

“Estudio de los parámetros poblacionales del Cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la Dársena de la planta Tibitoc”

PRODUCTO 3



1 DE JULIO 2022

ORGANIZACIÓN
LUIS FERNANDO
ROMERO
SANDOVAL
INGENIEROS
S.A.S.

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
Lina Fernanda Mora Ingeniera Ambiental y Sanitaria

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

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

Contenido

“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”: PRODUCTO 3.	12
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL DE CANGREJO ROJO AMERICANO <i>Procambarus clarkii</i>	14
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA DE LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE TIBITOC	26
Datos tomados <i>in situ</i>	29
Actividades de campo	29
RESULTADOS	32
DATOS HISTÓRICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA	32
DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E HIDROBIOLÓGICOS PARA LOS TRES MUESTREOS.	40
Parámetros Físicoquímicos durante el muestro de <i>P. clarkii</i>	40
Parámetros Microbiológicos	44
RELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS CON EL CANGREJO ROJO AMERICANO.	48
Discusión	50
Conclusiones	51
Comunidades Hidrobiológicas	52
Fitoplancton	52
Zooplancton	53
Macroinvertebrados	55
Macrófitas	57
Conclusiones	58
CAPÍTULO 3. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>).	59
INTRODUCCIÓN	59
MÉTODOS	59
Actividades de campo	59
Parámetros poblacionales	60
Aspectos reproductivos	61
Contenidos estomacales	63

Control	63
Sacrificio	65
Actividades de Laboratorio	65
Morfometría de <i>P. clarkii</i>	65
Análisis estadísticos de los datos	66
Resultados Generales	68
DENSIDAD POBLACIONAL	70
TIPO DE CRECIMIENTO DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TIBITOC	74
Estructura de Tallas	79
Actividades de Laboratorio	80
Discusión	82
Conclusiones	85
ASPECTOS REPRODUCTIVOS	86
Hembras	86
Machos	86
Actividades de Laboratorio	88
Disección de hembras y machos:	88
Índice gonadosomático:	90
Índice hepatosomático IHS:	90
Conteo de huevos	91
Índice de maduración	92
Resultados	93
Índice Gonadosomático (IGS)	94
Discusión	98
Conclusiones	101
DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	101
Actividades de laboratorio	101
Coeficiente de vacuidad (CV)	103
Frecuencia de ocurrencia (FO)	104
Frecuencia numérica (FN)	105
Índice de Importancia Relativa (IIR)	108
Análisis estadísticos	109

Resultados	109
Análisis de oferta alimentaria	113
Discusión	114
Conclusiones	116
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL SELECCIONADOS PARA EL CANGREJO ROJO AMERICANO.	116
INTRODUCCIÓN	116
Actividades de Laboratorio	116
Diferencias morfométricas en los organismos de control por muestreos	119
Diferencias morfométricas por tipo de trampa	120
Eficiencia de los Métodos de Captura	121
Resultados análisis estadísticos	122
Organismos en Captura Incidental	123
Discusión	126
Conclusiones	128
CAPÍTULO 5. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO 3.	130
RELACIÓN PERSONAL EN EL PROYECTO	130
Formación y Capacitación	131
Entrega de Dotación y Elementos de Protección Personal	131
CARACTERIZACIÓN DE ACCIDENTALIDAD	132
Por accidentes e incidentes de trabajo	132
Por otras causas de origen no laboral	132
Protocolos de bioseguridad para mitigar pandemia Covid-19	132
Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo	132
Comité de Convivencia Laboral	132
SEGUIMIENTO MATRIZ DE RIESGOS	132
Conclusiones	134
CAPÍTULO 6. 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
PERMISO DE RECOLECCIÓN	135
PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS	135
LITERATURA CITADA	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista dorsal de Cangrejo Rojo Americano, Fuente: Mabel Pimiento	16
Figura 2. 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).....	19
Figura 3. 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).	20
Figura 4. Ubicación de los polígonos de muestreo en la Dársena de la planta de Tibitoc. 27	
Figura 5. Puntos de muestreo en la Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc. Polígono Bocatoma norte; Polígono cosechadora; Polígono de bombeo	28
Figura 6. Toma de datos Físicoquímicos in situ.	29
Figura 7. Variaciones de caudal en la Bocatoma de la Dársena de la planta Tibitoc.	33
Figura 8. Comportamiento histórico de variables relacionadas con la carga de materia orgánica la Dársena de la planta Tibitoc.	34
Figura 9. Histórico de variables relacionadas a Nutrientes en la Dársena de la planta Tibitoc.....	34
Figura 10. Histórico de variables relacionadas a sólidos y turbidez en la Dársena de la planta Tibitoc.....	35
Figura 11. Comportamiento histórico de los parámetros físicoquímicos del agua de la Dársena de la planta de Tibitoc correspondiente al periodo del 2006 al 2021. Fuente: EAAB-ESP.	36
Figura 12. Análisis de componentes principales (ACP) del histórico de los parámetros físicoquímicos entre el año 2006 al 2022. Fuente: EAAB-ESP. Abreviaciones de los parámetros Tabla 1.....	38
Figura 13. Comportamiento las variables medidas in situ para los tres muestreos y para cada uno de los polígonos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022.....	40
Figura 14. Comportamiento de los sólidos y la turbidez para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022	41
Figura 15. Comportamiento de la Conductividad para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022.....	42
Figura 16. Comportamiento de la Materia orgánica, Carbono orgánico, Carbono inorgánico Demanda química de Oxígeno DQO, Demanda bioquímica de Oxígeno DBO y el color para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022	42
Figura 17. Comportamiento de los nutrientes, Fosforo total, Fósforo soluble, Nitratos, Nitritos y la Clorofila para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022	43

Figura 18. Comportamiento de la alcalinidad, dureza total y dureza cálcica para los tres muestreos. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022	44
Figura 19. Comportamiento de pH y el Oxígeno disuelto para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022	44
Figura 20. Variación histórica de los parámetros microbiológicos Escherichia coli y Coliformes totales desde el año 2011 al 2021.....	46
Figura 21. Resultados de las variables microbiológicas para la Dársena de la planta de tratamiento de agua Tibitoc (M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022).	46
Figura 22. Análisis de Componentes Principales de datos fisicoquímicos y microbiológicos de tres muestreos realizados en la Dársena de la planta de potabilización de Tibitoc entre diciembre de 2021 y marzo de 2022	48
Figura 23. Fitoplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Ceratium sp.; B: Pectinodesmus sp. C: Eudorina sp. D: cf. Eunotia sp. E: Melosira sp. F: Aulacoseira sp. Fuente: ANASCOL 2022.....	53
Figura 24. Abundancia de fitoplancton colectado durante los tres muestreos en la Dársena de la planta Tibitoc.	53
Figura 25. Organismos Zooplanctónicos colectados en la Dársena de Tibitoc, durante las tres fases de muestreo. (M1) Muestreo 1. (M2) Muestreo 2 y (M3) Muestreo 3.....	54
Figura 26. Organismos Zooplanctónicos colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Arcella sp.; B: Brachionus sp.; C: Keratella sp.; D: Euglypha sp.; E: Platyias sp.; F: Bullinularia sp.; Fuente: ANASCOL 2022.....	55
Figura 27. Macroinvertebrados colectados en la Dársena de Tibitoc, durante los tres muestreos. (M1) Muestreo 1. (M2) Muestreo 2 y (M3) Muestreo 3.....	56
Figura 28. Macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas colectados durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Chironomus sp.; B: Physa sp. Fuente: ANASCOL 2022.....	56
Figura 29. Macroinvertebrado (<i>Helobdella sp.</i>) colectado sobre el caparazón de <i>P. clarkii</i> en la Dársena de Tibitoc (Fuente: Mabel Pimiento).....	57
Figura 30. Macrófitas registradas durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: <i>Juncus effusus</i> ; B: <i>Ludwigia sp.</i> Fuente: ANASCOL 2022.	58
Figura 31. Detalle del cebo usado para la captura del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	60
Figura 32. Trampa Zreal. Fuente: cdir.com.br	61
Figura 33. Registro fotográfico de hembra y macho de <i>P. clarkii</i> . Izquierda – hembra, el área señalada indica los receptáculos seminales. Derecha – macho, el área señalada indica los pleópodos modificados, en el círculo azul se observan los ganchos copuladores (Fuente: Mabel Pimiento).....	62
Figura 34. Métodos de captura pasiva usados durante los muestreos. a: Trampa Accesotech o trampa cangrejera b: Trampa Zreal.....	64
Figura 35. Diseño de muestreo en campo con trampas Zreal y trampa Accesotech o trampa cangrejera, usadas para realizar control poblacional del cangrejo rojo americano <i>Procambarus clarkii</i> . Fuente: Elaboración propia.....	64
Figura 36. Diagrama con medidas morfométricas que se tomaron al cangrejo rojo americano (<i>P. clarkii</i>). En líneas rojas se muestran las medidas a evaluar: Longitud total (LT), Longitud del cefalotórax (LC), Ancho del cefalotórax (AC), Ancho del abdomen (AA). (Fuente: Catalina Sarmiento).	66

Figura 37. Número total de individuos colectados por muestreo. M1: primer muestreo; M2: segundo muestreo; M3: tercer muestreo.....	68
Figura 38. Comparación de la longitud total de hembras y machos colectados en todos los muestreos.....	69
Figura 39. Comparación de la medida del ancho del cefalotórax del número total de individuos colectados por muestreo. 1: primer muestreo; 2: segundo muestreo; 3: tercer muestreo.....	70
Figura 40. Diagrama de violín con cajas y bigotes de las medidas morfométricas y peso de los individuos de <i>P. clarkii</i> colectados en la Dársena de Tibitoc. En la parte superior las comparaciones de todos los cangrejos por muestreos (M1-primer muestreo, M2-segundo muestreo, M3 – tercer muestreo) y en la parte inferior los individuos se compararon por polígono de muestreo, P. Boc= Polígono cerca al área de la bocatoma, P. Cos= Polígono cerca al área de la cosechadora), (P. Bom= Polígono cerca al área de bombeo).	73
Figura 41. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso sin tenazas del cangrejo rojo americano; a: toda la población muestreada; b: hembras y machos totales.....	76
Figura 42. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso sin tenazas del cangrejo rojo americano sin tenazas: a: primer muestreo, b: segundo muestreo, c: tercer muestreo	77
Figura 43. Relación de la longitud del cefalotórax Vs el peso del cangrejo sin tenazas entre Hembras y machos; a: primer muestreo, b. segundo muestreo y c. tercer muestreo.	79
Figura 44. Relación del coeficiente de crecimiento por sexos vs cada muestreo.....	79
Figura 45. Histograma de intervalos de tallas de <i>Procambarus clarkii</i> en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, por campaña de muestreo. LC: Longitud del cefalotórax en mm.....	81
Figura 46. Relación entre el largo del cefalotórax y el largo total de los individuos de <i>P. clarkii</i> capturados en la Dársena de Tibitoc.	82
Figura 47. Gráfica de los datos climatológicos del periodo de estudio obtenidos de la estación climática de la planta.	83

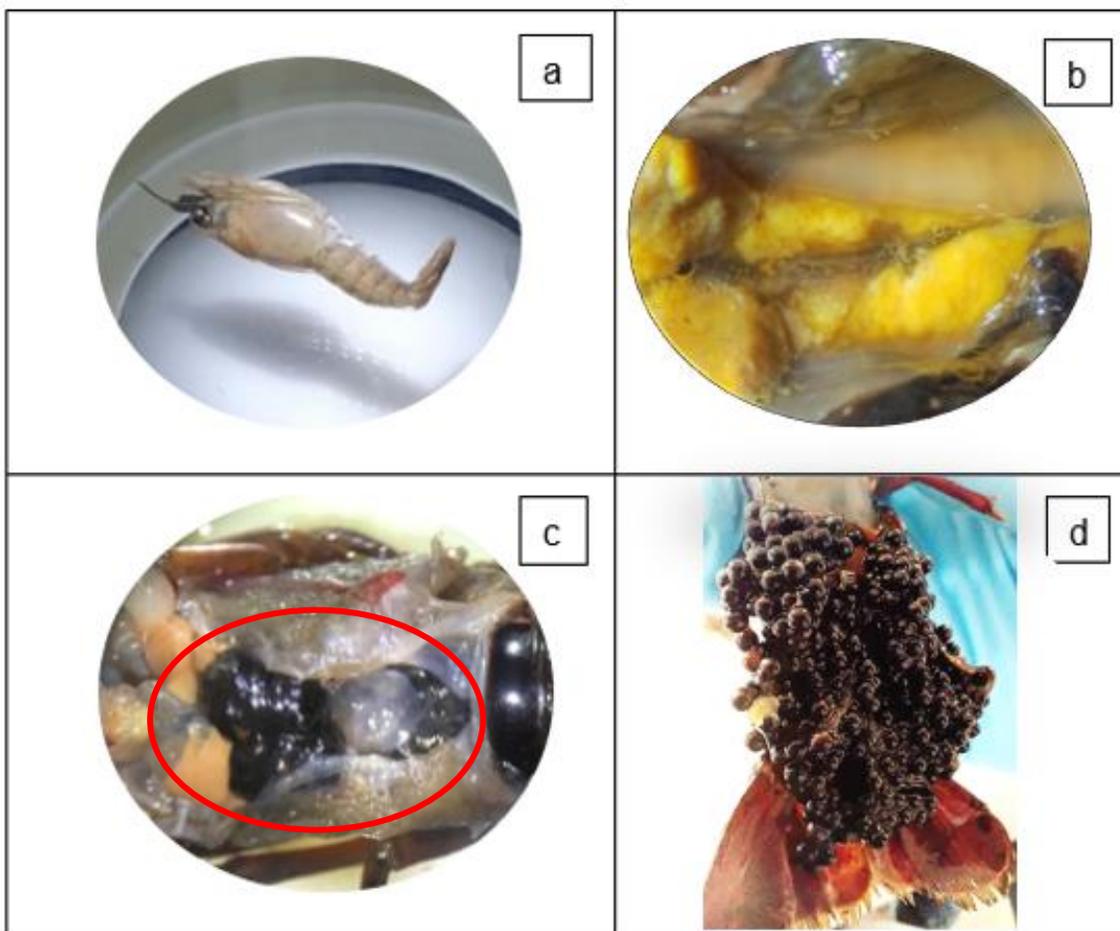


Figura 48. Registro fotográfico de cada uno de los estados de madurez de las hembras de *P. clarkii* colectados en la Dársena Tibitoc. (a) hembras inmaduras. (b) Cavidad sin gónadas presentes (huevo). (c) Hembra con huevos internos presentes (área señalada). (d) Hembra con huevos externos. Fuente: Mabel Pimiento. 87

Figura 49. Registro fotográfico de la presencia de ganchos en los machos de *P. clarkii*, categoría de madurez F2. Fuente: Mabel Pimiento 88

Figura 50. Proceso de disección y extracción de gónadas y hepatopáncreas de *P. clarkii* en el laboratorio de la UPTC. Fuente: Mabel Pimiento 89

Figura 51. Proceso de pesaje de las gónadas y hepatopáncreas en las balanzas (a.) pesaje de huevos en la balanza ultra-analítica; (b.) Pesaje de hepatopáncreas en balanza analítica. Fuente: Mabel Pimiento..... 90

Figura 52. Proceso de disección y extracción de hepatopáncreas de *P. clarkii* colectados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Fuente: Mabel Pimiento 91

Figura 53. Proceso utilizado para el registro fotográfico y medida de los huevos de hembras C4 de *P. clarkii* colectadas en los muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc. Fuente: Mabel Pimiento. 91

Figura 54. Coloración de las gónadas de las hembras de *P. clarkii* colectadas en Dársena de Tibitoc. (a.) K1 – Gónadas blancas; (b.) K2 – Gónadas amarillas; (c.) K3 – Gónadas naranjas. (d.) K4 – Gónadas cafés. Fuente: Mabel Pimiento..... 93

