumen presas muy pequeñas y filtran una gran cantidad de materia orgánica se propone el uso del área y no el volumen en la cuantificación de la dieta (citado por Mar- Silva et al., 2014):

$$\text{IIR} = (\% \text{F.O.} \times \% \text{A}) / 100$$

Donde:

F.O= Corresponde a la frecuencia de ocurrencia

A= El porcentaje de área para cada presa.

Las mediciones anteriores permiten inferir la importancia de los ítems del contenido estomacal en la dieta de la especie en estudio, y de esta forma determinar presas importantes y poco frecuentes/accidentales (Hyslop, 1980).

2.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

En el análisis estadístico para las dietas se realizará estadística descriptiva (media y rango usando Excel). Para comprobar diferencias significativas entre las estaciones de muestreo, entre profundidades de cada trampa, sexos, con base en las variables registradas para los individuos, se harán los análisis que se describen a continuación:

Se correlacionarán la oferta y la demanda alimentaria con base en la información de las variables hidrobiológicas y los ítems alimentarios encontrados en los contenidos estomacales. Se comparará la proporción de consumo de materia animal y vegetal entre grupos demográficos (hembras, machos y juveniles) y entre los muestreos utilizando un modelo lineal mixto. Esto se hará empleando el software estadístico PAST 3.20 y otros softwares de libre acceso (Loureiro- Gonçalves et al., 2019).

También se evaluará la diversidad de la composición de la dieta y el grado de especialización de los diferentes grupos demográficos (hembras, machos y juveniles) en cada muestreo, para esto se utilizará el Índice de diversidad de Shannon-Wiener; Adicional a esto, la diferencia en la composición de la dieta entre los grupos demográficos y los tiempos de muestreo se evaluarán mediante el análisis de similitud (ANOSIM), por otro lado, los ítems alimentarios específicos responsables de la disimilitud entre los grupos demográficos serán identificados mediante el análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) según lo propuesto por Loureiro- Gonçalves et al., 2019.

Finalmente, se probará la normalidad de la longitud de los animales en cada grupo demográfico (hembras, machos y juveniles) y se comparará con la prueba de Kruskal-Wallis. Las relaciones talla-peso de hembras, machos y juveniles se evaluarán mediante el análisis regresión de Pearson y serán comparadas con un análisis de covarianza (ANCOVA) (Loureiro- Gonçalves et al., 2019).

2.4. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E HIDROBIOLÓGICAS CON LA PRESENCIA DEL CANGREJO ROJO

De acuerdo con la información histórica suministrada por la EAAB (tiempo definido por la entidad) de los muestreos fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos realizados en el punto Bocatoma Norte de la dársena, se realizará un análisis comparativo/descriptivo del

comportamiento actual de la unidad de tratamiento con el fin de evaluar la afectación que ha traído esta especie invasora dentro de la planta Tibitoc.

Como aporte y complemento para el desarrollo de lo anterior, la empresa va a contratar el servicio de un laboratorio certificado por el IDEAM el cual, realizará los muestreos de agua (midiendo los aspectos físico- químicos y microbiológicos), flora asociada y caracterización hidrobiológica en las estaciones de muestreo donde se ubicaran las trampas colectoras del cangrejo rojo (*P. clarkii*), dentro del área de la dársena donde la EAAB no cuenta con registro (se escogerá una estación de muestreo para la toma de muestras) . Para de este modo aportar la información necesaria para su manejo y control en las instalaciones de la dársena Tibitoc, la cual, a su vez aportará la información técnica para ser incluida en la norma NS-013 de la EAAB.

En cuanto al uso, almacenamiento y transporte de los químicos relacionados para la toma de muestras descritas en el Plan de Gestión de Residuos estará a cargo del laboratorio certificado que contratará la empresa para realizar los muestreos de agua sobre la dársena. Cabe aclarar que la Organización en ningún momento realizará la compra, manejo y/o almacenamiento de estos preservantes para los muestreos de agua. Se hará la entrega del protocolo de manejo y toma de muestras en la siguiente versión del Plan de Calidad una vez se cuente con los servicios del laboratorio a contratar.

De igual forma, se tomarán y registrarán datos *in-situ* de variables fisicoquímicas como lo son el Oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, temperatura ambiente y conductividad, registros fotográficos de las trampas que permitan complementar la información anteriormente descrita.

La información tanto de las variables físico-químicas, microbiológicas e hidrobiológicas se correlacionarán por estación de muestreo con los parámetros poblaciones del cangrejo rojo americano que se medirán en cada estación de muestreo, estas se realizan mediante un análisis multivariado, (Análisis de correspondencia canónica). Es importante resaltar que además de las variables descritas en la norma NS-013 la Organización medirá otras variables adicionales que pueden estar relacionadas con la presencia del cangrejo rojo americano en la dársena, dichas variables adicionales a la norma NS-013 están marcadas con asterisco (*) dentro de las tablas.

Teniendo en cuenta la información anterior, presentamos en las siguientes tablas los parámetros que serán medidos para la correlación entre el cangrejo rojo americano y los datos físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos que serán tomados:

Tabla 12. Parámetros físico-químicos

PARÁMETRO	UNIDAD
Alcalinidad	mg/L
Aluminio	mg/L
Calcio	mg/L
Carbonatos totales	mg/L
Carbono Inorgánico Total	mg/L
Carbono Orgánico Total	mg/L
Cianuro Disociable	mg/L
Cianuro Total	mg/L
Cloruros	mg/L
Color Aparente	UPC
Color Real 436 nm, 525nm y 620nm	UPC
Conductividad Eléctrica	uS/cm
Dureza Cálcica	mg/L
Dureza Total	mg/L
Fósforo Soluble	mg/L
Fósforo Total	mg/L
Hierro	mg/L
Magnesio	mg/L
Manganeso	mg/L
Nitratos	mg/L
Nitritos	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/L
Oxígeno Disuelto	mg/L
pH	Un de pH
Sílice	mg/L
Sodio	mg/L
Sólidos Disueltos Totales	mg/L
Sólidos Sedimentables	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Sólidos Totales	mg/L
Sulfatos	mg/L
Temperatura ambiente	°C
Temperatura de la muestra	°C
Transparencia*	m/Disco Secchi
DQO (demanda química de oxígeno)*	mg/L
DBO ₅ (demanda bioquímica de oxígeno)*	mg/L
Grasas y aceites*	mg/L
Turbiedad	UNT

*Este parámetro se no se encuentra dentro de la Norma NS-013, pero se requiere incluir para los análisis de correlación con el cangrejo rojo americano debido a que su actividad excavadora puede afectar esta variable. Fuente: Adaptado de la Norma NS-013

Tabla 13. Parámetros microbiológicos

PARÁMETRO	UNIDAD
Coliformes Fecales Termotolerantes - Filtración	UFC/100mL
Coliformes Fecales Termotolerantes - Sustrato	NMP/100mL
Coliformes Totales FM ENDO	UFC/100mL
Coliformes Totales Presencia-Ausencia	Ausencia/Presencia
Coliformes Totales Sustrato	NMP/100mL
E. coli Presencia- Ausencia	Ausencia/Presencia
E. coli	NMP/100mL
Aerobios Mesofilos*	UFC/ml
Clostridium sp (Clostridium perfringens, Clostridium sulfitorreductor)*	UFC/ml
Levaduras*	Conteo/identificación

*Estos parámetros no se encuentran dentro de la Norma NS-013, pero se requiere incluir para los análisis de correlación con el cangrejo rojo americano debido a que estos microorganismos se han encontrado asociados a esta especie.