Figura 55. Número de individuos de <i>P. clarkii</i> por categoría de madurez colectados en la Dársena Tibitoc. (A) resultados del muestreo N°1. (B) resultados del muestreo N°2. (C) resultados del muestreo N°3. P. Boc: Polígono cerca al área de Bocatoma; P. Cos: Polígono cerca al área de Cosechadora, P. Bom: Polígono cerca al área de bombeo.	94
Figura 56. IGS (índice gonadosomático) de <i>Procambarus clarkii</i> por muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. (A) Hembras. (B) Machos. Escalas en diferentes unidades. M 1: Muestreo N°1; M 2: Muestreo N°2; M 3: Muestreo N°3.	95
Figura 57. Índice de madurez (IM) de las gónadas de las hembras de <i>P. clarkii</i> colectadas en Dársena de la PTAP de Tibitoc durante los muestreos realizados.....	97
Figura 58. Promedio de huevos internos, de las hembras colectadas en Dársena de Tibitoc durante las tres fases de muestreo.	98
Figura 59. Número de hembras de <i>Procambarus clarkii</i> por estado K de maduración de los huevos internos en los tres muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc.....	98
Figura 60. Principales ítems alimentarios A. Tejido Vegetal, B. Detritos, C. Tejido Animal	103
Figura 61. Porcentaje de frecuencia de ocurrencia (FO) para cada ítem alimentario, determinados en los tres muestreos.	104
Figura 62. Presas más abundantes identificadas en los estómagos del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc: Microalgas: a: <i>Ankistrodesmus</i> sp.; b: <i>Achnanthydium</i> sp.; c: <i>Oedogonium</i> sp.; d: <i>Desmodesmus</i> sp.; e: <i>Pinnularia</i> sp.; f: <i>Gomphonema</i> sp.; g: <i>Fragilaria</i> sp. Macroinvertebrados: h: Chironomidae.; i: Diptero Adulto y j: Dolichopodidae. Zooplancton: k: <i>Euglypha</i> sp. Fuente: F. Mesa.	106
Figura 63. Representación gráfica del índice de importancia relativa (IIR) durante el tiempo de estudio	109
Figura 64. Porcentaje de representatividad de los ítems alimentarios durante los tres muestreos	110
Figura 65. Frecuencia numérica y total de presas identificadas en los tres muestreos; a: Muestreo N° 1, b: Muestreo N° 2 y c: Muestreo N° 3.	111
Figura 66. Número de individuos de <i>Procambarus clarkii</i> colectados en los tres muestreos realizados para el control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.	117
Figura 67. Número de individuos de <i>Procambarus clarkii</i> colectados en el primer muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo; (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.	118
Figura 68. Número de individuos de <i>Procambarus clarkii</i> colectados en el segundo muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.....	118
Figura 69. Número de individuos de <i>Procambarus clarkii</i> colectados en el tercer muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.	118
Figura 70. Mediciones morfométricas de individuos <i>P. clarkii</i> colectados en trampas de control para los tres muestreos. a Valores de peso de los organismos completos, b: Valores de longitud del cefalotórax, y c: Valores de longitud total de los organismos.....	120
Figura 71. Mediciones morfométricas de individuos <i>P. clarkii</i> por tipo de trampa en todos los muestreos realizados: a: Valores de peso de los organismos completos, b: Valores de longitud del cefalotórax, y c: Valores de longitud total de los organismos.....	121

Figura 72. Número de organismos en captura incidental en 120 trampas teniendo en cuenta aspecto evaluado, polígonos y tipo de trampa en cada uno de los muestreos realizados.	124
Figura 73. Organismos colectados en captura incidental. a: <i>Eremophilus mutisii</i> (Capitán de la sabana), b: <i>Grundulus bogotensis</i> (Guapucha), c: Renacuajo rana; d: <i>Poecilia</i> sp. (Guppy), e: Cyprinidae, f: <i>Cyprinus carpio</i> (Carpa),.....	125
Figura 74. Número de organismos según la especie, capturados incidentalmente en los dos tipos de trampas durante todo el estudio.	126
Figura 75. Número de trampas efectivas según tipo de trampa para captura incidental en los tres muestreos realizados.....	126
Figura 76. Estado de Gestión del riesgo	133
Figura 77. Registro fotográfico de la recolección de residuos generados en el laboratorio de la UPTC.....	137

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables físicas, químicas y biológicas cuantificadas en la Darsena de Tibitoc (Laboratorio ANASCOL).....	30
Tabla 2. Promedio de las variables in situ, medidas en los tres polígonos y por muestreo; P. Bocatoma), P. cosechadora y P. Bombeo M1 primer muestreo diciembre de 2021, M2: segundo muestreo enero de 2022 y M3: muestreo marzo de 2022.....	38
Tabla 3. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y densidad poblacional por muestreo, polígono y trampa. Datos obtenidos a partir de N° cangrejos/trampa (N°c/t) y N° cangrejos colectados/polígono (N°c/p); Polígono Boc: Polígono cerca al área de Bocatoma (entrada del río Bogotá); Polígono cos: Polígono cerca al área de Cosechadora. Polígono Bom: Polígono cerca al área de bombeo.....	70
Tabla 4. Diferencias estadísticas del peso y la longitud total del cangrejo rojo por muestreo y por polígono. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba (** p valor <0.02).	74
Tabla 5. Valores del índice hepatosomático por cada categoría de madurez sexual de los organismos de <i>P. clarkii</i> colectados en la Dársena de Tibitoc.....	96
Tabla 6. Diferencias estadísticas del IGS e IGS del cangrejo rojo por de hembras y machos por muestreo. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba.	96
Tabla 7. Promedios de longitud y numero de machos y hembras a las cuales se les realizó análisis de contenidos estomacales.....	102
Tabla 8. Coeficiente de vacuidad para el primer, segundo y tercer muestreo.	104
Tabla 9. Frecuencia Numérica de presas identificadas en los estómagos de <i>P. clarkii</i> para cada uno de los muestreos y el total en la Dársena de PTAP de Tibitoc.	107
Tabla 10. Estadística descriptiva para los principales ítems alimentarios para los dos muestreos: T.Veg: Tejido Vegetal; T. Ani: Tejido Animal y Det: Detritos.	110
Tabla 11. Índice de Shanon-Weiner para comparar la riqueza de presas consumidas por <i>P. clarkii</i> entre los tres muestreos y entre machos y hembras.....	111
Tabla 12. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los tres muestreos.....	112
Tabla 13. Prueba estadística Kruskal-Wallis para la abundancia de presas del cangrejo rojo por muestreo, polígono y sexo. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba.	113

Tabla 14. Presas compartidas entre el análisis de comunidades hidrobiológicas y morfoespecies identificadas en los contenidos estomacales. M1: muestreo 1; M2: muestreo 2; M3: muestreo 3; CE: contenido estomacal; CH: comunidades hidrobiológicas.	114
Tabla 15. Efectividad de los métodos de captura del cangrejo rojo americano (<i>P. clarkii</i>) en la Dársena de la planta Tibitoc.	122
Tabla 16. Diferencias estadísticas del número de organismos de cangrejo rojo por tipo de trampa, polígonos y muestreos. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba.	123
Tabla 17. Personal y Seguridad social del proyecto.	130
Tabla 18. Capacitaciones realizadas desde el área de Seguridad y Salud en el Trabajo	131
Tabla 19. Relación entrega de elementos de protección personal (EPP).	131
Tabla 20. Relación de residuos peligrosos generados vs certificados Fuente. OLFRSI, 2022.	136

“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”: PRODUCTO 3.

INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene los resultados del Producto 3, que corresponden al desarrollo de la investigación sobre la biología y ecología del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*), la relación del cangrejo rojo con las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas e hidrobiológicas de la Dársena, así como la evaluación de los métodos de control para esta especie. Este Producto también incluye un capítulo relacionado con los aspectos de Seguridad y salud en el trabajo (SST) y otro con los aspectos ambientales del Proyecto.

El Cangrejo rojo americano (*P. clarkii*), es una especie reconocida internacionalmente como invasora, lo cual ha sido ampliamente documentado por diferentes investigaciones alrededor del mundo en los lugares donde ha sido introducida; actualmente se encuentra en tres departamentos en Colombia (Valle del Cauca, Cundinamarca y Boyacá) y desde el año 2018 se detectó su presencia en la Dársena de la Planta de tratamiento de agua de Tibitoc (Jefe de División: Carlos Alberto Rincón *com. pers.* 1 de junio del 2021).

Por su biología el cangrejo rojo americano tiene la capacidad de afectar la calidad del agua de la Dársena ya sea por la construcción de madrigueras o por la remoción continua del fondo de la Dársena para alimentarse de detritos, estas actividades del cangrejo rojo pueden aumentar la turbidez, afectar la infraestructura y jarillones de la Dársena, así como disminuir la función de presedimentación.

Con base en la problemática anteriormente descrita, este proyecto tiene por objeto estudiar la biología y ecología del cangrejo rojo americano (*P. clarkii*), evaluar el potencial impacto de la población del cangrejo sobre la calidad del agua de la Dársena y plantear una propuesta de protocolo para el monitoreo y control de la población del cangrejo rojo, que reduzca el tamaño de la población del cangrejo en la Dársena de la Planta Tibitoc.

Los resultados del Producto 3 se presentan en seis capítulos: En el capítulo 1 se habla sobre el marco conceptual de la especie, en el capítulo 2 se realiza la caracterización del agua de la Dársena a través de la descripción y análisis de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos, también se analizaron los datos históricos de la Bocatoma norte suministrados por el acueducto para identificar la dinámica de dichas variables antes y después de ser detectado el cangrejo rojo americano en la Dársena; en el capítulo 3, se analizaron algunos aspectos de la biología y ecología del cangrejo rojo americano relacionadas con su éxito reproductivo y su capacidad de colonización y establecimiento en la Dársena, para ello se estudió la densidad poblacional, la proporción de hembras y machos, su estado reproductivo, el número de huevos internos y externos, se realizó una aproximación a la estructura de tallas, también se estudió el contenido estomacal de los cangrejos para determinar la dieta del cangrejo rojo americano en la

Dársena, la dieta del cangrejo se comparó con la comunidad hidrobiológica encontrada en la Dársena y también se correlacionaron algunas de las variables fisicoquímicas con la abundancia total de individuos por muestreo y la abundancia de hembras y machos.

En el capítulo 4, se evaluó la efectividad de los métodos propuestos para el control del cangrejo rojo en la Dársena; el capítulo 5, presenta un informe detallado con todas las actividades relacionadas con el área Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) del Proyecto y finalmente, en el capítulo 6 se describen aquellas relacionadas con los aspectos ambientales del Proyecto.

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL DE CANGREJO ROJO AMERICANO *Procambarus clarkii*

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 (Mc Neely 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).

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 el país, el cangrejo rojo americano fue introducido en 1985 en el Valle del Cauca por la "Agropecuaria Heliodoro Villegas Sucesores S.A." con Registro sanitario ICA N° ON 867-85, en calidad de especie experimental (Flórez-Brand y Espinosa-Beltrán, 2011). En 1988 se presentó una fuga accidental en la cuenca del río Palmira (Álvarez-León y 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 y 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 (Arias-Pineda y Rodríguez, 2012). Entre los años 2015 y 2017 se realizaron muestreos en cinco 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 y Pedroza-Martínez, 2018).

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 y 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 y Rebelo, 2007).

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 el 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.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Procambarus clarkii (Girard, 1852), es un crustáceo que pertenece a la familia Cambaridae, conocido como cangrejo rojo, cangrejo de las marismas o cangrejo rojo americano.

Procambarus clarkii Girard, 1852

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Malacostraca

Orden: Decapoda

Infraorden: Astacidea

Familia: Cambaridae

Género: *Procambarus* (Ortmann, 1905)

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

(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. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA ESPECIE

1.1. 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 y Acquistapace, 2007; Pineda y Rodríguez, 2012).

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 y 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).

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. González-Gamboa et al., (2022), reportan la interacción existente con otras especies de macroinvertebrados cuya distribución natural al igual que el cangrejo rojo, es de centro y Norteamérica.

1.2. 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 y Espinosa-Beltran, 2011).

1.3. 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 períodos de aguas bajas (Flores-Brand y Espinosa-Beltran, 2011).

1.4. 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 y 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 2). 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).

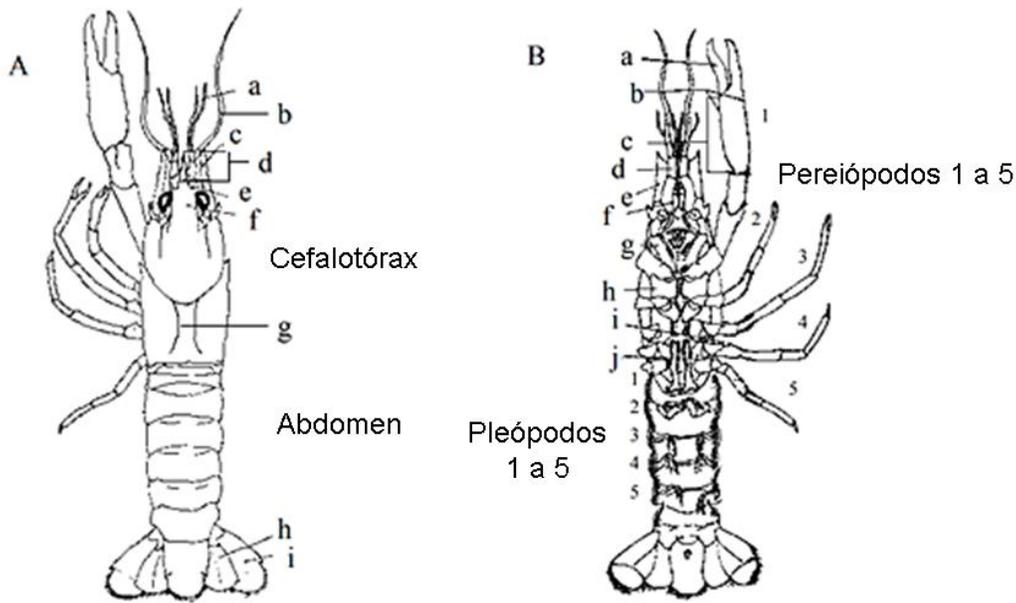


Figura 2. Morfología externa de cangrejos rojos (adaptado de Anastácio, 1993). La vista dorsal macho (A): a. anténula, b. antena, c. escama antenal, d. cresta del rostro, e. Espícula marginal, f. rostro, g. areola, h. rama interior del urópodo, i. rama exterior del urópodo. Vista ventral (B): a. dáctilo, 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).

El cangrejo rojo americano presenta dimorfismo sexual. Las hembras son a veces más pequeñas que lo 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 3B). 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 3A). (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017).

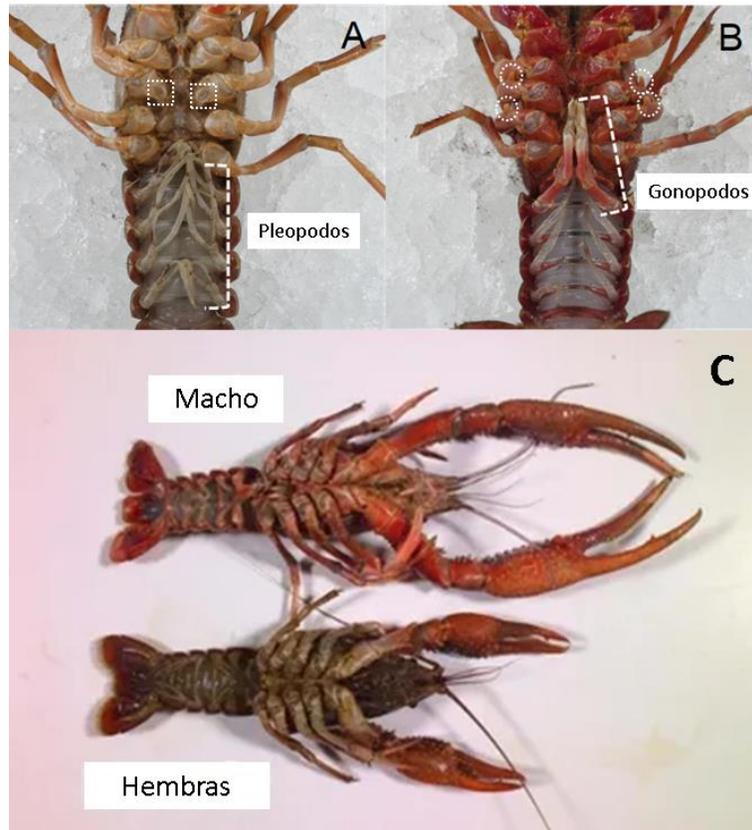


Figura 3. Dimorfismo sexual de *Procambarus clarkii*. Se muestran las diferencias entre hembras y machos. A. Vista ventral de órganos reproductivos de las hembras, B. Vista ventral de órganos reproductivos de los machos y C. Comparación morfológica de los dos. En cuadros punteados se muestra la apertura de los oviductos en el tercer par de pereiópodos. En círculos punteados se muestran los ganchos copuladores. (Modificado de Hamasaki et al., 2020).

1.5. REPRODUCCIÓN

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), 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).

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" (Callejas y Díaz, 2019). Las gónadas femeninas de *P. clarkii*, cambian de coloración, según el estado de madurez de las hembras y su tamaño (Davila et al., 2009).

En los machos de *P. clarkii*, existen dos canales deferentes enrollados uno a lado y lado del testículo del cangrejo, 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).

2. ECOLOGÍA TRÓFICA

La introducción de cangrejo rojo americano 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 y Olden, 2016)

En el estudio realizado por Larson y 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, et al., 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).

Recientes estudios, como los de Veselý *et al.*, (2021) encontraron que los cangrejos depredadores *Procambarus virginialis* 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).

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).

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.

A nivel nacional se conoce el trabajo de Callejas y Díaz (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 y 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.

3. 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 y 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 y Pedroza - Martínez et al., (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.

4. 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:

4.1. 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 y Light, 1996).

4.2. 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).

4.3. Impactos en 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 y 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 y 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, aumento de la turbidez del agua y los sedimentos finos (Anastácio y 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).

4.4. 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, Kazakova (2020), realizó ensayos de biocumulación de principios activos farmacológicos empleando como bioindicador a *P. clarkii* en el parque de Doñana. Esto debido, a que los medicamentos empleados en actividades como acuicultura, desechos 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.

4.5. 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 y 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-Uribeondo 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 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.

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).

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA DE LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE TIBITOC

La planta de tratamiento de agua potable de Tibitoc (PTAP Tibitoc), se encuentra ubicada en el Municipio de Tocancipá a unos 40 Km hacia el norte de la ciudad de Bogotá, en el cuadrante: 4°59'1.38"N y 73°58'6.26"O; 4°59'1.38"N y 73°57'46.92"O; 4°58'35.88"N y 73°57'46.92"O; 4°58'35.88"N y 73°58'6.26"O (según el documento de condiciones y términos de la invitación IT15352020). La PTAP de Tibitoc pertenece al Sistema Agregado Norte del Sistema de Abastecimiento de la ciudad de Bogotá y sus municipios anexos (Acueducto de Bogotá, 2015). Abastece algunos sectores como Engativá, Fontibón, Tintal Central y Suba (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP, 2006).

La PTAP Tibitoc trata aguas provenientes de los Ríos Bogotá y Teusacá, haciendo parte de este sistema los embalses Sisga, Neusa y Tominé. Una vez captada el agua, se conduce hasta la estructura conocida como la Dársena donde se lleva a cabo el proceso de pre sedimentación; la Dársena cuenta con un área superficial de 25,5 hectáreas aproximadamente y una profundidad media de seis metros, esta estructura posee diques de tierra que funcionan como baffles en su interior y permiten direccionar el flujo del agua desde la Bocatoma norte (entrada del río Bogotá) hacia el área de bombeo (área donde ingresa el agua a la planta de tratamiento) (Rodríguez Ospina, 2004). La PTAP 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 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015) (figura 4).



Figura 4. Ubicación de los polígonos de muestreo en la Dársena de la planta de Tibitoc.

METODOLOGÍA

Para la caracterización física, química y biológica del agua de la Dársena se analizaron tres tipos de datos, los datos históricos que fueron suministrados por la EAAB-ESP, este conjunto de datos corresponde a 3291 datos de 67 variables medidos trimestral, mensual y durante los días de muestreo en el punto Bocatoma de Dársena durante los últimos 16 años (figura 4), esta información permite caracterizar con mayor precisión el agua desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico.

Los otros conjuntos de datos corresponden a los tomados durante el desarrollo de la investigación en tres áreas de la Dársena denominadas Polígonos. El primero corresponde al Polígono Bocatoma Norte cercano a la entrada del río Bogotá, el segundo corresponde al Polígono Cosechadora corresponde con un área intermedia de la Dársena, se le adjudicó este nombre por la presencia de maquinaria destinada a la cosecha de plantas acuáticas y el último corresponde al denominado Polígono Bombeo último tramo de la Dársena próxima a la captación para su potabilización (figura 5).

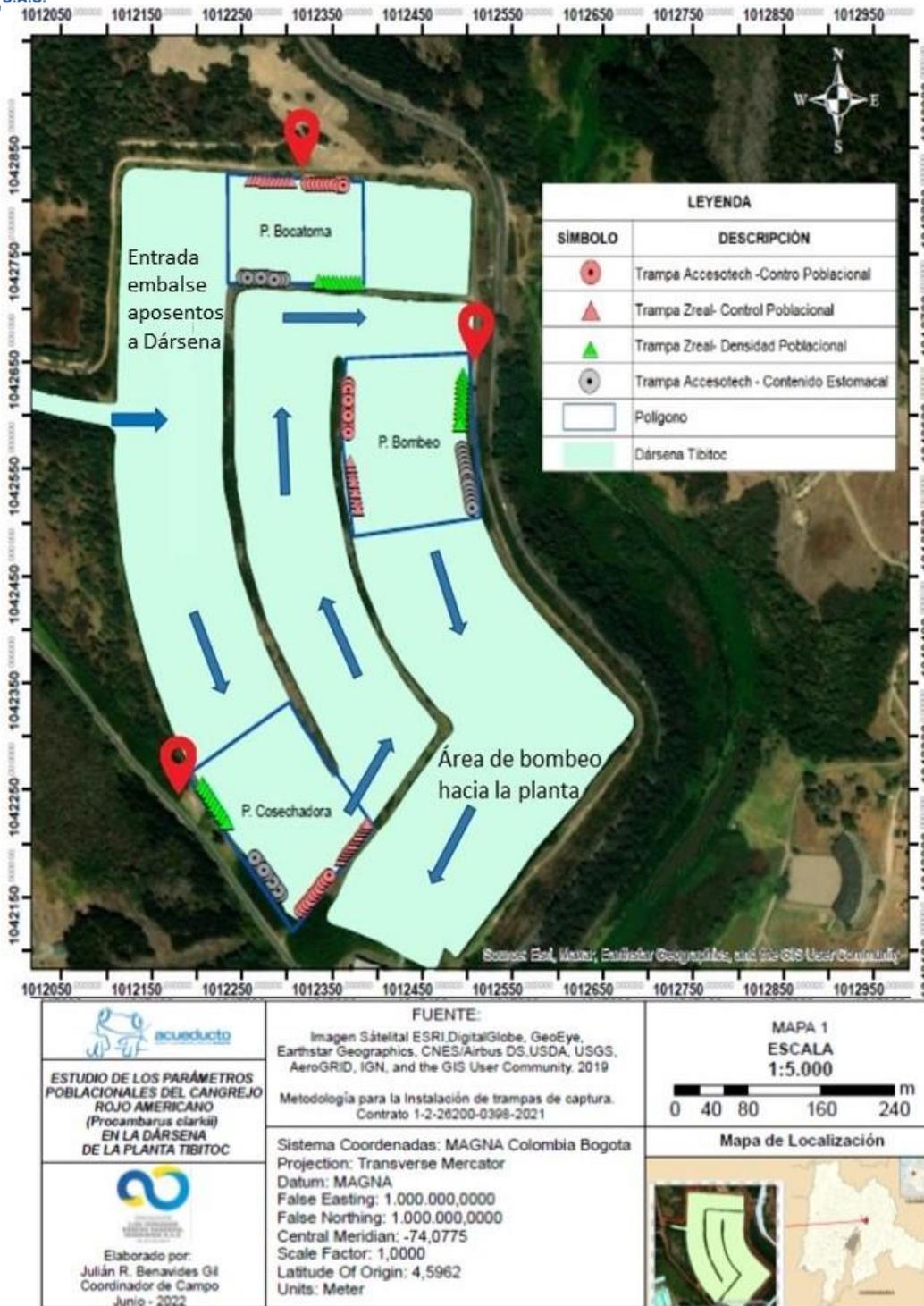


Figura 5. Puntos de muestreo en la Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc. Polígono Bocatoma norte; Polígono cosechadora; Polígono de bombeo

Datos tomados *in situ*

Para cada una de las salidas de campo se hizo la toma de muestra de agua en cada uno de los polígonos donde se ubicaron las trampas para capturar al cangrejo rojo americano, esto con el fin de medir los parámetros de pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto y conductividad, que nos permitan verificar las condiciones fisicoquímicas en las que se encuentra el agua durante el proceso de captura de los cangrejos rojos.

Actividades de campo

La metodología utilizada para la toma de los datos *in situ* en la Dársena de Tibitoc, se hizo tomando muestras directamente en la fuente superficial y seguido a esto se registró la información que mide el multiparámetro. Los sitios definidos para los muestreos son cada uno de los polígonos donde se instalaron las trampas para capturar al cangrejo rojo americano (figura 5), estos parámetros se tomaron para los tres polígonos en cada uno de los muestreos, los cuales se realizaron entre el 14 al 16 de diciembre del 2021 (primer muestreo) y entre el 26 y 27 de enero del 2022 (segundo muestreo) y el 8 y 9 de marzo de 2022 (tercer muestreo). El equipo utilizado para la toma de datos es un multiparámetro HACH HQ40d, con sondas para cada uno de los parámetros, es importante resaltar que el equipo cuenta con los sellos de calibración lo que garantiza que los resultados obtenidos son correctos (figura 6).



Figura 6. Toma de datos Fisicoquímicos *in situ*.

La OLFRS contrató los servicios de ANASCOL, laboratorio certificado por el IDEAM, para la recolección y análisis de 41 variables fisicoquímicas, seis microbiológicas y cuatro hidrobiológicas de la Dársena de la PTAP de Tibitoc; estas muestras se tomaron con el fin

de monitorear las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas e hidrobiológicas presentes en el cuerpo de agua, al momento de realizar los muestreos del cangrejo rojo americano; los parámetros medidos por el laboratorio corresponden a los relacionados en la norma NS-013 de la EAAB-ESP y otros parámetros adicionales que pueden estar relacionados con el cangrejo rojo (Tabla 1).

Tabla 1. Variables físicas, químicas y biológicas cuantificadas en la Darsena de Tibitoc (Laboratorio ANASCOL)

Variable	Método	Abreviatura	Unidades	Límite de cuantificación
Aceites y Grasas	NTC 3362:2011-11-30 Numeral 4, Método C Modificado		mg Aceites y Grasas/L	<1
Alcalinidad Total	S.M 2320 B	Alca	mg CaCO ₃ /L	
Aluminio total	SM 3030 E- SM 3111D	Al	mg Al/L	<0,5
Calcio Total	SM 3500 - Ca B	Ca	mg Ca/L	
Carbonatos	SM 4500-CO ₂ D	CO ₃	mg CaCO ₃ /L	<0,2
Carbono Orgánico Total ²	SM 5310 D	COT	mg/L	
Carbono Inorgánico (Mineral) ⁴	Jrodier, 9na edición 2011	Cinor	mg CO ₂ /L	<4
Cianuro Libre Disociable	SM 4500CN - B.C.D.I		mg CN/L	<0,4
Cianuro Total	SM 4500CN – B, C, D		mg CN/L	<0,1
Cloruros	SM 4500 – Cl ⁻ B	Cl	mg Cl/L	
Clorofila ²	SM 10200 H	Cloro	mg/m ³	<0,5
Color real o verdadero	SM 2120 C	Color	UPC	<10
Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₅	SM 5210B modificado, ASTM 888-18 e-1, Método C	DBO	mg O ₂ /L	
Demanda Química de Oxígeno – DQO	SM 5220 D Modificado	DQO	mg O ₂ /L	
Dureza Cálcica	SM 3500 – Ca B	DurCa	mg CaCO ₃ /L	
Dureza Total	SM 2340 C	Dure	mg CaCO ₃ /L	
Fósforo Total	SM 4500-P-B E	PT	mg P/L	<0,05
Fosforo Soluble ⁴	Filtración - SM 4500-P-B E	PO ₄	mg P/L	<0,05
Hierro total	SM 3030 E- SM 3111B	Fe	mg Fe/L	
Magnesio Total	SM 3030 E – SM 3111B	Mg	mg Mg/L	<0,1
Manganeso	SM 3030 E – SM 3111B	Mn	mg Mn/L	
Nitratos	Jrodier, 9na edición 2011	NO ₃	mg NO ₃ - N/L	
Nitritos	SM 4500-NO ₂ ⁻ B	NO ₂	mg NO ₂ - N/L	<0,005
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500- NH ₃ B, C	NH ₄	mg N- NH ₃ /L	<2
Nitrógeno Kjeldahl	SM4500Norg C, SM 4500 NH ₃ B, C	NTK	mg NK/L	<4

Variable	Método	Abreviatura	Unidades	Límite de cuantificación
Nitrógeno Total ³	Cálculo (NK + Nitratos + Nitritos)	NT	mg N/L	<4
Sodio	SM 3030 E- SM 3111B	Na	mg Na/L	
Silice (SiO ₂) ²	SM-3120B	Si	mg/L SiO ₂	
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D	SS	mg SST/L	<10
Sólidos Totales	SM 2540 B	ST	mg ST/L	<60
Sólidos Disueltos Totales ²	SM 2540 C	SD	mg /L	
Sulfatos	SM 4500-SO ₄ ²⁻ - E	SO4	mg SO ₄ ²⁻ /L	<10
Turbiedad	SM 2130 B	Turb	NTU	<2
Sólidos Sedimentables ¹	SM 2540 F	SS	mL/L	<0,1
Temperatura Ambiente ¹	SM 2550 B	Temp	°C	
pH ¹	S.M. 4500 – H ⁺ B	pH	Unidades de pH	
Conductividad ¹	SM 2510 B	Cond	μS/cm	
Oxígeno Disuelto ¹	ASTM 888-18 e-1, Método C	Oxi	mg O ₂ /L	
Temperatura ¹	SM 2550 B	Temp	°C	
Variables microbiológicas				
Coliformes Totales	SM 9223 B	Col T	UFC/100 mL	
<i>Escherichia coli</i>	SM 9223 B /QUANTITRAY	<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	
Coliformes Termotolerantes	SM 9222 D	Col term	UFC/100 mL	
Levaduras	SM 9610 D Modificado	Lev	UFC/100 mL	
Recuento de Heterótrofos	SM 9215 B (2)	Hetero	UFC/100 mL	
Clostridium Sulfito reductor	NTC 5056 (28)	Clost	UFC/100 mL	
Salmonella sp	SM 9260 B (2)	Salmonella	UFC/100 mL	
Variables hidrobiológicas				
Fitoplancton	SM 10200 B,F	Fito	células/L	N.A.
Zooplancton		Zoo	Individuos /L	N.A.
Macroinvertebrados		Macroinv	individuos /m ²	N.A.
Macrófitas		Macrófitas	% cobertura	N.A.

La toma de muestras en cada una de las salidas de campo se realizó asignando un polígono para cada muestreo, esto con base en la información de los parámetros fisicoquímicos tomados *in situ* por la OLFRS desde la primera visita de reconocimiento en junio del 2021;

Estas medidas permitieron evidenciar que dentro de la Dársena las variables no presentaban grandes cambios entre los polígonos del diseño del muestreo.

La metodología utilizada por el laboratorio está descrita en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird et al., 2012), para el caso de los parámetros físicoquímicos, para el caso de los análisis hidrobiológicos se usó la metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva Marco del agua, confederación hidrográfica del Ebro, (Villafañe & Reid, 1995). Todos estos aprobados por el IDEAM.

El Análisis de la información se realizó mediante análisis gráficos de tendencia tanto para variables históricas como para los datos de los muestreos y se utilizaron técnicas de ordenación como el Análisis de Componentes Principales (ACP), los cuales permitieron extraer tendencias temporales y/o espaciales en el caso de los muestreos puntuales realizados entre diciembre de 2021 y marzo de 2022. Estos análisis se llevaron a cabo en el programa CANOCO 4.5, los datos fueron transformados con la expresión $\ln+1$ a excepción del pH y posteriormente estandarizados, para cumplir los supuestos de análisis paramétricos según las recomendaciones de Guisandé et al. (2006). Los parámetros con valores no cuantificables fueron eliminados de los análisis.

Así mismo se realizaron regresiones simples entre diferentes parámetros relacionados con la calidad del agua y el tiempo para observar las tendencias de las variables a través de los años de seguimiento, este análisis se realizó con el programa Statgraphic Centurion XV, se representaron los datos en que se obtuvieron relaciones significativas.

RESULTADOS

DATOS HISTÓRICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se realizó un análisis descriptivo para el historial de variables físicoquímicas, registradas en la Bocatoma norte de la Dársena de Tibitoc en una ventana de tiempo de 16 años (desde el año 2006 hasta el año 2022), ya que este rango de tiempo incluye el año (2018) en el que por primera vez que fue observado el cangrejo rojo americano en la Dársena. De la base datos compartida por la EAAB, se depuraron parámetros que fueron reportados por debajo del límite de cuantificación o como variable no cuantificable, además se seleccionaron variables que según la literatura describen la calidad del agua y alguna relación que favorezca el desarrollo de las poblaciones de cangrejo rojo.