Fuente: Adaptado de la Norma NS-013

Tabla 14. Parámetros biológicos

PARÁMETRO	UNIDAD
Fitoplacton	Células/mL
Zooplacton	Organismos/L
Clorofila A	mg/m ³
Flora acuática – Macrófitas*	Porcentaje de cobertura por cuadrante en metros- Biomasa Total
Macroinvertebrados*	Individuos por metro cuadrado
Macroinvertebrados*	Asociados a macrófitas

*Estos parámetros no se encuentran dentro de la Norma NS-013, pero se requiere incluir para los análisis de correlación con el cangrejo rojo americano debido a que estos parámetros biológicos están relacionados con la dieta del cangrejo. Fuente: Adaptado de la Norma NS-013.

2.5. MANEJO Y CONTROL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera y segunda visita de inspección, para el control del cangrejo rojo americano se evaluarán dos tipos de trampas las Zreal (figura 24A) y las Accesotech (figura 24B), la disposición espacial y el diseño de la metodología de control para las tres salidas de campo en la dársena de la PTAP de Tibitoc, se describen a continuación:

2.5.1. DISEÑO DEL MONITOREO Y CONTROL DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

En cada estación de muestreo, se ubicará una línea paralela al borde de la dársena de 10 trampas Zreal con una distancia entre cada una de 5 m, seguido a ello se dejará un espacio de 20 m para la instalación de la segunda línea de 10 trampas Accesotech separadas una de otra por 5m, para un área total de muestreo de 120 m (figura 29). Las trampas tendrán internamente un recipiente plástico agujereado (cebador) que contiene alimento procesado para felino como atrayente, dada la eficacia de captura que resultó dicho cebo en las pruebas realizadas en la última visita de inspección, por otra parte, las trampas estarán aseguradas con nylon a cada una de las varillas de señalización enterradas a orillas y que serán georreferenciadas por medio de un GPS de mano marca Garmin.

Las trampas se dejarán durante un tiempo de 24 horas dentro del cuerpo de agua; cumplido este tiempo los organismos capturados en cada trampa serán diferenciados al guardarse en bolsas plásticas de alto calibre con su respectiva codificación para el posterior análisis en laboratorio.

En el proceso del manejo manual del cangrejo rojo, es necesario que el personal haga uso de guantes de carnaza para impedir posibles cortaduras con las tenazas del cangrejo al sujetarlos. Para la evaluación del control poblacional, los cangrejos que sean capturados en las trampas serán analizados en el laboratorio, identificándose el sexo de los organismos a partir del reconocimiento de estructuras externas (gonópodos machos, ausencia de ellos hembras) lo cual se verifica a simple vista, medición de la longitud total (mm) y longitud del cefalotórax (mm) a partir de un calibrador pie de rey digital para obtener un estimativo de los tamaños de captura en el sitio, finalmente se tomará registro del peso de cada individuo con una balanza portátil (g).

Los registros de información *in-situ* y del procesamiento de las muestras biológicas serán incluidos en el respectivo formato de control poblacional del cangrejo rojo americano teniendo en cuenta la siguiente codificación: M1E1NTZóACC# (FORMATO 4.5 entregado con el plan de calidad)

Donde,

M: N° muestreo

E: Estación de muestreo respectivo

NT: Número de trampa

Arte de pesca: Zreal (Z) ó Accesotech (ACC)

#Número de individuo analizado

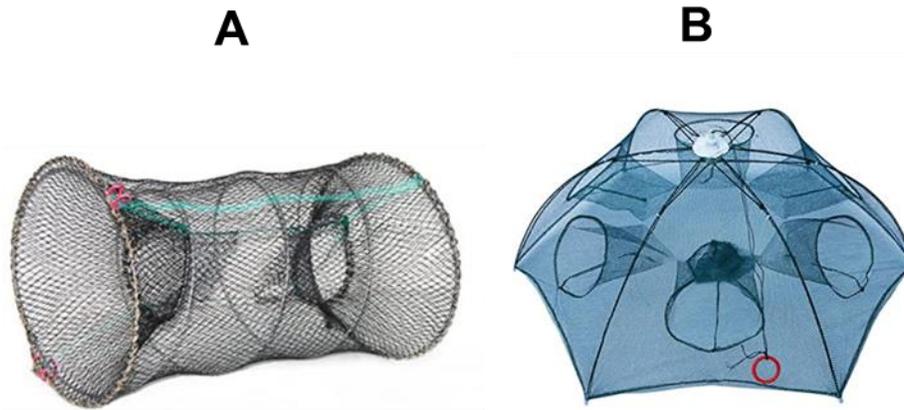


Figura 24. A: Trampa Accesotech cangrejo **B:** Trampa Zreal. **Fuente A:** Amazon - Accesotech Cangrejo-Bogavante-Receptor-Langostino **Fuente B:** Amazon-Zreal Agujeros Plegable Cangrejo Crawfish

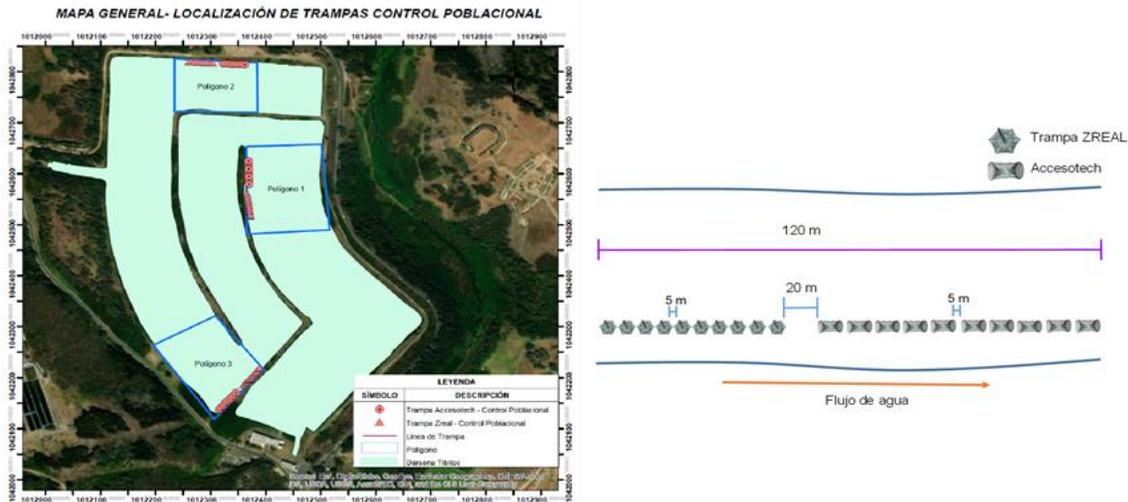


Figura 25. Diseño de muestreo con trampas Zreal y Accesotech para realizar control poblacional de la especie de cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii*. Fuente: Elaboración propia.