Inicialmente se describe el comportamiento del caudal histórico en la Bocatoma norte de la Dársena de la planta Tibitoc en el cual se observa que la PTAP ha recibido un caudal promedio anual de 2802 L/s de agua, fluctuando entre (1192 L/s en 2012 y 5071 L/s en 2011) a la vez se puede observar registros de caudal 0 L/s en marzo de 2017 y diciembre de 2018 (figura 7), fechas en las cuales se han realizado procesos de limpieza en la Dársena, y que coinciden con las épocas en las cuales se han observado individuos de

cangrejo rojo por fuera del cuerpo de agua, según información por parte de funcionarios de la planta.

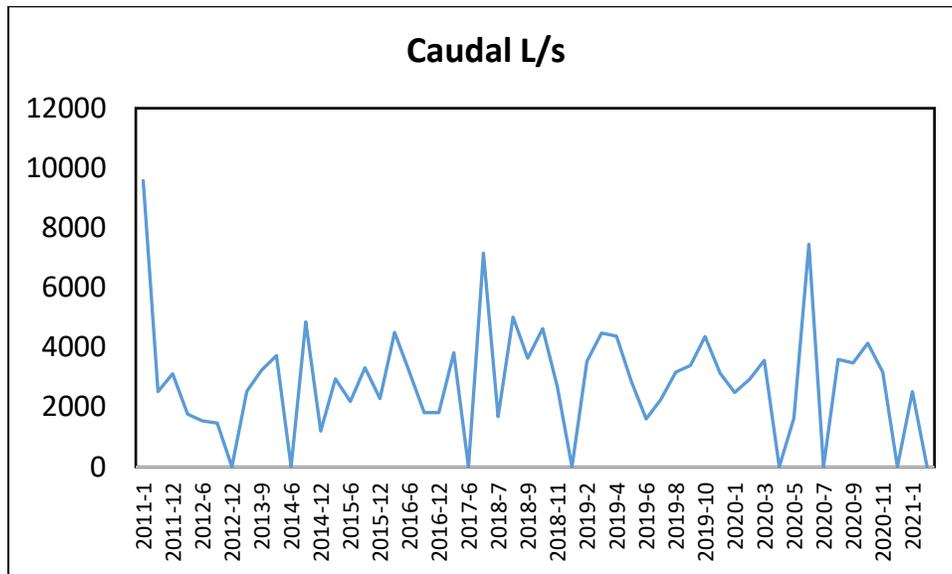


Figura 7. Variaciones de caudal en la Bocatoma de la Dársena de la planta Tibitoc.

En la figura 8, podemos observar que todos los parámetros presentan un comportamiento fluctuante a través del tiempo dentro de unos rangos de 2,04 mg/L y 15,6mg/L para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); 10 mg/L y 104,6 mg/L para la demanda química de oxígeno (DQO); 2,10 mg/L y 13, 10 para el carbono orgánico total (COT); 2,28 mg/L y 20,3 mg/L de carbono inorgánico, el color presentó valores entre 13 unidades de Platino Cobalto (UPC) y 80 UPC, que son los esperados para este tipo de agua, sin embargo, se observó que entre el 2018 y 2019, algunos parámetros presentaron su mayor variabilidad, donde la demanda química de oxígeno (DQO) pasó de 28,7 mg/L a 104,6 mg/L en noviembre de 2018, y a partir de diciembre de 2018 retorna a sus valores promedios, en cuanto la demanda bioquímica de oxígeno se ha mantenido constante en el tiempo, para la variable color se presenta aumento de 80 unidades de platino cobalto (UPC) en agosto de 2019 y disminuye gradualmente hasta noviembre de 2019. Este comportamiento de variables puede indicar que en la Dársena se acumula parte de la materia orgánica alóctona y/o autóctona que ingresa a la Dársena.

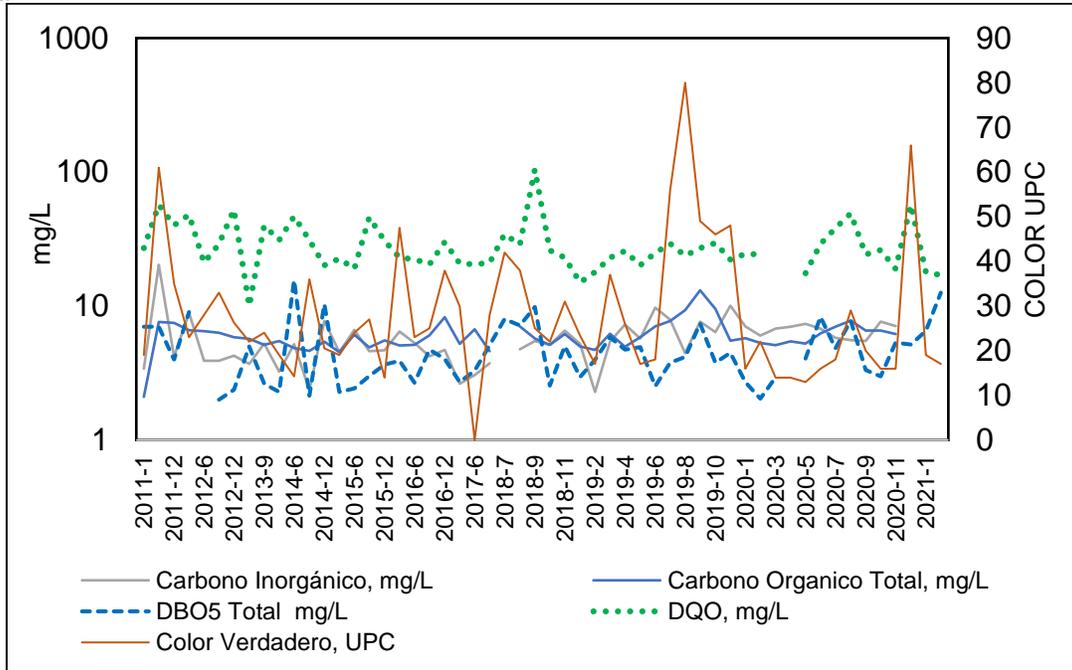


Figura 8. Comportamiento histórico de variables relacionadas con la carga de materia orgánica la Dársena de la planta Tibitoc.

Los nutrientes como el fósforo total presentaron un comportamiento constante a excepción de marzo de 2016 en el cual se observaron valores de 1,27 mg/L y presentó su valor máximo de 1,69 mg/L en diciembre de 2020. El amonio es otra de las variables importantes que registró valores de 1,16 mg/L en noviembre y diciembre de 2018 y de 1,23 mg/l en mayo de 2019 y presentó su máximo valor de 1,90 mg/L en diciembre de 2020 (figura 9). El comportamiento de estas variables puede indicar un incremento en la eutrofización del sistema a medida que pasa el tiempo (Ryding & Rast, 1989).

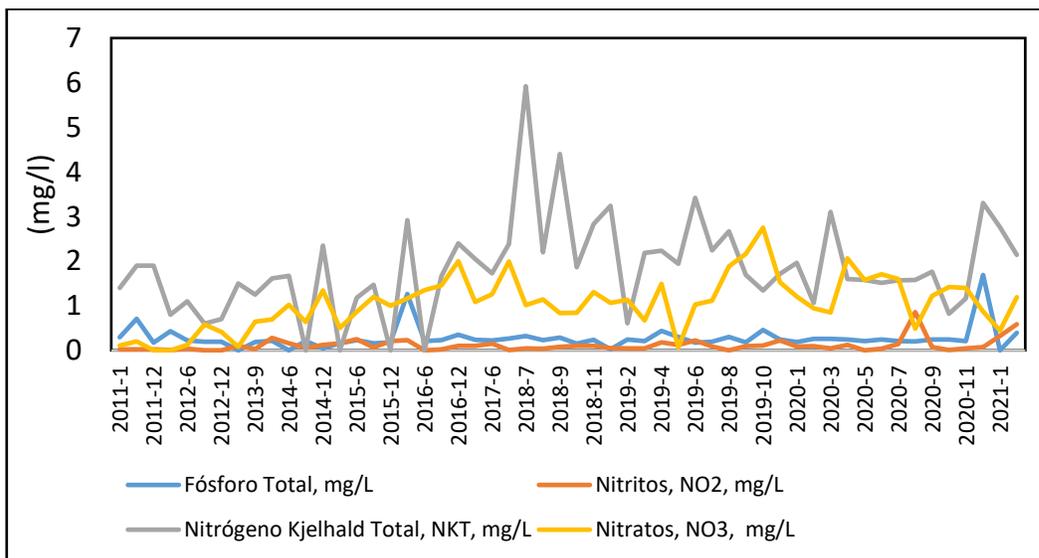


Figura 9. Histórico de variables relacionadas a Nutrientes en la Dársena de la planta Tibitoc.

En cuanto a la turbidez presentó aumento significativo en septiembre de 2018 con valores de 111 unidades Nefelométricas de turbidez (UNT) y el cual baja a 13 UNT en noviembre del mismo año (figura 10), además, la turbidez mantiene un promedio de 25 UNT en la temporada de junio a diciembre de 2020. En cuanto a los sólidos totales presentó valores que oscilan entre 83 y 330 mg/L siendo enero de 2020 con mayor carga de sólidos totales, además en octubre de 2018 las variables de sólidos totales y sólidos suspendidos presentaron aumento de 50 a 131 mg/L y la turbiedad registró valores máximos de 111 UNT.

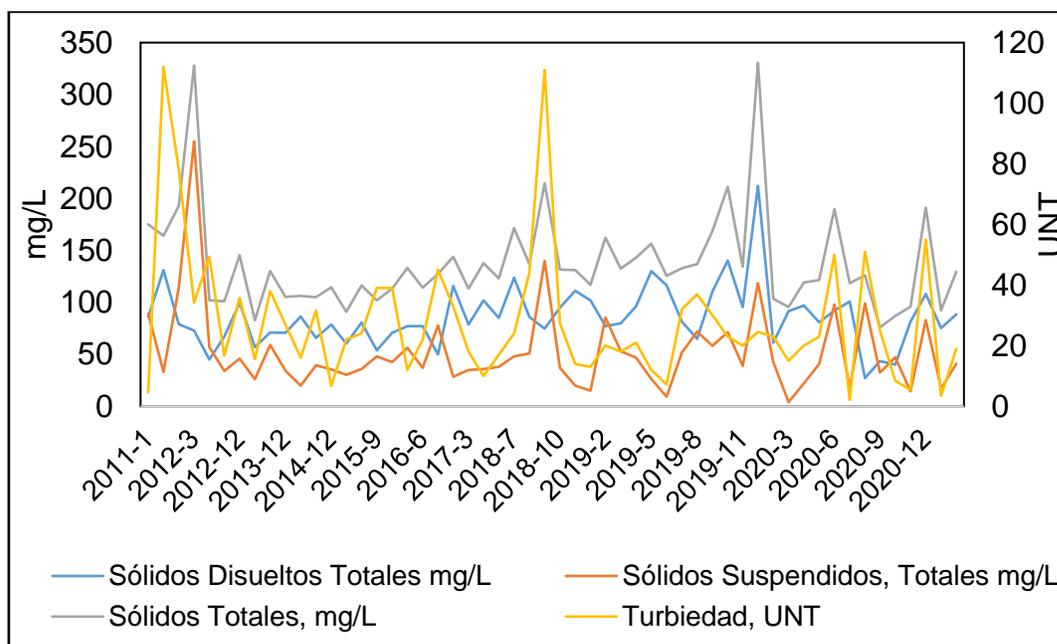


Figura 10. Histórico de variables relacionadas a sólidos y turbidez en la Dársena de la planta Tibitoc.

Un análisis de regresión lineal entre las variables fisicoquímicas y el tiempo evidenció que los nitritos, nitratos, amonio, cloruros y alcalinidad tienden a aumentar levemente sus concentraciones a lo largo del tiempo, por otro lado, el coeficiente de determinación presenta valores menores al 20% de la varianza explicada en los modelos, debido a la amplia dispersión de los datos en los años 2019 y 2020, sin embargo, el modelo representó la tendencia al cambio en la calidad de agua de la cuenca.

Por otro lado, variables como el oxígeno disuelto y el pH tienden a disminuir en el tiempo, en el caso del Oxígeno el modelo explica el 46 % de la varianza de los datos y el pH, el modelo representa el 16% de la varianza de los datos, los valores van de neutros a ligeramente ácidos en el tiempo. El comportamiento de estas variables refleja que el

sistema presentó un aumento en la eutrofización, desmejorando la calidad de agua y representando la variabilidad de la misma en el tiempo (figura 11).

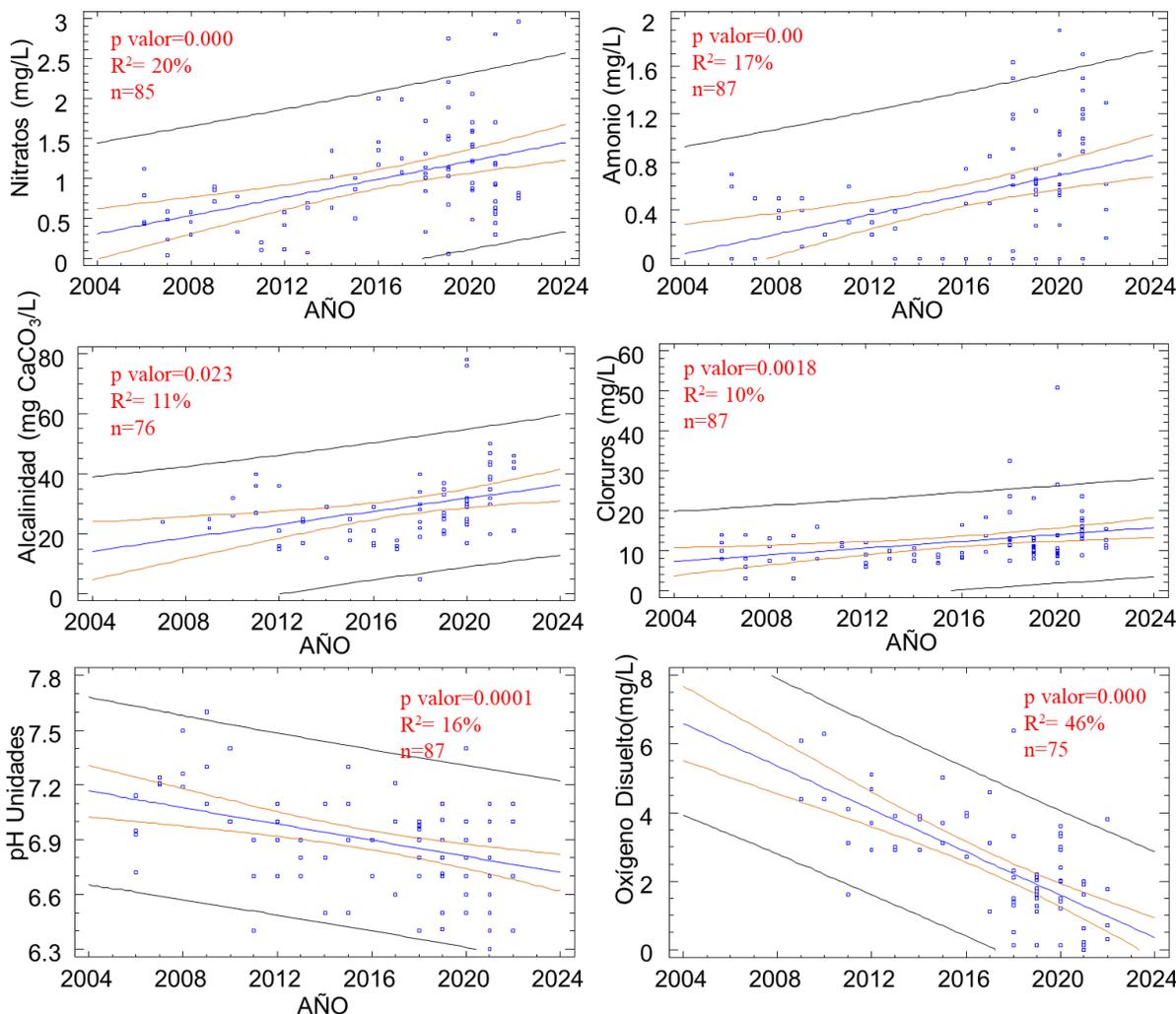


Figura 11. Comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos del agua de la Dársena de la planta de Tibitoc correspondiente al periodo del 2006 al 2021. Fuente: EAAB-ESP.