2.5.1.1. Traslado

Los individuos de cangrejo rojo americano capturados en la PTAP de Tibitoc, serán depositados en canecas plásticas con tapa de 20 galones, a las cuales se les agregará hielo seco para reducir el estrés postcaptura y la actividad metabólica. Luego, serán transportados en los vehículos contratados por la empresa (en el plantón de dichos

vehículos) hasta los laboratorios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), el material biológico será depositado en un congelador horizontal no frost de -20°C, que se encuentra en dicho laboratorio. El material biológico será procesado (estudiado) y en congelación hasta realizar la entrega al gestor autorizado (EMIR-Empresa regional para el manejo integral de residuos) por la UPTC.

En la siguiente figura se presenta el flujograma detallado de la codificación, captura, transporte, almacenamiento y disposición final.

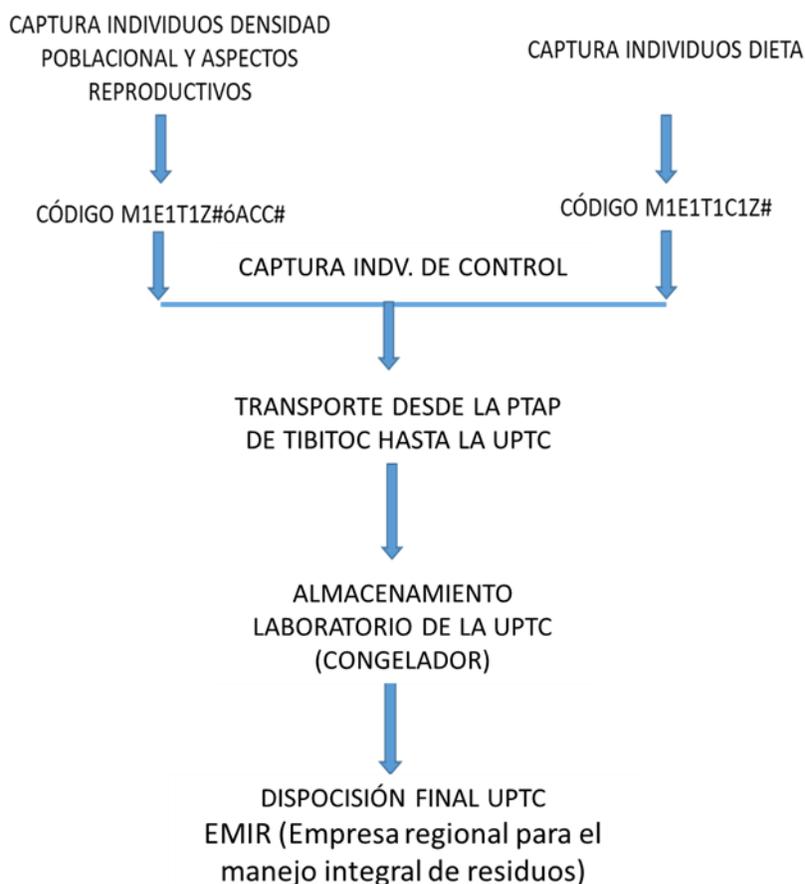


Figura 26. Flujograma detallado de la codificación, captura, transporte, almacenamiento y disposición final de los individuos de cangrejo rojo americano capturados en la dársena de la planta Tibitoc. Fuente: Elaboración propia

*Los individuos capturados para el control poblacional no se marcarán dado que estos no serán llevados al laboratorio y toda la información relacionada con estos será tomada *in-situ* y registrada en el formato de control poblacional.

2.5.2. ORGANISMOS POR CAPTURA INCIDENTAL

Los organismos diferentes al cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) que posiblemente sean capturados en las trampas usadas para control, serán fotografiados y contados para realizar el registro de su captura incidental. Posteriormente, serán liberados y se reportarán hasta el nivel taxonómico posible con las fotos tomadas, la información será consignada en el formato de registro de control poblacional de cangrejo rojo americano.

Sacrificio

Los especímenes de cangrejo rojo americano serán sacrificados por descenso en actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura. Para ello, se dispondrán los cangrejos en un congelador a -20°C , según lo recomendado en el Plan de Manejo y Control del Cangrejo Rojo Americano (*Procambarus clarkii*), en la jurisdicción CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2016), como también en el Manual de Buenas Prácticas para la conservación del Cangrejo de Río Común (Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, 2010).

2.5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los análisis estadísticos se harán por medio de estadística descriptiva y estadística inferencial. Para realizar comparaciones del sexo, longitud total y peso por estación de muestreo, salida de campo y tipo de trampa usada se hará estadística descriptiva que comprende la media, varianza, desviación estándar y rango, los cuales se mostrarán por uso de gráficas como cajas y bigotes o tablas dependiendo el caso.

Con el fin de determinar si hay diferencias estadísticas entre el tipo de trampa, especialmente para los métodos pasivos, se determinarán primero la normalidad de los datos usando test de Kolmogorov-Smirnov (Frank, 1951), ya que otros métodos estadísticos para mirar la normalidad de los datos se hacen con un número de muestras menores a 30 (trampas). Si el p valor es $<0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula normalidad de los datos.

Posteriormente, si los datos son normales se aplicará un Análisis de Varianza de una vía (Cuevas et al., 2004) y si no, son normales se aplicará un test de Kruskal Wallis y un test de Tukey para determinar cuál es el método diferente. Estas diferencias se observan rechazando o aceptando la hipótesis nula de igualdad. Si el p valor es $<0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula de igualdad.