Un análisis de componentes principales (ACP) con 35 variables fisicoquímicas y microbiológicas medidas en la Dársena desde el 2006 hasta el 2022, explicó el 41,2 % de la varianza en cuatro componentes principales (figura 12), el primer componente aportó el 19,1% de la varianza de los datos y se relacionó con los nutrientes, carga orgánica y sólidos, el segundo el 10 % relacionado con el Oxígeno disuelto, Caudal y Sulfatos, el tercer componente el 6% asociada la carga bacteriológica y el cuarto componente el 5 % de la varianza total relacionado con el pH.

En cuanto a la representación gráfica del ACP los dos primeros ejes se observa el ordenamiento temporal de las variables (figura 12), en los cuales los años 2018 y 2021 estuvieron relacionados con valores mayores de parámetros como Fósforo total (PT),

Ámonio (NH_4), Sólidos disueltos totales (SDT), Carbono Orgánico Total (COT), Carbono Inorgánico ($Cinor$), Conductividad ($Cond$), Alcalinidad ($Alca$) y Sílice (Si), este aumento en la disponibilidad de nutrientes permite inferir un aumento en la productividad primaria y por lo tanto en la eutrofización del sistema. Además, los años 2019 y 2018 se relacionaron con el aumento de variables microbiológicas como *E. coli* y Coliformes totales ($ColT$) y parámetros físicos como Color y la Turbiedad lo cual puede estar asociado al ingreso o producción de materia orgánica en la Dársena. También, el año 2020 presentó valores altos para las variables como nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3).

Por otra parte, los años 2015 y 2016, en términos generales presentaron valores altos de oxígeno y valores más bajos de variables asociadas a productividad y carga de materia orgánica, lo cual indica que para esta temporada ingresó agua a la Dársena de mejor calidad.

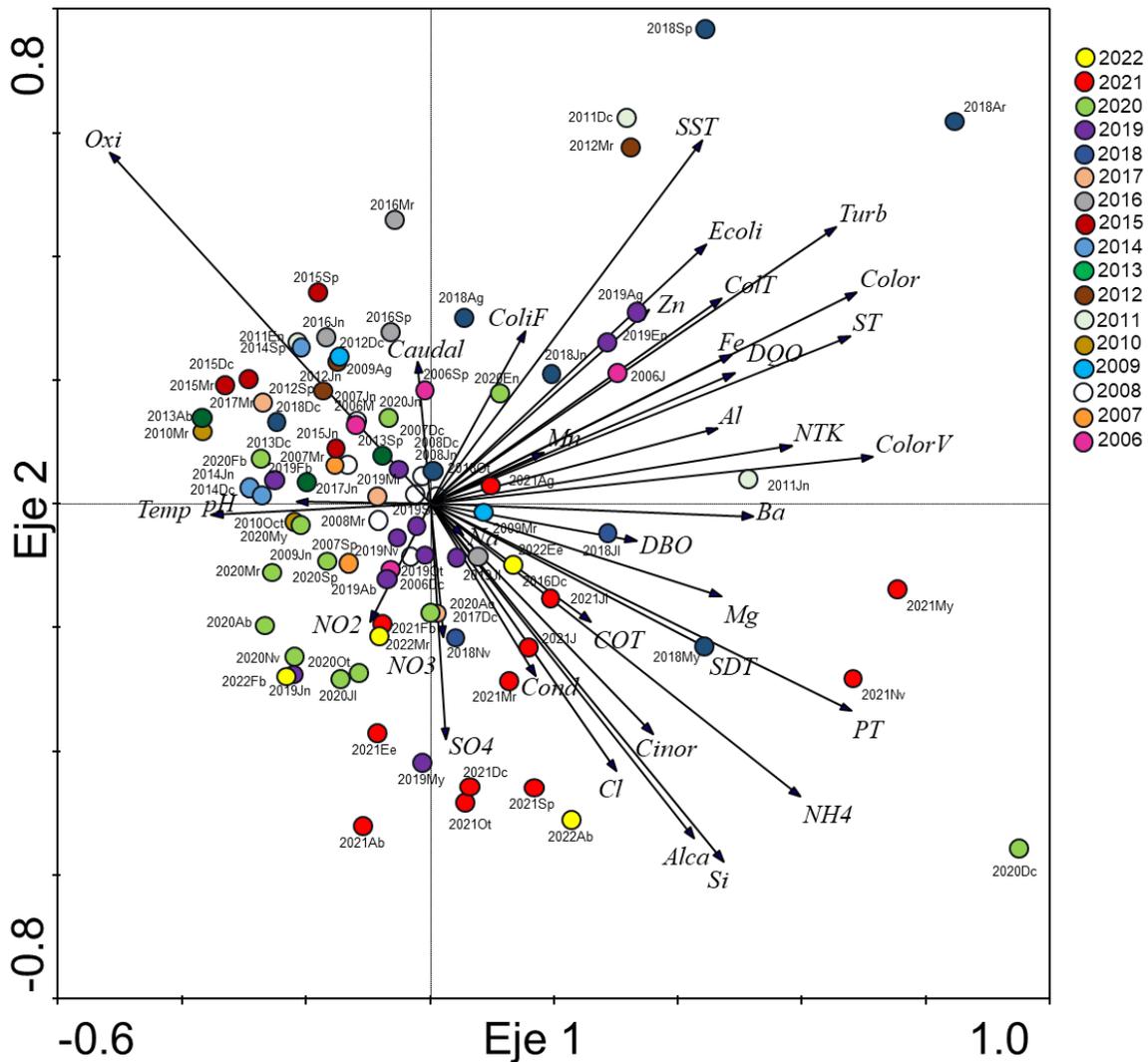


Figura 12. Análisis de componentes principales (ACP) del histórico de los parámetros fisicoquímicos entre el año 2006 al 2022. Fuente: EAAB-ESP. Abreviaciones de los parámetros Tabla 1.

En términos generales, las fluctuaciones en los datos históricos de las variables fisicoquímicas en la Bocatoma norte de la Dársena de planta Tibitoc han sido heterogéneas a lo largo del tiempo, en la cual se observó que variables indicadoras de productividad primaria y carga de materia orgánica, presentaron sus mayores valores en el año 2018 y posteriormente recuperó sus características normales, además se puede observar una tendencia que desmejora la calidad del agua a lo largo del tiempo, sin embargo esta no es tan marcada. Este comportamiento de las variables históricas puede indicar que en la Dársena se acumula parte de la materia orgánica alóctona y/o autóctona que ingresa al sistema, la cual favorece el establecimiento del cangrejo rojo brindándole alimento y refugio.

En la tabla 2 se presentan los resultados promedio de las mediciones *in situ* obtenidas en los tres polígonos durante los tres muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc, en términos generales podemos decir que los parámetros no presentaron grandes variaciones entre los polígonos de muestreo, pero si entre los muestreos, (tabla 2).

Tabla 2. Promedio de las variables *in situ*, medidas en los tres polígonos y por muestreo; P. Bocatoma), P. cosechadora y P. Bombeo M1 primer muestreo diciembre de 2021, M2: segundo muestreo enero de 2022 y M3: muestreo marzo de 2022.

Muestreo	N° Estación de muestreo	pH (unidades de pH)	T. agua (°C)	OD (ppm)	Conductividad (µs/cm)	Observaciones
M1	P. Bocatoma	6,86	25,9	0,79	165,4	14-15/12/2021
	P. Cosechadora	6,29	27,2	0,88	177,55	
	P. Bombeo	6,42	23,85	0,69	165,6	
	Promedio M1	6,52	25,65	0,78	169,51	
M2	P. Bocatoma	7,11	21,85	2,24	134	27/01/2022
	P. Cosechadora	5,19	20,95	0,63	154,8	
	P. Bombeo	5,65	23,05	1,88	134,05	
	Promedio M2	5,98	21,95	1,58	140,95	
M3	P. Bocatoma	7,03	17,2	0,55	158,1	8-9/03/2022
	P. Cosechadora	6,97	19,5	0,4	155	
	P. Bombeo	7,06	17,95	0,5	148,65	
	Promedio M3	7,02	18,21	0,48	153,91	

Como resultados generales podemos observar que el pH presentó valores promedio que oscilan entre 5,09 y 7,11 unidades de pH, con un promedio de 6,5 unidades de pH para todos los muestreos, lo cual caracteriza el agua como ligeramente ácida a básica, coincidiendo con los valores de pH históricos de la Dársena; las diferencias más marcadas del pH se presentaron entre los muestreos, siendo los registros más bajos del pH observados durante el segundo muestreo (4,89 unidades de pH) y los más básicos durante el tercer muestreo (7,6 unidades de pH) (figura 13).

La temperatura varió entre 17,2°C y 27,2°C, sin embargo, estas diferencias son más claras entre los muestreos evidenciando que en el primer muestreo (mes de diciembre) se presentaron las temperaturas más altas y en el mes de marzo (tercer muestreo) las temperaturas más bajas.

Por otro lado, con respecto al oxígeno disuelto (OD) este fluctuó entre 0,4 y 2,24 mg/L, lo que indica que el agua de la Dársena tiene poca disponibilidad de oxígeno, los valores más altos para esta variable se registraron durante el segundo muestreo (mes de enero), (tabla 2).

Finalmente, podemos ver que la conductividad es una de las variables que más cambia entre los polígonos de muestreo, siendo el polígono de la cosechadora (área intermedia de la Dársena) el que presentó los valores promedio más altos (177,55; 154,8; 155 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (tabla 2), también podemos observar que en promedio la conductividad fue más alta para el primer muestreo (mes de diciembre) (tabla 2 y figura 13).

En la figura 13, podemos observar la variabilidad de los datos tomados por polígono y por muestreo de todas las variables *in situ*; los polígonos han sido graficados en relación a la entrada del agua a la Dársena y como fluye ésta a través de los diques desde el polígono de la Bocatoma norte (entrada del río Bogotá) hacia el polígono de la cosechadora (área intermedia en la Dársena) y finalmente el polígono del área de bombeo, el cual es el último paso del agua antes de entrar al área de bombeo para iniciar su tratamiento.

En términos generales podemos observar que durante el primer muestreo se presentaron los valores de conductividad y temperatura más altos, durante el segundo muestreo se presentaron los valores más bajos de pH y de conductividad, y durante el tercer muestreo se presentaron las temperaturas más bajas, el pH más básico, y el Oxígeno disuelto más bajo (figura 13).

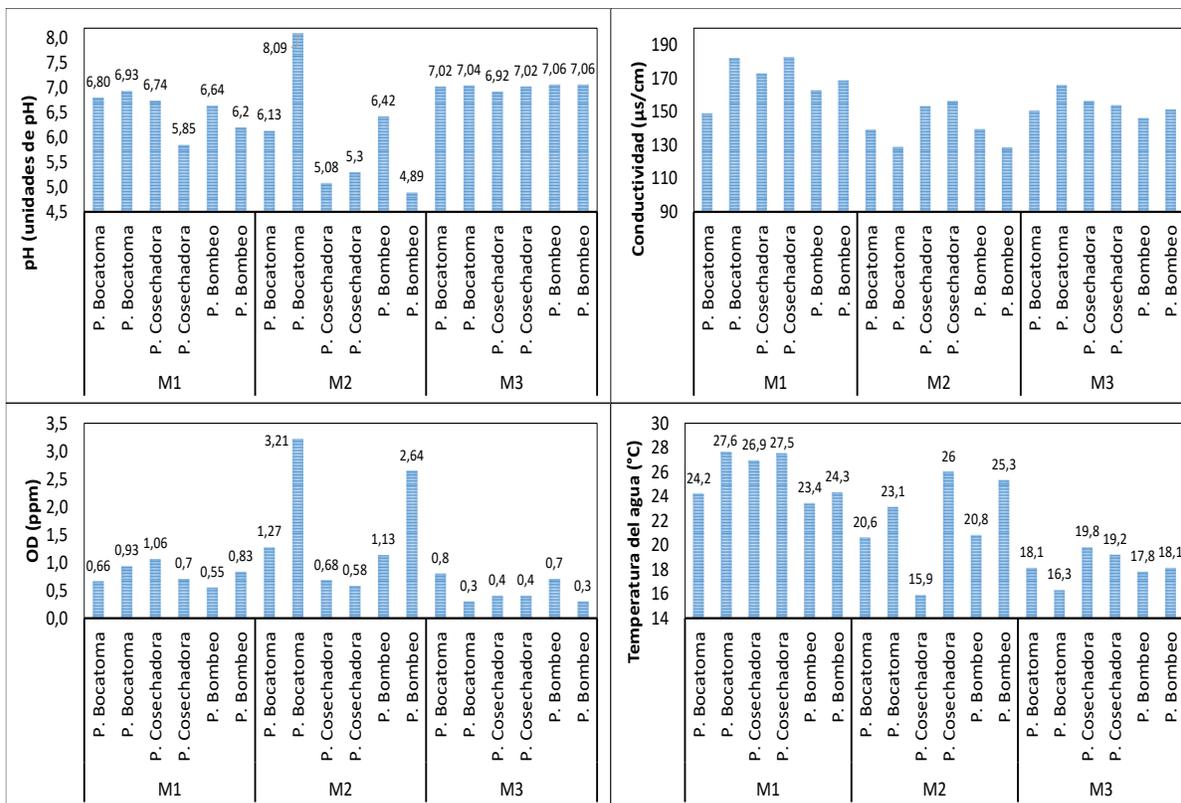


Figura 13. Comportamiento las variables medidas in situ para los tres muestreos y para cada uno de los polígonos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022.

DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E HIDROBIOLÓGICOS PARA LOS TRES MUESTREOS.

Parámetros Fisicoquímicos durante el muestro de *P. clarkii*

De los 43 parámetros medidos 11 presentaron valores por debajo del límite de cuantificación, entre ellos los aceites y grasas, Aluminio, Carbonatos, Cianuro libre y total, Color Real 436 mm, 525 mm y 620mm, Manganeso, Nitrógeno Amoniaco, Total Kjeldahl, Total y Sulfatos.

En la figura 14 se puede evidenciar que los sólidos se relacionaron proporcionalmente con la turbidez y por lo tanto a mayor concentración de sólidos disminuye la transparencia, lo que afecta la amplitud de la capa fótica e incide en la productividad primaria del sistema (Roldan & Ramírez 2008).

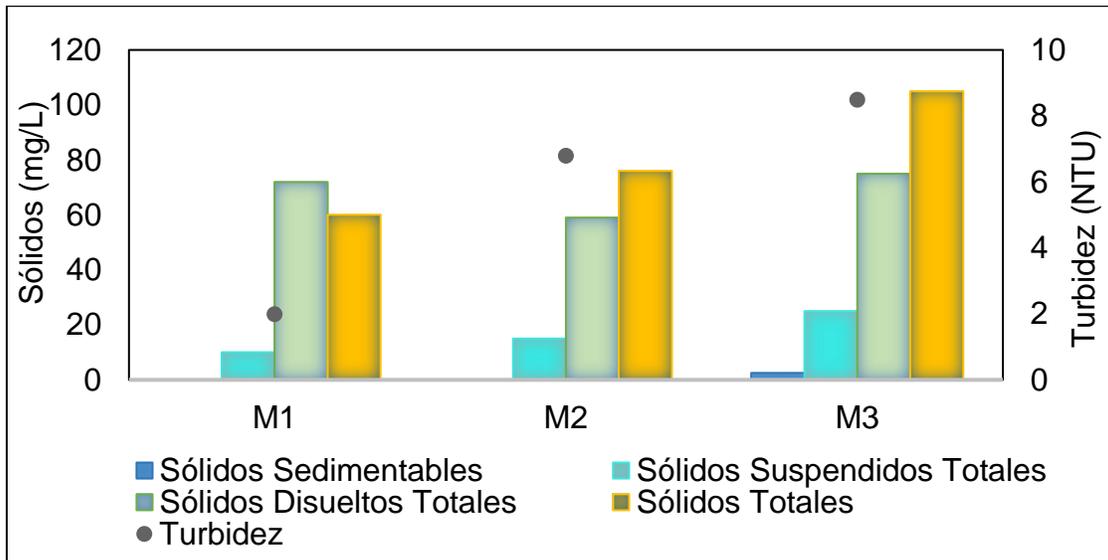


Figura 14. Comportamiento de los sólidos y la turbidez para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

Al comparar estos valores con los sólidos totales medidos en el embalse de Sisga en el 2019, donde se reportaron valores de 80 mg/l podemos observar que solo el tercer muestreo en la Dársena presentó valores superiores a los reportados en el embalse (Barriga-Rodríguez, 2019).