2.5.4. METODOLOGÍA PARA EL PROTOCOLO DE MANEJO DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

El protocolo de control para el manejo de la población de cangrejo rojo americano en la PTAP de Tibitoc, se basará en la información secundaria de reportes de casos exitosos de control del cangrejo rojo americano, que junto con la información generada por la evaluación de los métodos de control, y los resultados de la evaluación de los parámetros

poblacionales medidos en la sección 2.2.1 del presente documento, permitirá establecer las variables más importantes para hacer un control efectivo de la población del cangrejo rojo. A continuación, se presenta un diagrama con la ruta de trabajo para lograr el objetivo propuesto:

Ruta de trabajo para el Protocolo de manejo del cangrejo rojo americano en la Dársena de Tibitoc

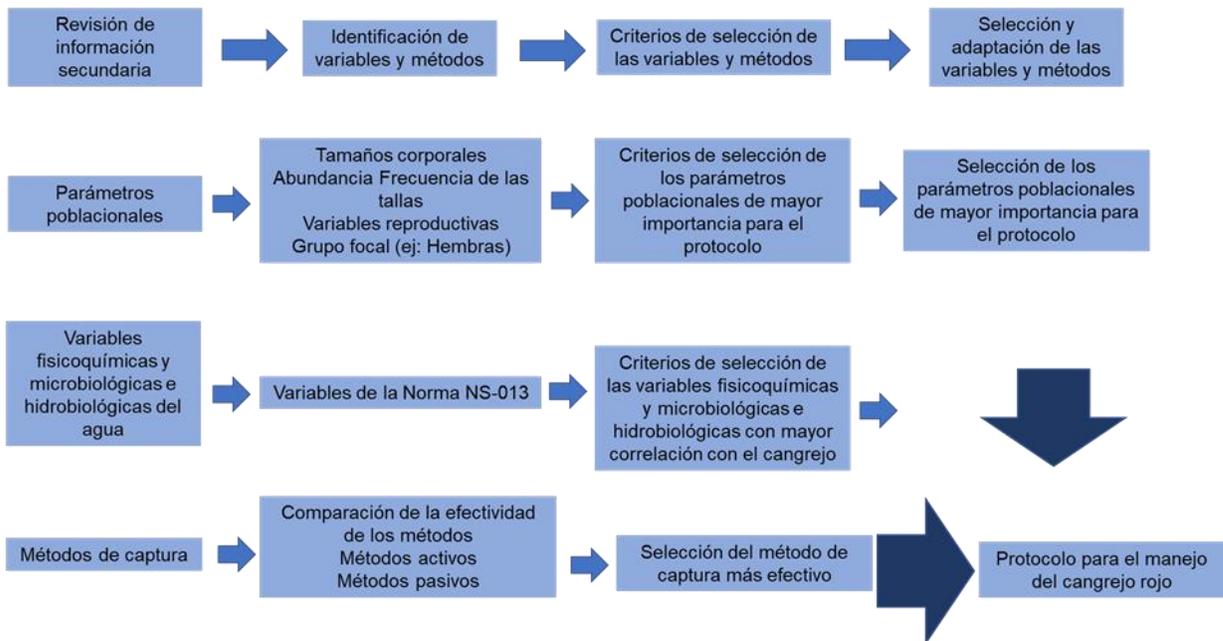


Figura 27. Ruta de trabajo para el protocolo de manejo del cangrejo rojo americano en la Dársena de Tibitoc. Fuente: Elaboración propia

LITERATURA CITADA

Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Newman-Keuls test and Tukey test. *Encyclopedia of research design*, 1-11.

Alcorlo, P., Geiger, W., & Otero, M. (2008). Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology*, 173(3), 197.

Anastácio, P. M. Leitão, A.S, Boavida, M.J. Marçal & Correia, A. (2009). Population dynamics of the invasive crayfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) at two marshes with differing hydroperiods. *Ann. Limnol. - Int. J. Limn.*, 45 4, 247-256. DOI: <https://doi.org/10.1051/limn/2009025>

Arana, P. M. (2000). Estimación de abundancia y biomasa del cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*), en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Investigaciones marinas*, 28, 53-68.

Arias-Pineda, J. Y., Sánchez, J. S. G., & Castillo, N. S. (2020). Diferencias morfométricas entre dos poblaciones de cangrejo rojo *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii* (GIRARD, 1852) (CRUSTACEA: DECAPODA: CAMBARIDAE). *The Biologist*, 18(2).

Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552-557.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2016. Plan de Manejo y Control del Cangrejo Rojo Americano (*Procambarus clarkii*) en la jurisdicción CAR. Bogotá. pp 44.

Cuevas, A., Febrero, M. & Fraiman, R. (2004), 'An ANOVA Test for Functional Data', *Computational Statistics and Data Analysis* 47, 111–122.

Delsinne, T., Lafontaine, R.-M., Beudels, R.C., & Robert, H. (2013). Risk analysis of the Louisiana Crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852). - Risk analysis report of non-native organisms in Belgium from the Royal Belgian Institute of Natural Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment. 63.

Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. (2010). Manual de Buenas Prácticas para la conservación del Cangrejo de Río Común. Aragon. Retrieved from https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_BUENAS_PRACTICAS_CO NSERVACION_CANGREJO_RIO_COMUN_2010.pdf/972d525a-006c-a412-434d-4802571f5948

Ferré, Lilian E., Medesani, Daniel A., García, C. Fernando, Grodzielski, Matías, & Rodríguez, Enrique M. (2012). Vitellogenin levels in hemolymph, ovary and hepatopancreas of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) during the reproductive cycle. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 253-261. Retrieved April 14, 2021, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442012000100017&lng=en&tlng=en

Frank J. Massey Jr. (1951) The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit, *Journal of the American Statistical Association*, 46:253, 68-78, DOI: 10.1080/01621459.1951.10500769

Gayanilo Jr., F.C., Sparre, P. & Pauly, D. (2005) FAOICLARM stock assessment tools II (FiSAT II). User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries), 8.

Goulding, M. 1980. *The fishes and the forest: exploration in amazonian natural history*. University of California Press, Berkeley, USA. 280 pp.

Goulding, M., M. L. Carvalho, & E. G. Ferreira. 1988. *Rio Negro: rich life in poor water: Amazonian diversity and food chain ecology as seen through fish community*. SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands. 200 pp.

Guerra J. L. & Niño A.E., 1996. Ecology of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) in the central meseta of Spain. *Freshw. Crayfish*, 8, 179–200.

Hamasaki, K., Osabe, N., Nishimoto, S., Dan, S., & Kitada, S. (2020). Sexual dimorphism and reproductive status of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Zoological studies*, 59.

Hyslop, E. 1980. Stomach contents analysis. A review of methods and their application. *Journal Fish Biology* 17: 411-429.

Legendre, P., & Legendre, L. (2003). *Numerical Ecology*, Volume 24—3rd Edition, second english edition. *Developments in Environmental Modelling*, Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 20. Obtenido de: <https://www.elsevier.com/books/numerical-ecology/legendre/978-0-444-53868-0>

Loureiro-Gonçalves, T., Anastácio, P.M., Siqueira-Bueno, S.L., Timm Wood, T., Araujo, P.B. (2019). Food matters: Trophodynamics and the role of diet in the invasion success of *Procambarus clarkii* in an Atlantic Forest conservation área. *Limnológica* 79, 125717.