La conductividad es una medida indirecta de micronutrientes y se relaciona con las concentraciones de cationes y aniones en el agua, en la gráfica agrupada de estos elementos, podemos observar valores altos de conductividad (138-181 $\mu\text{s/cm}$), en comparación con el embalse de Sisga donde la conductividad presentó valores de 35,37 $\mu\text{s/cm}$ para el 2019 (Barriga-Rodríguez, 2019). Para la Dársena, estos valores altos de la conductividad pueden estar relacionados con la concentración de los cloruros (Cl^-). Las concentraciones obtenidas se encuentran en los rangos esperados para una cuenca altamente intervenida por descargas de aguas residuales domésticas, pecuarias e industriales (figura 15).

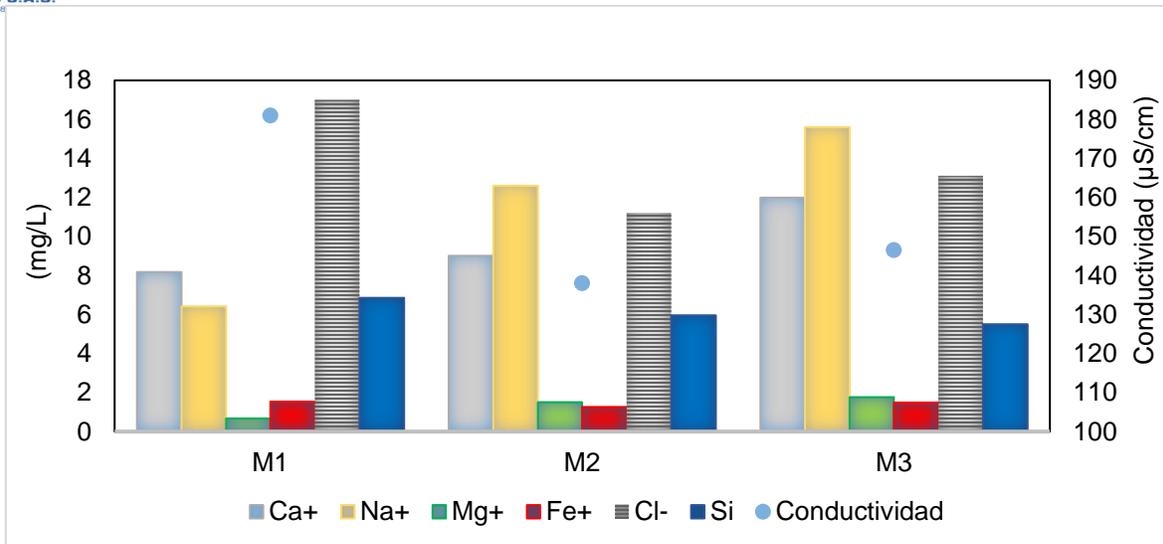


Figura 15. Comportamiento de la Conductividad para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

El comportamiento de los parámetros relacionados con la materia orgánica es similar para los tres muestreos, en la figura 16 se puede evidenciar que la Demanda Química de Oxígeno es mayor que los demás parámetros, este valor está indicando la cantidad de materia orgánica susceptible a ser oxidada por medio de agentes químicos (Ibáñez Angel 2017).

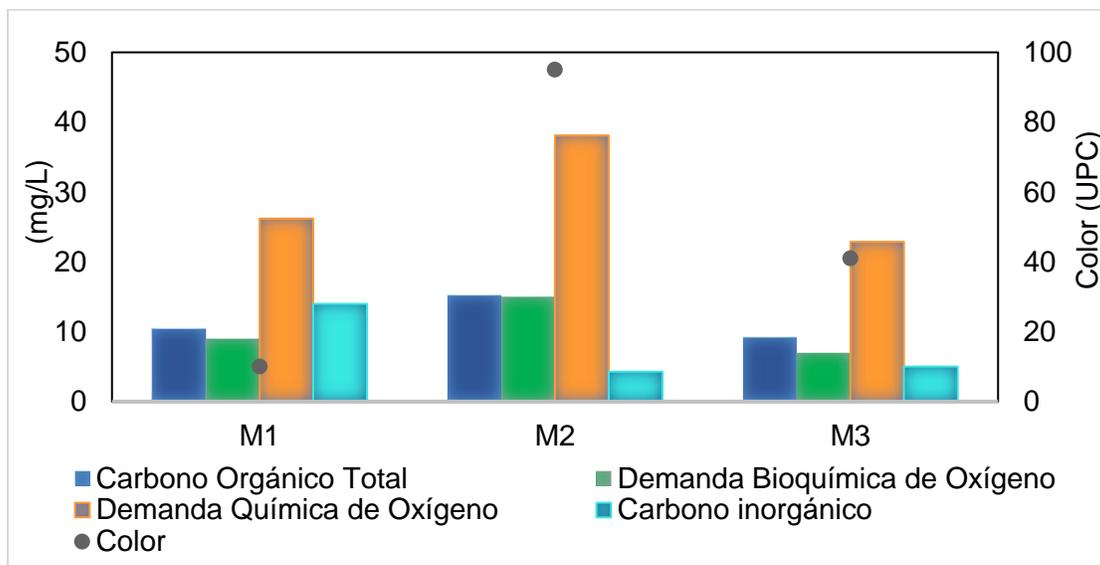


Figura 16. Comportamiento de la Materia orgánica, Carbono orgánico, Carbono inorgánico Demanda química de Oxígeno DQO, Demanda bioquímica de Oxígeno DBO y el color para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

En la figura 17 se puede evidenciar una diferencia importante de los nitratos respecto a los otros parámetros, aunque las concentraciones no son altas para la muestra, los nitratos es un indicador de contaminación en el agua, principalmente producto de fertilizantes que se

vierten al río Bogotá previo a su ingreso a la PTAP (<https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/nitrats-26197/>). Según la norma colombiana en la Resolución 2115 de 2007, se especifica que la concentración de nitritos en el agua para consumo humano (potable) debe ser menor o igual a 0.1 mg/L de NO₂ y la concentración de nitratos debe ser menor o igual a 10 mg/L de NO₃, para el caso de la Dársena solo en el primer muestreo se obtuvo un valor de NO₂ por encima de 0,1 mg/l, por lo que en general podemos decir que el agua de la Dársena es apta para el tratamiento para consumo humano.

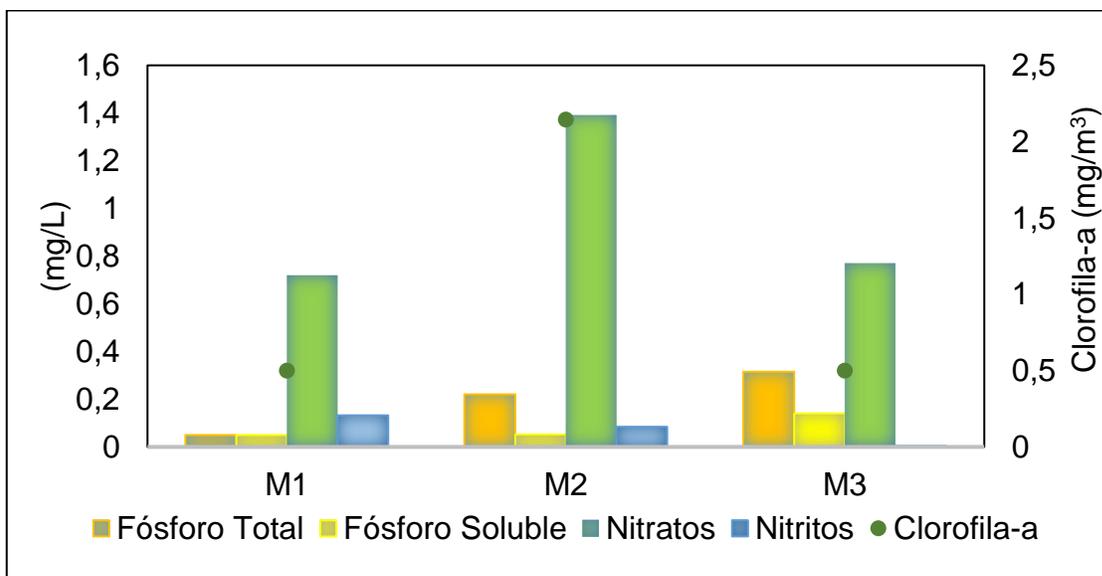


Figura 17. Comportamiento de los nutrientes, Fósforo total, Fósforo soluble, Nitratos, Nitritos y la Clorofila para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

La concentración de la dureza en la muestra es baja por lo que se puede considerar un agua blanda, ya que estos datos no superan el límite para la dureza en el agua potable de 160 mg CaCO₃/L. Sin embargo, si se comparan con los embalses estos valores son un poco altos entre (23,9-37,6 mg CaCO₃/L), mientras en los Embalses de Tominé y Sisga se reportaron (14 mg CaCO₃/L) entre el 2010 al 2014 y para el Embalse de Neusa (25 mg CaCO₃/L) en el 2010 (Barriga-Rodríguez, 2019). La dureza deriva en parte del arrastre de sedimentos que hace el río Bogotá en su recorrido hasta la Dársena, por lo tanto, lo esperado es que entre más dureza la alcalinidad también aumente (figura 18).

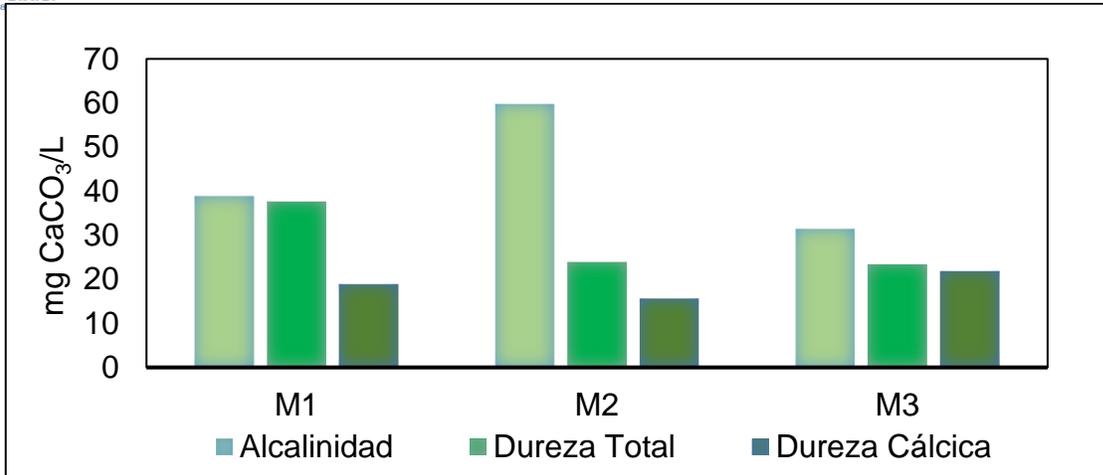


Figura 18. Comportamiento de la alcalinidad, dureza total y dureza cálcica para los tres muestreos. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

En cuanto al pH y el Oxígeno disuelto (OD), los valores oscilan entre 6,51 y 7,73 unidades de pH y entre 1,36 y 3,85 mg/l de OD, lo cual concuerda con lo encontrado tanto en los parámetros históricos como los datos control tomados en todos los polígonos. El agua de la Dársena es ligeramente ácida a básica, con valores bajos de (OD) (figura 19).

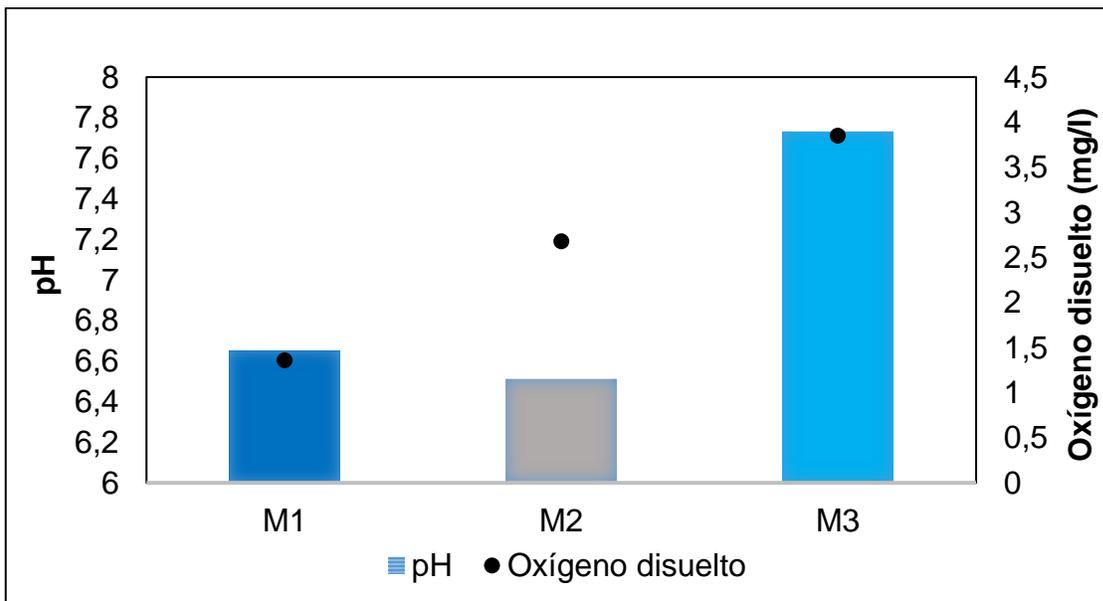


Figura 19. Comportamiento de pH y el Oxígeno disuelto para los tres muestreos. M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022. Fuente. EAAB y OLFRSI, 2022

Parámetros Microbiológicos

Los microorganismos en especial algunas bacterias desempeñan un papel fundamental en la transformación y descomposición de la materia orgánica y mineral en el medio ambiente, con especial énfasis en los ciclos de los elementos como nitrógeno, fosforo, hierro y azufre (Roldan & Ramírez., 2008).

Desde el punto de vista microbiológico, el examen de la calidad sanitaria del agua tiene por objeto determinar la presencia de ciertos grupos de bacterias, que revelen una contaminación reciente por materia fecal o materia orgánica, siendo el criterio más utilizado la determinación de la clase y número de microorganismos que está presente en el agua.

El grupo de bacterias pertenecientes a las Coliformes han sido el principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua; el número de Coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y de calidad sanitaria. Incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* entre otras. Estas proveen información importante sobre la fuente y el tipo de contaminación presente (OMS, 2018). La bacteria *Escherichia coli* es el indicador de contaminación fecal más usado, en la mayoría de las circunstancias, las poblaciones de Coliformes termotolerantes se componen predominantemente de *E. coli* y es el microorganismo de elección en los programas de monitoreo para la verificación la calidad del agua de consumo humano (Matute, 2017).

En la figura 20 se muestra la variación histórica de los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y Coliformes totales desde el año 2011 al 2021 los cuales reportan un promedio de 70087 NMP/100ml para Coliformes totales y de 3371 NMP/100ml para *E. coli*, con valores máximos de 235900 NMP/100ml para Coliformes totales en el 2018 y 14600 NMP/100ml para *E. coli* en el 2016, estas variables presentan sus valores mínimos en junio de 2012.

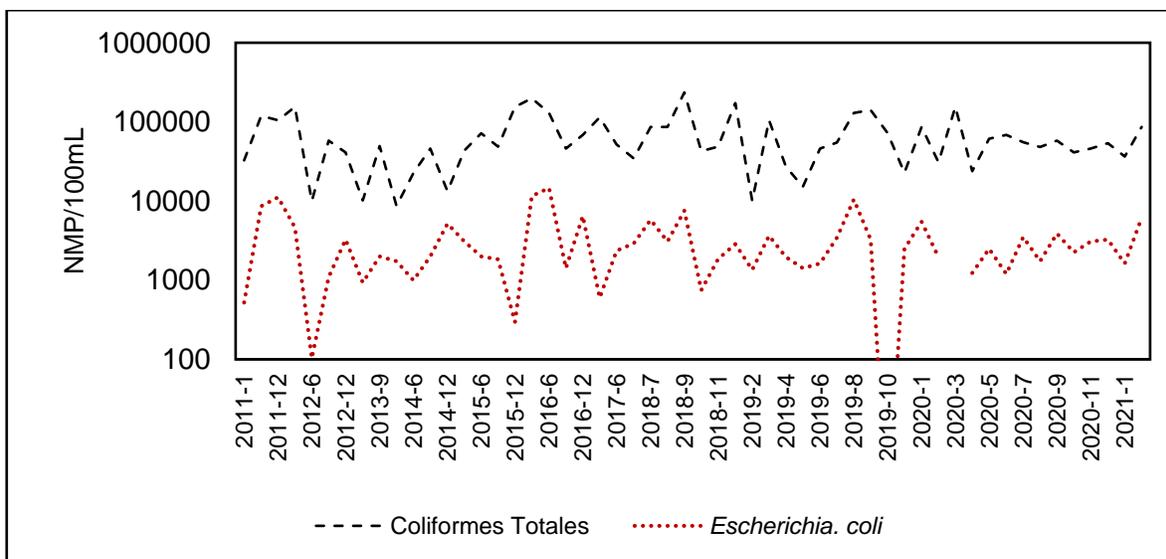


Figura 20. Variación histórica de los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y Coliformes totales desde el año 2011 al 2021.

Las variables microbiológicas medidas en la Dársena de la planta Tibitoc durante los muestreos del cangrejo rojo las Coliformes totales y *Escherichia coli* fueron más abundantes en el segundo muestreo con un recuento del número más probable (NMP) de 244500 NMP/mL y 5820 NMP/mL respectivamente. También se reportó el recuento de heterótrofos con valores altos en los muestreos dos y tres; para el primer muestreo las Coliformes termotolerantes y de *E. coli* presentaron valores por debajo del valor mínimo de detección.

En general podemos decir que los valores históricos obtenidos para Coliformes totales y *E. coli* al igual que las variables fisicoquímicas muestran una alta variación entre los diferentes meses, años de muestreo y a lo largo del estudio del cangrejo rojo, lo cual puede estar estrechamente ligado con las descargas de aguas domésticas e industriales que a diario recibe el río Bogotá que alimenta la Dársena.

Durante el segundo y tercer muestreo estas dos variables microbiológicas se encuentran por encima de los valores que históricamente se han reportado para el agua que ingresa a la Dársena, de acuerdo a los resultados de las variables microbiológicas en la Dársena de PTAP de Tibitoc, estos superan los límites permitidos por el decreto 1594 de 1984 en el artículo 38, el cual establece los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso a uso humano y doméstico, y por lo tanto requiere del tratamiento convencional del agua relacionado con los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, que se realizan en la PTAP de Tibitoc (figura 21).

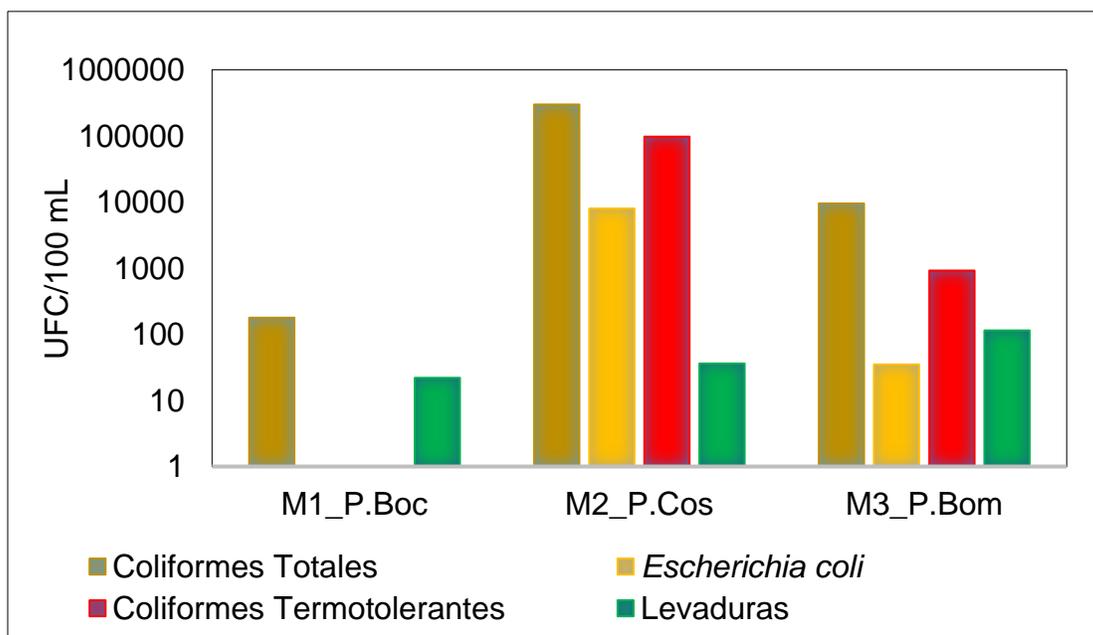


Figura 21. Resultados de las variables microbiológicas para la Dársena de la planta de tratamiento de agua Tibitoc (M1: diciembre 2021; M2: enero 2022; M3: marzo 2022).

En cuanto al recuento de heterótrofos, existe un amplio espectro de microorganismos heterótrofos, incluidos bacterias y hongos, los análisis de estos microorganismos son basados en la capacidad de estos para crecer en medios ricos en nutrientes, sin agentes selectivos ni inhibidores, durante un periodo de incubación especificado y a una temperatura definida (Daza, 2019). El espectro de microorganismos detectados mediante este tipo de análisis incluye microorganismos sensibles a los procesos de desinfección, como las bacterias Coliformes; microorganismos resistentes a la desinfección, como los esporulados, y microorganismos que proliferan con rapidez en el agua tratada en ausencia de desinfectante residual (Daza, 2019).

El organismo *Clostridium* es utilizado como variable en la microbiología del agua, está presente con más frecuencia y en mayores concentraciones en las heces de algunos animales, como los perros y en las heces humanas, y con menos frecuencia en las heces de muchos otros animales de sangre caliente. La cantidad excretada en las heces es, por lo general, substancialmente menor que la de *E. coli*. (Pullés, 2014). Para la Dársena de planta Tibitoc se reportan 7 NMP/100ml para el segundo muestreo y de 1000 NMP/100ml para el tercer muestreo, para el primer muestreo se reporta por debajo del límite de detección.

La Dársena de la planta Tibitoc recibe aportes de agua del río Bogotá, el cual arrastra grandes cantidades de materia orgánica debido a que aguas arriba integra a su cauce, tanto aguas residuales doméstica y no domésticas, las cuales son acumuladas en la Dársena, generando la proliferación de bacterias heterótrofas, estas descomponen la materia orgánica liberando a la columna de agua formas nitrogenadas y nutrientes, los cuales quedan biodisponibles para procesos fotosintéticos realizados por diferentes organismos, principalmente por el fitoplancton.

Los análisis microbiológicos no solamente son importantes para determinar la potabilidad del agua para uso doméstico, agrícola o industrial, sino que también tiene enormes aplicaciones en la limnología como el desarrollo de índices de calidad de agua y el estudio de lagos y embalses a partir de estos organismos. Muestras de agua que presentan valores elevados de Coliformes totales, como las que se observaron tanto en los datos históricos como en los medidos puntualmente durante los muestreos, indican la entrada de aguas residuales al ecosistema y, por lo tanto, un alto riesgo de eutrofización (Roldan & Ramírez, 2008).

Con el fin de identificar las tendencias en los datos físicos, químicos y microbiológicos en los tres muestreos se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), con los tres sets de datos, de las 41 variables medidas en la Dársena, se descartaron 12 variables que no presentaron variación a lo largo de los tres muestreos y/o que estuvieron por debajo del límite de cuantificación de los métodos empleados por el laboratorio, finalmente se utilizaron 29 variables para el ACP (figura 22).

El primer eje del ACP explica el 58 % de la varianza total de los datos separando el primer muestreo de los otros dos, el segundo componente explica el 42% para un total del 100% de la varianza de datos en los dos ejes. El muestreo realizado en diciembre en el polígono

Bocatoma Norte se caracterizó por una mayor mineralización (Conductividad, Dureza total), Carbono inorgánico, Sílice, Temperatura, Nitritos y Cloruros esta última variable muy relacionada con descargas de aguas residuales. Así mismo, se presentaron valores menores de Oxígeno disuelto y aguas con menor Turbidez, Magnesio, Sodio y menor carga bacteriológica.

El muestreo que se realizó en el mes de enero en el polígono Cosechadora se caracterizó por valores mayores de Nitratos, Clorofila-a, Alcalinidad, materia orgánica (COT, DBO, DQO, Color), Coliformes totales, *E. coli*, Coliformes termotolerantes, estas condiciones señalan una zona más productiva en relación con la Bocatoma. En el mes de marzo en el polígono Bombeo se caracterizó por valores mayores de Sólidos, Turbidez, Fósforo total, Fosfatos, Calcio, Magnesio, Sodio, Oxígeno disuelto, pH, así como Levaduras, Heterotrofos y Clostridium.

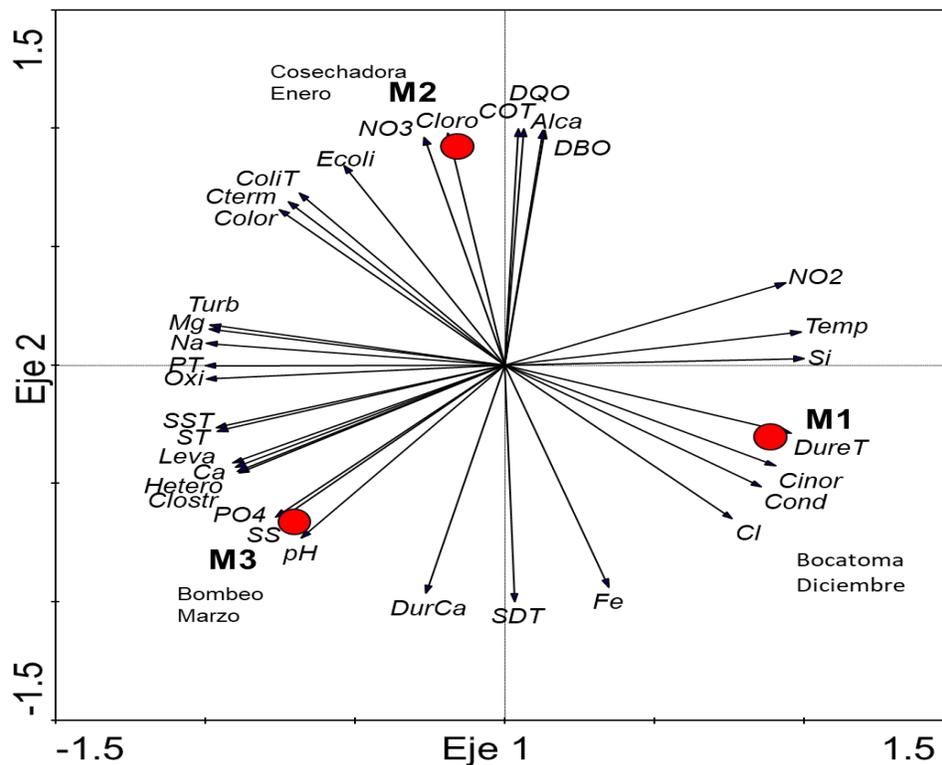


Figura 22. Análisis de Componentes Principales de datos fisicoquímicos y microbiológicos de tres muestreos realizados en la Dársena de la planta de potabilización de Tibitoc entre diciembre de 2021 y marzo de 2022

RELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS CON EL CANGREJO ROJO AMERICANO.

A pesar que no se puede hacer una comparación directa de las variables del cangrejo rojo con las variables fisicoquímicas y microbiológicas, es interesante que el primer componente

del ACP separe el primer muestreo de los otros dos pues este fue el que aporta una mayor diferencia en cuanto al número de individuos de *P. Clarkii* capturados (M1: 43; M2: 88 y M3: 86).

En cuanto a la organización espacial y temporal del modelo ACP se obtiene que para el segundo y tercer muestreo donde se capturaron el mayor número de individuos de cangrejo rojo, se asocian con variables como la Clorofila (cloro), Nitratos (NO_3), Carbono orgánico total (COT), Alcalinidad (Alca) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), las cuales describen condiciones con mayor productividad y carga de materia orgánica, lo que se puede inferir de esta asociación es que las variables con formas biodisponibles de calcio podrían favorecer la presencia de cangrejo rojo americano en la Dársena de la Planta Tibitoc debido a los requerimientos de esta especie para la formación de su caparazón.

Por otra parte, en el tercer muestreo se relacionan variables como Sólidos suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Fosfatos (PO_4), pH y Calcio (Ca), en cuanto a las variables microbiológicas, para este punto se observan en mayor cantidad las Bacterias Heterótrofas y *Clostridium*. lo cual indica condiciones con alto contenido de materia orgánica que aportan alimento al cangrejo rojo.

En el tercer muestreo punto de la zona de bombeo se relacionaron las variables de Turbiedad y Color real, ambas variables infieren en la transmisión de luz y, por consiguiente, regulan procesos biológicos. El color depende de la existencia de materia orgánica particulada la cual la componen material vivo o muerto, la mayor parte del color del agua la aportan las algas y algunos organismos zooplanctónicos (Roldan & Ramírez 2008).

A la vez la Turbiedad define el grado de opacidad producida en el agua por la materia particulada suspendida. Ya que el tipo de materiales que contribuye a la turbiedad son los responsables del color, la concentración de sustancias determina la transparencia del agua. Normalmente en ecosistemas como la Dársena de la Planta de Tibitoc es turbio debido al arrastre de materiales, propiciado por la alta lixiviación que se da aguas arriba del sistema. Respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) corresponde al oxígeno requerido por bacterias para descomponer la materia orgánica, determina el grado de contaminación de las aguas domésticas e industriales (Roldan & Ramírez., 2008), en otras palabras, permite conocer la cantidad de materia orgánica presente en el cuerpo de agua, la cual favorece el desarrollo del cangrejo rojo.

En cuanto a la variable oxígeno en los puntos de cosechadora y zona de bombeo presentó sus valores máximos, la cual puede llegar al agua por difusión o fotosíntesis o está condicionada por la temperatura y por lo tanto la solubilidad de oxígeno en el agua aumenta a medida que disminuye la temperatura. Esto se debe a que en el agua fría las moléculas se unen más entre si reteniendo mayor cantidad de oxígeno (Avecillas Arellano., 2013).

Por otra parte, el parámetro Alcalinidad (Alca) depende en gran medida del tipo de terreno y rocas que están en contacto con el agua y la acción del dióxido de carbono sobre las rocas carbonatadas produce bicarbonatos y carbonatos en solución produciendo bases

carbonatadas aumentando la alcalinidad del agua (Correa, L.,2015). Esta es una de las variables más importantes en relación con el cangrejo, debido a que estos organismos asimilan formas disponibles de calcio y las integran a sus estructuras corporales como el caparazón.

Por último, las variables describen un sistema al cual ingresa gran cantidad de materia orgánica ya sea por escorrentía o producto de los procesos biológicos de la Dársena, por lo tanto, se puede esperar que aporte un hábitat óptimo para el desarrollo de la población de *P. Clarkii*, lo cual les favorece para resistir las situaciones adversas del ambiente, al acumular materia orgánica en época favorable para utilizarla como reserva en condiciones desfavorables (Gutiérrez Yurrita, et al., 1994).

Discusión

Pedroza-Martínez, (2017), menciona que los factores que tienen mayor incidencia sobre el cangrejo rojo americano son la humedad relativa, el oxígeno disuelto, la conductividad, la presión atmosférica y la turbidez, además del fósforo soluble, el amonio, el nitrógeno que aumentan debido a la remoción de sedimentos también han sido relacionadas con la presencia del cangrejo rojo americano, todas estas variables están presentes en la Dársena debido a que están relacionadas con la presencia de materia orgánica en el sistema acuático favoreciendo la presencia de *P. Clarkii* en la Dársena.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tres muestreos, la temperatura osciló entre los 20,6°C y los 26,9°C, lo cual favorece el crecimiento de las poblaciones de *P. clarkii* en la Dársena, los datos coinciden con lo expuesto por Yamamoto, (2010) quien evidenció que *P. clarkii*, soporta bien temperaturas del agua de 15 °C a 23 °C. Por otra parte, la temperatura influye en el metabolismo general de *P. clarkii* en aspectos como la alimentación, muda y eclosión, resultados similares se encontraron en la laguna de Fúquene donde se vio favorecido el crecimiento de *P. clarkii* debido a temperaturas superiores a 23°C (Pedroza-Martínez, 2017).