Mar Silva V., Hernández Morales R., Medina Nava M. (2014). Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces. *Biológicas*, diciembre 2014, 16(2): 13 – 16

Marrero, C. 1994. Métodos para cuantificar contenidos estomacales en peces. Talleres Gráficos de LIBERIL S.R.L Caracas. Venezuela. 37 pp.

Medina, M., Espinoza, Y., & Reyes, W. (2019). Índices gonadosomático y hepatosomático en relación con la maduración y muda del camarón *Cryphiops caementarius* del río Pativilca (Perú). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30 (3), 1018-1029.

Mistri, M., Sfriso, A., Sfriso, A. A., & Munari, C. (2019). Distribution and population structure and dynamics of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in the eastern Po Valley and its Delta (northeastern Italy). *BioInvasions Record*, 8(1).

Muñoz, I., A. M. Romaní, A. Rodrigues-Capítulo, J. González, y E. García-Berthou. 2009. Relaciones tróficas en el ecosistema fluvial. En Sabater, S. & Elosegí, A. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Bilbao: Fundación BBVA. 347-366 pp.

Pedroza-Martínez, D. R. (2017). Estudio de la estructura poblacional de *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 22-34 p.

Pfister, V. A., & Romaine, R. P. (1983). Catch efficiency and retentive ability of commercial crayfish traps. *Aquacultural Engineering*, 2(2), 101-118.

Rodríguez-Almaraz, G. A. (1992). *Tamaño poblacional, morfometría y crecimiento de Procambarus clarkii* (Girard) (Crustácea: cambaridae) del área central de Nuevo León, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Rodríguez-González, H., Hernández-Llamas, A., Villarreal, H., Saucedo, P. E., García-Ulloa, M., & Rodríguez-Jaramillo, C. (2006). Gonadal development and biochemical composition of female crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in relation to the Gonadosomatic Index at first maturation. *Aquaculture*, 254(1-4), 637-645.

**CAPÍTULO 3. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO
“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL
CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA
DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”**

CAPÍTULO 3. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”

En este capítulo se describen las actividades relacionadas con los aspectos ambientales del proyecto las cuales incluyen la gestión del permiso de recolección, los criterios de sostenibilidad y el Plan de gestión de residuos sólidos y peligrosos durante los dos primeros meses de ejecución del proyecto que corresponde al Producto 1.

PERMISO DE RECOLECCIÓN

Con respecto a la gestión del permiso de recolección por parte de la Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros SAS. (OLFRSI), se describe en detalle las actividades encaminadas a la obtención del permiso:

El día 3 de marzo de 2021, bajo radicado número 20211019358, la Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S., entregó a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, los documentos de solicitud del permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, para el proyecto en ejecución.

El 14 de abril de 2021, la CAR dio inicio al trámite administrativo bajo el Auto DRSC No 0747, el cual fue notificado a la organización vía correo electrónico el día 16 de abril de 2021 (Anexos 3.1.2 y 3.1.3).

El 24 de mayo de 2021, por medio de derecho de petición, la Organización envió un comunicado a la CAR solicitando se nos informará sobre el proceso en el que se encontraba la solicitud del permiso de recolección, lo anterior debido a que en la normatividad, la entidad tenía un plazo no mayor a 20 días hábiles para dar respuesta a la solicitud, una vez emitido el auto de inicio, documento que fue notificado el 16 de abril del presente año; la organización al ver que ya se cumplía con los tiempos establecidos decidió radicar el derecho de petición bajo consecutivo interno OLFRI-CTO-0398-0017. (Anexo 3.1.4).

El día 8 de junio de 2021, se organizó una reunión entre el Doctor Ricardo Palacios, funcionario de la CAR, encargado de la evaluación de permiso, y funcionarios de la Organización en cabeza de Gina Romero, Bióloga, y el Ingeniero Julian Wilches, Ingeniero Ambiental y Sanitario; en esta reunión se atendió a cada una de las dudas y preguntas que tenía el Dr. Palacios respecto a la metodología de captura que se estableció para el permiso, dando como resultado una serie de información adicional que el funcionario iba a verificar si se solicitaba de manera formal por nota aclaratoria o auto de requerimientos; en los siguientes días el Dr. Palacios informó que todas las preguntas se iban a solicitar por medio de un auto de requerimientos y que procedía a hacer el concepto técnico correspondiente para entregar al área jurídica de la entidad.

De esta reunión se pudo establecer la importancia de contar con el certificado de presencia de grupos étnicos que expide el Ministerio del Interior, documento que no se adjuntó a la solicitud de acuerdo con lo establecido en conversación telefónica con un funcionario de la CAR, el cual sugirió que se justificará por qué no se hacía entrega del certificado y que con eso se subsana el requerimiento, situación que se desmintió con el Dr. Palacios el cual informó que si era necesario contar con este documento, por tal motivo se radicó ante el Ministerio del Interior el día 10 de junio de 2021, la solicitud del certificado de presencia de grupos étnicos en el área de influencia del proyecto (Anexo 3.1.1). De lo anterior el Ministerio del Interior dió respuesta por medio de la certificación relacionada en la Resolución No ST 0717 de 29 de julio de 2021, donde se indica la no procedencia a efectuar consulta previa para el área del proyecto por la no presencia de grupos étnicos. (Anexo 3.1.6)

Seguido a esto, se acordó una visita a campo a la Dársena de la planta con los funcionarios de la CAR, donde asistieron el Dr. Ricardo Palacios, El Dr. Alvaro Romero y la señora Flor Sierra (esposa del Dr. Palacios) en representación de la CAR, la Ing. Nubia León y su grupo técnico y asesor por parte de la EAAB, y los profesionales de la Organización en cabeza de la directora la Doctora Elisabeth Jiménez, la visita se desarrolló el día 22 de junio de 2021.

En la visita se les mostró a los funcionarios de la CAR la ubicación de los puntos de muestreo y de captura de los especímenes solicitados en el permiso y se estableció que datos eran necesarios relacionar en la respuesta al auto de requerimientos que va a emitir la CAR. El soporte de esta visita se relaciona en el anexo 3.4 del documento.

De lo anterior, se derivó por parte de la entidad la solicitud de información adicional por medio del Auto de Requerimiento No 09216001730 de 2 de julio de 2021. (Anexo 3.1.8) El día 19 de agosto de 2021, la organización hizo entrega de toda la documentación solicitada en el Auto de Requerimientos No 09216001730 de 2 de julio de 2021. (Anexo 3.1.9)

Desde el momento que se radicó la solicitud del permiso hasta la fecha de obtención de la resolución de negación, se había venido haciendo seguimiento al permiso por medio telefónico ante la corporación, manteniendo comunicación constante con los funcionarios encargados del trámite al igual que hemos respondido rápidamente a cada uno de los requerimientos. De igual manera, se ha hecho seguimiento a la solicitud del certificado ante el Ministerio del Interior.

El día 3 de septiembre de 2021, la organización radica ante la CAR derecho de petición por el incumplimiento en los tiempos establecidos por la norma para la obtención del permiso de recolección. (Anexo 3.1.7)

El día 14 de septiembre de 2021, nos reunimos con el director de la CAR Sabana Centro con el fin de dar celeridad al proceso del permiso, en esta reunión también estuvo presente la directora jurídica de la seccional, en la reunión los funcionarios de la entidad indicaron que había un debate sobre la pertinencia de otorgar el permiso, esto debido a la observación que había puesto el Dr Palacios en el concepto técnico emitido, por tal motivo la entidad se comprometió a gestionar lo más pronto posible la solicitud con el área jurídica de la CAR Sede Central.

Después de esperar un tiempo, por parte de la Organización Luis Fernando Romero Sandoval, se decidió instaurar una tutela a la entidad por el incumplimiento en los tiempos establecidos por la legislación ambiental para el permiso de recolección, establecidos en la Resolución 1376 de 2013, la demanda fue instaurada el día 29 de septiembre de 2021 ante el juzgado 027 de Bogotá. (Anexo 3.1.10)

El día 30 de septiembre de 2021, la CAR dio respuesta a la tutela indicando que, de acuerdo con la información plasmada en la página web de la entidad, el tiempo máximo para dar respuesta a la solicitud era de 300 días, por lo que a ese día la entidad se encontraba dentro de los tiempos establecido.

El día 3 de noviembre de 2021, por medio de la Resolución DJUR No 50217001210, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, negó la solicitud del permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial para el proyecto, lo anterior de acuerdo con el considerando descrito en el acto administrativo donde mencionan lo siguiente:

“se considera como una especie silvestre exótica, que no tiene distribución natural en nuestros ecosistemas y que no podría recolectarse o capturarse del medio natural colombiano, ni hacer parte del inventario de los ecosistemas naturales del país; por consiguiente, si bien el informe técnico viabiliza la extracción y estudio para fines de recolección e investigación científica no comercial, desde el punto de vista jurídico es inviable otorgar el permiso ambiental pedido.”

Por tal motivo, el proyecto no requiere para su continuidad el permiso de recolección al considerarse el cangrejo rojo americano (*P. clarki*) como una especie invasora que no hace parte del inventario natural nacional de especies. (Anexo 3.1.11)

Para el periodo evaluado en este producto 1, se hace entrega de los soportes de gestión realizado ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, de la solicitud del permiso de recolección, de igual manera, los soportes de solicitud del certificado de presencia de grupos étnicos ante el Ministerio del Interior y la respectiva resolución de negación del permiso. (Anexo 3.1).

CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

Desde la organización se han planteado unas metas en el reuso de materiales para otras actividades, para este primer producto, se pudo establecer que para el proyecto se ha impulsado estos criterios en el reuso de papel de oficina, esto para las planillas de seguimiento de campo que se han utilizado en las salidas de reconocimiento en la Dársena de Tibitoc, y uso responsable del agua, haciendo uso del recurso de manera estricta y consciente al cuidado y bioseguridad actual, no obstante al estar el proyecto en

una etapa temprana, los recursos utilizados no ha sido en gran cantidad, situación que podría cambiar para los siguientes meses del proyecto.

Lo anterior alineado al plan de gestión de residuos aprobado para el proyecto.

Para las visitas de campo realizadas se tuvo en cuenta las rutas más óptimas para reducir tiempos y desplazamientos desde los puntos de origen de cada una de las camionetas (3) hasta la Dársena, para cada visita, los conductores con la ayuda de la aplicación Waze, verificaron el estado de las vías (trancones, accidentes, obras, etc) previo al inicio de los recorridos. Por la situación sanitaria actual del país, en cada vehículo se han ubicado un total de cuatro (4) personas, con el fin de garantizar la salud y protección de todos, por tal motivo no se ha podido reducir la cantidad de vehículos a usar.

PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

Para el producto 1, se hace entrega de los formatos de seguimiento y control a la generación de residuos; para este periodo se generaron residuos principalmente en la oficina administrativa, donde se generó plástico, residuos orgánicos, y residuos reciclables, todos estos residuos se gestionan con la empresa de aseo de Bogotá, la cual presta el servicio en el sitio y que se paga con el recibo de la energía.

Se anexan los soportes del seguimiento para los meses de mayo y junio (Anexos 3.2 y 3.3).

Es importante resaltar que para este periodo, se generó un total de 0,3 kg de residuos peligrosos, producto de las actividades realizadas en la Dársena en las visitas de los días 23 y 24 de junio, estos residuos corresponden a nylon contaminado con agua de la Dársena, guantes de nitrilo, cabuya contaminada con agua de la Dársena, tapabocas, toallas contaminadas con agua de la Dársena, y los cebos, no obstante, estos residuos no fueron gestionados con el gestor autorizado ya que no cumplen con el peso mínimo que solicita la empresa para la disposición final que está establecido en 20 kg. Por tal motivo, los residuos se almacenaron temporalmente en el centro de acopio temporal ubicado en la oficina administrativa, tal y como se estableció en el plan entregado y aprobado por la entidad.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DEL PROYECTO DURANTE LOS DOS PRIMEROS MESES DE EJECUCIÓN.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DEL PROYECTO DURANTE LOS DOS PRIMEROS MESES DE EJECUCIÓN.

RELACIÓN PERSONAL EN OBRA

A la fecha, para en el contrato “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC” Se cuenta con un total de 12 personas para los cuales se realiza el pago oportuno y verificación del pago de planillas por parte de contratistas.

Tabla 15. Personal y Seguridad social

Rol	Empleado	Anexo
Directora de proyecto	Elisabeth Jiménez Carmona	Ver anexo 4.1.1
Coordinadora de proyecto	Gina Alexandra Romero Galindo	Ver anexo 4.1.1
Coordinador de campo	Julián Ricardo Benavides Gil	Ver anexo 4.1.1
Coordinadora SST	Nanny Lizcano	Ver anexo 4.1.2
Ingeniero ambiental	Julián David Wilches Moreno	Ver anexo 4.1.1
Auxiliar tecnóloga de campo	Rosaneth Angarita Gómez	Ver anexo 4.1.3
Auxiliar tecnóloga de campo	Valentina Romero González	Ver anexo 4.1.3
Bióloga	Andrea Catalina Sarmiento toro	Ver anexo 4.1.1
Bióloga	Isabella González Gamboa	Ver anexo 4.1.1
Biólogo	Fabian Leonardo Mesa Roberto	Ver anexo 4.1.1
Auxiliar SST	Yenny Patricia Silva Uribe	Ver anexo 4.1.1
Bióloga	Mabel Giovana Pimiento	Ver anexo 4.1.4

El desarrollo de las actividades del contrato se divide en dos tipos: actividades de oficina y salidas a campo; las actividades administrativas o de oficina son desarrolladas por cada uno de los colaboradores desde casa incluyendo las reuniones que son realizadas de manera virtual tanto las internas como las de seguimiento por parte del acueducto y las salidas de campo que son desarrolladas en la PLANTA TIBITOC y a la fecha se han desarrollado 2 salidas.

FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN

Para el proyecto “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC” se han llevado a cabo las siguientes capacitaciones:

Tabla 16. Capacitaciones realizadas

No .	Fecha	Temas	Dr (ha)	N° EMPLEADOS	Responsable
1	13/04/2021	Protocolo Bioseguridad	30 minutos	12	Nanny Lizcano
2	12/05/2021	¿Qué son las pausas activas? Instructivo pausas activas ARL POSITIVA	30 minutos	9	Nanny Lizcano
3.	14/05/2021	Salvamento acuático	20 horas	1	Grupo Colombiano de emergencias
4.	15/05/2021	Primeros Auxilios básicos y avanzados	40 horas	5	Grupo Colombiano de emergencias
5.	18/05/2021	Manejo de sustancias químicas (¿Qué son?, SGA, vías de ingreso al organismo y Recomendaciones de manejo).	1 hora	9	Nanny Lizcano
6.	24/06/2021	Curso de 20h SG-SST Aux. SST	20 horas	2	ARL POSITIVA
7.	26/05/2021	MEDEVAC y PONS-Planes operativos normalizados (Brigada de emergencias)	30 minutos	20	Nanny Lizcano

No	Fecha	Temas	Dr (ha)	N° EMPLEADOS	Responsable
8.	28/05/2021	Seguimiento IMC	30 minutos	12	Patricia Silva
9.	01/06/2021	Identificación de peligros y evaluación de riesgos	20 minutos	10	Patricia Silva
10.	01/06/2021	Capacitación en seguridad vial	1 hora	2	Patricia Silva
11	05/06/2021	Divulgación Reglamento e Higiene y Seguridad Industrial (Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S)	30 minutos	10	Nanny Lizcano
12.	17/06/2021	Reporte de actos y condiciones inseguras	30 minutos	12	Nanny Lizcano
13.	18/06/2021	Procedimiento de Trabajo Seguro en botes	30 minutos	11	Patricia Silva
14.	21/06/2021	Medidas de PREVENCIÓN COVID-19 (Síntomas, Transmisión, medidas de prevención y lugares de mayor riesgo de contagio).	30 minutos	5	Nanny Lizcano

Charlas y capacitación de personal





Ver Anexo 4.2. Registro de formación y capacitación.

INDUCCIÓN GENERAL

Para el proyecto “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC” se han llevado a cabo las jornadas de inducciones:

Tabla 17. Inducciones realizadas

Fecha	Temas	Dr (ha)	N° EMPLEADOS	Responsable
08/03/21	Inducción SST	1	9	Nanny Lizcano
5/05/21	Inducción SST	1	1	Nanny Lizcano
25/05/21	Inducción SST	1	1	Nanny Lizcano
01/06/21	Inducción SST	1	2	Patricia Silva
10/06/21	Inducción SST	1	1	Nanny Lizcano

Ver Anexo 4.3. Registro de inducción

Es preciso hacer aclaración que nueve colaboradores fueron contratados desde el mes de marzo con el fin de elaborar la documentación inicial del contrato (Plan de Calidad) que incluye información ambiental, calidad, seguridad y salud en el trabajo y la metodología para la ejecución del contrato.

ENTREGA DE DOTACIÓN Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Durante el mes de mayo se realiza la adquisición de dotación y de elementos de protección individual y de acuerdo con lo establecido en la matriz de elementos de protección personal

del SG-SST del proyecto; teniendo en cuenta que el uso de estos elementos de protección individual se realizará en reuniones virtuales y en las salidas de campo se programa la entrega de los elementos para mes de junio de 2021; ya que la modalidad del trabajo administrativo ha sido “Trabajo en casa”.

A continuación, se relaciona la dotación entregada:

Tabla 18. *Entrega de Dotación*

DESCRIPCIÓN DE DOTACIÓN	CANTIDAD
Overol	8
Calzado con puntera de seguridad	4
Impermeable	10
TOTAL	22

A continuación, se relacionan los Elementos de Protección Personal entregados:

Tabla 19. *Relación entrega de elementos de protección personal*

DESCRIPCIÓN DE EPP	CANTIDAD
Casco de seguridad	10
Fontanero con botas	8
Protección visual (Lentes claros)	10
Guante completo	6
Guante carnaza	7
Tapabocas N95	20
Careta	10
Kit bioseguridad	9
TOTAL	80

Teniendo en cuenta que la entrega de elementos de protección personal se realizó el 01 de junio de 2021 y se complementó entrega de elementos de protección personal el día 22 de junio y que no se ha realizado actividades de campo, sino que se ha desarrollado actividades de oficina desde la casa de cada colaborador, se programa esta inspección para la próxima salida de campo.



Ver Anexo 4.4. Registro entrega de dotación y entrega de EPP.

CARACTERIZACIÓN DE AUSENTISMO

5.1 POR ACCIDENTES E INCIDENTES DE TRABAJO

A la fecha, el proyecto no reporta ningún incidente o accidente que haya tenido el personal del proyecto o enfermedades relacionadas con el objeto de contrato 1-2-26200-0398-2021.

Ver Anexo 4.5. Certificado AT y EL

5.2 POR OTRAS CAUSAS DE ORIGEN NO LABORAL

Durante el periodo del presente informe no se presentaron casos de ausentismo por enfermedad general.

En cuanto a las horas hombres trabajadas se relaciona en el siguiente cuadro:

MES	HHT
Mayo	1428
Junio	1920
TOTAL, HHT	3.348

Ver Anexo 4.6. Ausentismo Laboral y HHT

PROTOCOLOS DE BIOSEGURIDAD PARA MITIGAR PANDEMIA COVID-19

Todo el personal en labores presenciales en oficina o en campo hace uso obligatorio de mascarilla N98. Se cuenta con lavamanos portátil en campo y baños con lavamanos en oficina. Se ubicó señalización referente a la prevención del contagio de COVID-19 y se mantiene distanciamiento social en todas las actividades.

Durante el mes de junio se hizo entrega de elementos de protección personal y de kit de bioseguridad (Gel antibacterial y alcohol) para las salidas de campo realizadas el 1, 22 y 23 de junio, de acuerdo con lo establecido en la matriz de elementos de protección personal del SG-SST; es de precisar que la organización como medida de manejo dentro del protocolo se tiene activada la modalidad del trabajo administrativo como "Trabajo en casa".

Durante el mes de mayo se presentó un caso positivo de COVID-19, el cual fue manejado de acuerdo con el protocolo de bioseguridad del proyecto y se realizó el respectivo cierre y reintegro de la trabajadora.



Ver Anexo 4.7. Seguimiento a síntomas COVID-19

Se adjunta cuadro como resultado de encuestas de estado de salud realizada por los colaboradores

ATENCION A EMERGENCIAS

Se disponen en campo y/o en sede administrativa de los elementos de atención a emergencias como botiquín tipo B, Camilla y extintor; así como de elementos de apoyo para salvamento acuático.

Se cuenta con brigada de emergencias previamente capacitada en primeros auxilios básicos y avanzados, así como capacitación en salvamento acuático por parte del líder de la brigada.





Brigada de emergencias

VIGIA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S tiene 9 colaboradores directos por la organización y otros 3 colaboradores se encuentran con un contrato de prestación de servicios, aclarado lo anterior y en cumplimiento de la Resolución 2013 de 1986 realiza reuniones mensuales del Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo – COPASST.

Ver Anexo 4.8. Listas de chequeo vigía SST

CAMPAMENTO, SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S, cuenta con oficina administrativa ubicada en la ciudad de Bogotá, donde se cuenta con todos los servicios públicos.

Para trabajos en campo se cuenta con carpa, la cual es usada a modo de campamento, donde el personal ubica sus objetos personales de forma organizada; allí se cuenta con

suministro de agua potable y elementos de atención a emergencias, también es utilizada como resguardo en caso de lluvias. Esta carpa es instalada en cada jornada de campo y retirada una vez se finalicen actividades.

Con relación al uso de unidades sanitarias se contó con 1 unidad sanitaria y un lavamanos portátil.



INSPECCIÓN DE SEGURIDAD

Para el periodo del presente informe se realizaron las siguientes inspecciones en seguridad:

- Inspecciones locativas
- Inspección de bote
- Inspección de vehículo
- Aplicación de lista de chequeo de vehículo
- Inspección de extintor
- inspección de botiquín



Ver Anexo 4.9. Inspecciones de seguridad

El bote se usó durante la visita de campo N° 2, la cual tenía como uno de sus objetivos evaluar la pertinencia del muestreo en profundidad, para esto se usó un bote inflable en lona a base de PVC, con dos remos, el cual fue tripulado por dos profesionales, uno de ellos con conocimientos en salvamento acuático; también, para el desplazamiento seguro del bote se extendió una línea de vida anclada a dos estacas de hierro enterradas

aproximadamente 60 cm de profundidad en cada orilla. Esto se hizo en dos puntos de la Dársena, en el sector de la cosechadora y en el sector de la bocatoma.

En complemento al uso del bote, se describe en el capítulo 2. DISEÑO DEL MONITOREO, Anexo 2.3. Formato campo visita 2.; sin embargo, se hace aclaración que como resultado técnico de la salida de campo no se aplicará el muestreo en profundidad porque no se colectaron cangrejos en esta zona y en cambio sí se observó la captura de especies nativas que pueden verse afectadas por el muestreo en profundidad; Por lo tanto, el uso del bote no es necesario para los muestreos siguientes.

PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO

En el periodo con corte a 31 de mayo de 2021 y en concordancia con el PMT se elaboró el procedimiento de seguridad vial y se realizó seguimiento a la documentación de los vehículos y conductores.

En el periodo con corte a 30 de junio de 2021 y en concordancia con el PMT hizo la socialización a los conductores el procedimiento de seguridad vial, inspección general de vehículo, inducción SST e inspección preoperacional.

Ver Anexo 4.10. Seguridad vial

SEGUIMIENTO MATRIZ DE RIESGOS

En el Segundo mes del Proyecto el seguimiento y gestión de riesgos del Proyecto muestra que de los Ochenta y siete (87) riesgos establecidos en la matriz, sesenta y cuatro (64) se encuentran en seguimiento, veintiuno (21) se encuentran en seguimiento y uno (1) están activos materializados. Ver figura 28



Figura 28. Estado de Gestión del riesgo

A continuación, se presentan los riesgos que cambiaron su probabilidad durante el periodo del presente informe.

-Fila 59, Riesgo 25. Incapacidades médicas del personal por enfermedad causada por factores biológicos propios de la zona de trabajo o externos como el COVID-19, este riesgo pasa de posible a probable, debido a la completa apertura económica y a las altas estadísticas de contagio que se vienen presentando en el país.

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S continúa realizando Trabajo desde casa, aplicando protocolo de bioseguridad estricto al momento de las visitas a la planta TIBITOC y reforzando el tema de capacitación sobre medidas de prevención de contagio.

-Fila 64, Riesgo 30. Daños o pérdida de equipos, materiales o demás bienes necesarios para cumplir con las condiciones del contrato o demoras en la ejecución de las actividades del contrato por ocurrencia de fenómenos como: Asonada, motín, conmoción civil o popular y huelga y Actos mal intencionados de terceros incluyendo actos terroristas y sabotaje. Este riesgo pasa de posible a probable, teniendo en cuenta la situación de orden público en el país y constantes manifestaciones.

A continuación, se presenta un análisis de los riesgos materializados

-Fila 96, riesgo 62. Atraso en la ejecución de las actividades de acuerdo con el cronograma de actividades y al Project. Este riesgo se materializa debido a que como se identificada la ruta crítica del Proyecto es: El permiso de Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Biodiversidad Biológica con fines de Investigación Científica No Comercial, el cual por retrasos de la Autoridad ambiental no saldrá a tiempo y por lo tanto se toma la decisión de suspender el contrato (OLFRI-CTO- 0398- 002).

Ver Anexo 4.11. Matriz de riesgos del contrato

CONCLUSIONES

-Se inician actividades en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo para el proyecto “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus Clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC” en el mes de marzo de 2021, en lo relacionado a inducción y formación del personal; así como actividades de documentación del SG-SST de acuerdo con las exigencias y normas técnicas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB -ESP.

-El personal cuenta con inducción en SST y con esquema de vacunación al día de acuerdo con lo requerido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB -ESP.

-Previo al inicio de labores el personal recibe dotación y Elementos de Protección personal, se le dan instrucciones sobre su correcto cuidado y utilización y se reponen elementos en caso de ser necesario.

-En las jornadas de Trabajo en campo se realizaron actividades de orden y limpieza, buscando tener ambientes de trabajo limpios y evitar incidentes y/o accidentes de trabajo y dejar los sitios en iguales o mejores condiciones de las encontradas inicialmente.

-Se evidencia receptividad de los trabajadores a las charlas y capacitaciones de Seguridad y Salud en el trabajo; ya que se identifican buenas prácticas en cuanto a uso de los elementos de protección personal y demás estándares de seguridad.