Los resultados preliminares obtenidos en el ACP (figura 22) nos indica que la diferencia en el número total de individuos y el número total de machos entre los dos muestreos puede estar relacionado con valores altos de alcalinidad, tanto por muestreo y por zona de muestreo, por ejemplo, observamos que la variable alcalinidad se asocia con el número total de individuos colectados en el segundo muestreo, lo cual concuerda con el estudio realizado por Edwards y coautores (2014), donde señalan que han identificado un aumento significativo en el contenido de Calcio del caparazón con el aumento de la concentración ambiental de Calcio del lago en las poblaciones naturales del cangrejo rojo americano (Edwards, et al., 2014). Además, indican que los lagos con baja alcalinidad tienen una baja capacidad de amortiguación y, por lo tanto, es más probable que históricamente hayan sido acidificados o que tengan estrés ácido en la actualidad. A la vez indica que un pH bajo

dificulta la adquisición de Ca, lo que deja a los crustáceos más blandos y vulnerables a la depredación o al daño mecánico (Edwards, et al., 2014).

Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis *in situ* y del laboratorio de aguas, se puede concluir que la aguas que ingresan a la Dársena de la PTAP Tibitoc, son aguas crudas que contienen un alto grado de contaminación producto de las diferentes descargas que se hacen al río Bogotá.
- Los resultados de las diferentes variables en la Dársena se encuentran en el límite permisible establecido en el Decreto 1574 de 1984, el cual establece los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso a uso humano y doméstico por lo que el agua cruda sirve para la potabilización de agua por medio de un tratamiento convencional.
- En cuanto los datos históricos tanto los microbiológicos como las variables fisicoquímicas muestran una alta variación entre los diferentes meses y años de muestreo y a lo largo del presente estudio, sin embargo, todas las variables medidas indican la recepción de aguas contaminadas y la eutrofización del sistema, lo cual puede estar estrechamente ligado con las descargas de aguas domésticas e industriales que a diario recibe el río Bogotá que alimenta la Dársena.
- Los registros históricos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos junto con los medidos en este trabajo permiten concluir que el cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) en la Dársena de Tibitoc puede sobrevivir en ambientes muy heterogéneos, con alta variabilidad temporal y espacial, turbios, con alta carga orgánica, de nutrientes y bacteriológica, con un pH desde neutro a ligeramente ácido. Esta adaptabilidad a las condiciones ambientales le confiere a esta especie un mayor éxito para establecerse en nuevos ecosistemas.
- Los muestreos en los que se presentaron valores más altos de Alcalinidad, Calcio y pH se registraron mayores capturas de *P. clarkii*, teniendo en cuenta que la composición del caparazón del cangrejo rojo suele ser una mezcla entre quitina y carbonato de calcio, estas condiciones pueden favorecer la formación del caparazón y por ende el crecimiento de *P. clarkii*, estas variables son claves para el control de las poblaciones de estos organismos en la Dársena.
- Variables como la clorofila (cloro), nitratos (NO₃), carbono orgánico total (COT), alcalinidad (Alca) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), las cuales describen condiciones con mayor productividad y carga de materia orgánica se asocia con la mayor cantidad de individuos de cangrejo colectados durante los muestreos.
- Por otra parte, en el tercer muestreo se relacionan variables como sólidos suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), fosfatos (PO₄), pH y calcio (Ca), en cuanto a las variables microbiológicas, para este punto se observan en mayor

cantidad las bacterias heterótrofas y *clostridium*. lo cual indica el ingreso de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica a la Dársena de la planta Tibitoc la cual aportan alimento y refugio al cangrejo rojo americano *P.clarkii*.

Comunidades Hidrobiológicas

Fitoplancton

La comunidad fitoplanctónica corresponde a organismos microscópicos, los cuales se encuentran suspendidos en la columna de agua, son capaces de realizar fotosíntesis y son considerados los productores primarios de los ecosistemas acuáticos, dentro de estos podemos encontrar las microalgas pertenecientes a los reinos procariota y eucariota. al primero pertenecen la división Cyanophyta, que corresponde a las cianobacterias, en el segundo se incluyen las algas pertenecientes a las divisiones: Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y Cryptophyta entre otras (Roldan y Ramírez, 2008).

Para la Dársena de Tibitoc se han identificado 30 géneros de algas planctónicas, siendo Bacillariophyta la clase más representativa con 17 morfoespecies, seguida de Charophyta con siete géneros, Cyanobacteria con cuatro morfotipos y Dinophyta con un morfotipo, el género *Ceratium* sp., y por último el phylum Euglenozoa representado por el género *Euglena* sp., (figura 23). Para el primer muestreo, el género más abundante *Aphanothece* sp., y *Oscillatoria* sp., con una densidad de 714 cel/L, seguida por *Melosira* sp., y *Eunotia* sp. En el segundo muestro los morfotipos más abundantes corresponden a los géneros de *Eunotia* sp., *Aulacoseira* sp., y *Melosira* sp., con densidades de 500 cel/L, 205 Cel/L y 110 Cel/L, respectivamente, para el tercer muestreo los géneros más abundantes fueron *Pseudanabaena* sp., (333 Cel/l) y *Fragilaria* sp., (figura 24).

Como resultado preliminar se evidencia que la clase Bacillariophyta fue la más representativa en abundancia y riqueza para la Dársena de Tibitoc, la presencia de los géneros *Melosira* y *Eunotia* están asociadas a elevadas cargas de materia orgánica y nutrientes en el agua, estos taxones son cosmopolitas y altamente tolerantes a la eutrofización (Castro y Pinilla, 2017).

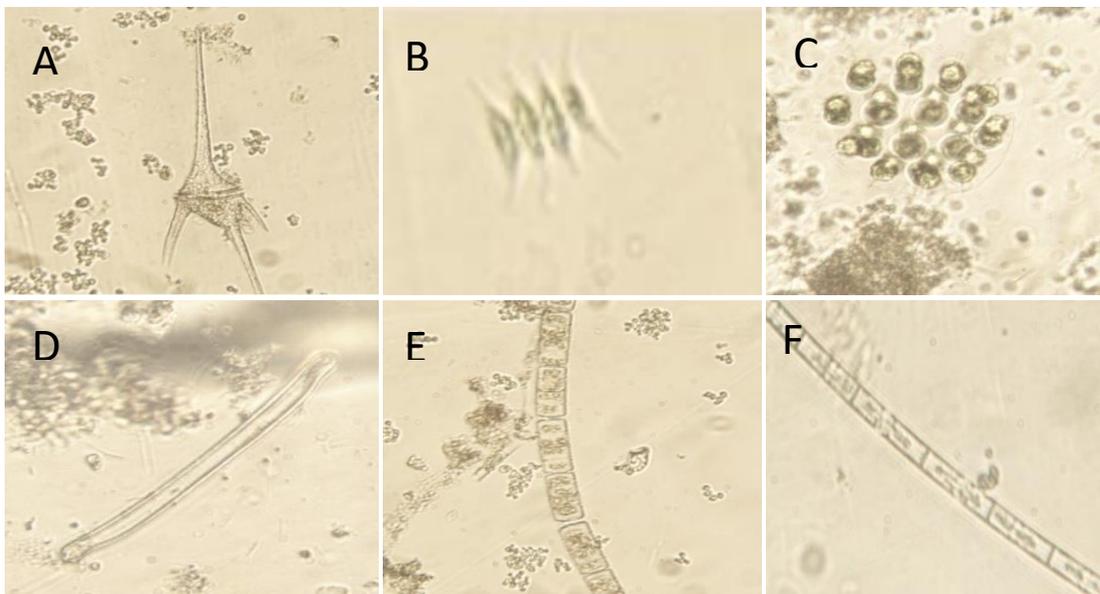


Figura 23. Fitoplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Ceratium* sp.; B: *Pectinodesmus* sp. C: *Eudorina* sp. D: cf. *Eunotia* sp. E: *Melosira* sp. F: *Aulacoseira* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

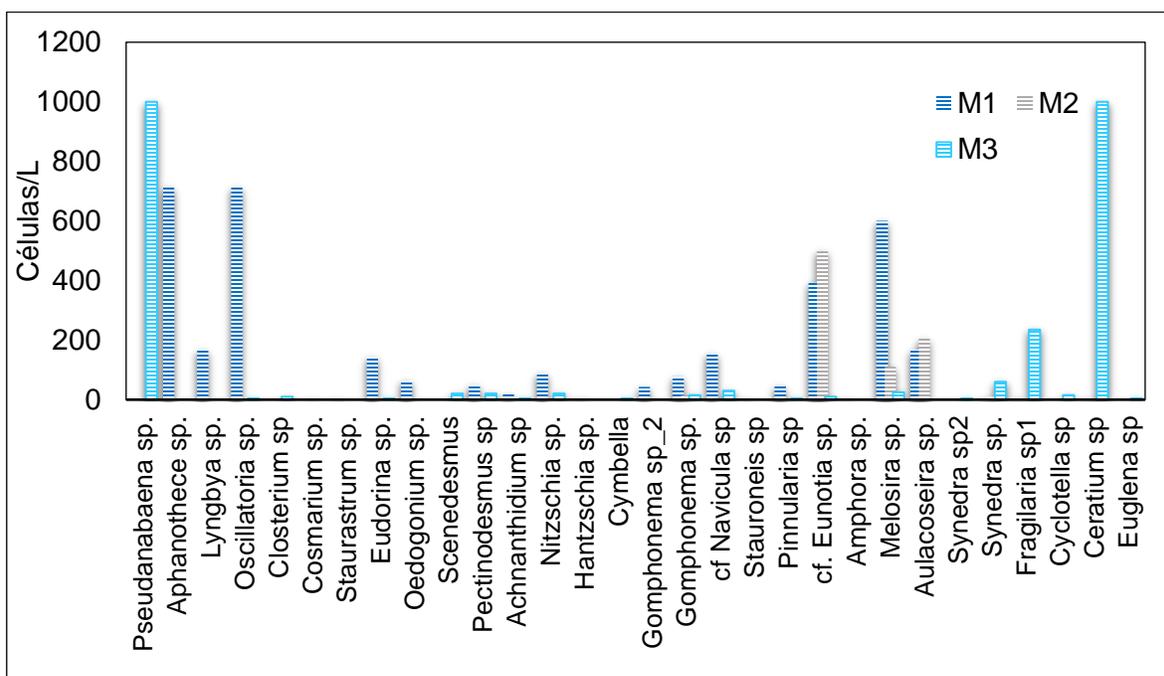


Figura 24. Abundancia de fitoplancton colectado durante los tres muestreos en la Dársena de la planta Tibitoc.

Zooplancton

El zooplancton es el conjunto de organismos animales que viven en el plancton, y es considerado, como un grupo clave debido a que representan el segundo nivel trófico de la mayoría de las redes tróficas (además es uno de los más abundantes), transfiriendo la

energía de los productores primarios a los organismos de los niveles superiores, dentro de este grupo podemos encontrar microcrustáceos, amebas, rotíferos entre otros (Roldan y Ramírez, 2008).

El componente zooplanctónico en la Dársena de Tibitoc está representados por siete órdenes, 10 familias y 16 géneros (figura 25). Los grupos como microcrustáceos representan el 37,6% de la abundancia relativa, seguidos de los Amebozoa y Rotíferos con un 30% y 28,8% de abundancia relativa respectivamente. Sin embargo, el Phylum Rotífera, es el mejor representado en términos de riqueza, con 10 taxones. La dominancia de los rotíferos, puede estar relacionado con los hábitos alimentarios de estos organismos, que incluyen la ingesta de bacterias y restos orgánicos, lo cual indica que son tolerantes a aguas contaminadas o en proceso de eutrofización (Conde-Porcuna et al., 2014), condiciones que están presentes en la Dársena de Tibitoc.

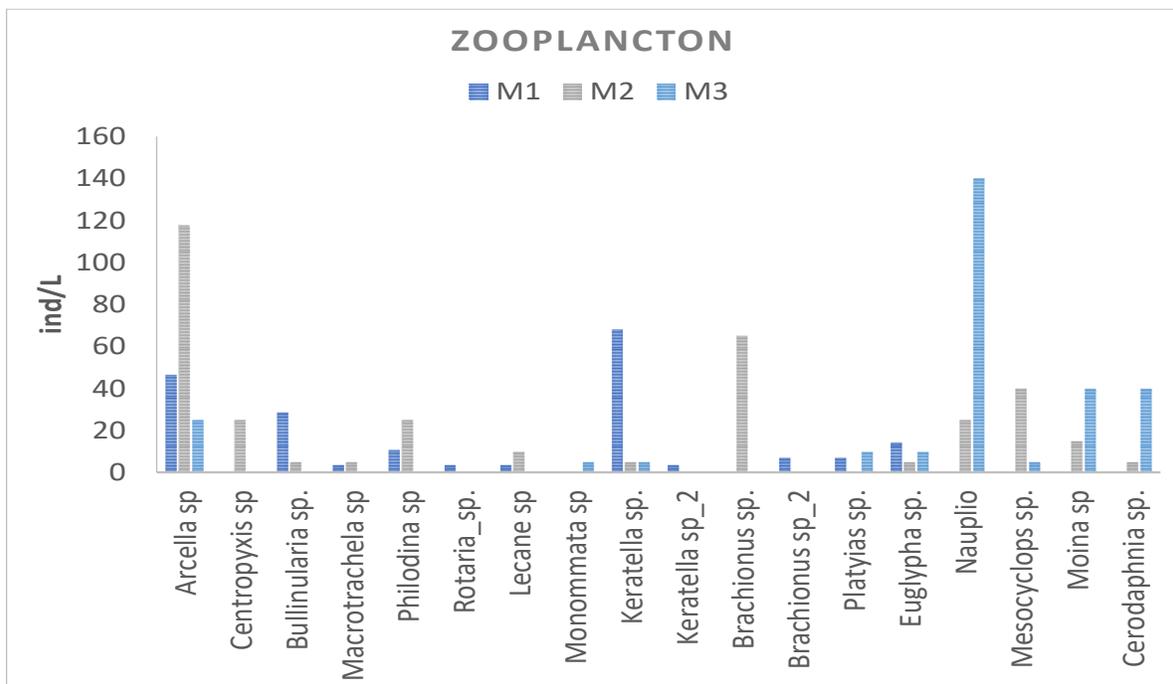


Figura 25. Organismos Zooplanctónicos colectados en la Dársena de Tibitoc, durante las tres fases de muestreo. (M1) Muestreo 1. (M2) Muestreo 2 y (M3) Muestreo 3.

Los cladóceros y copépodos no representan de forma cualitativa a la comunidad zooplanctónica, sólo se encontraron tres morfotipos para los tres muestreos realizados; su poca diversidad puede estar condicionada por la presencia de peces planctívoros como es el caso de los Carácidos - *Grundulus* sp. (Guapucha) en la Dársena de Tibitoc; la presión por depredación como peces planctívoros puede ser un factor determinante al considerar la abundancia y composición de las poblaciones de copépodos y cladóceros en un ecosistema (Chaves, 2014), (figura 26).

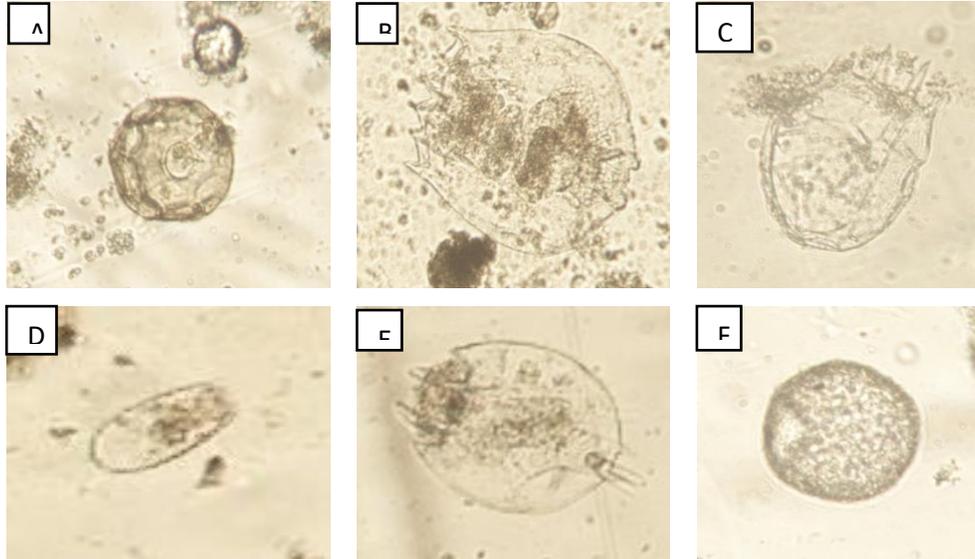


Figura 26. Organismos Zooplantónicos colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Arcella* sp.; B: *Brachionus* sp.; C: *Keratella* sp.; D: *Euglypha* sp.; E: *Platyias* sp.; F: *Bullinularia* sp.; Fuente: ANASCOL 2022.

Macroinvertebrados

La comunidad de macroinvertebrados, representa un rol importante dentro de los procesos de transferencia de energía y son un enlace importante para poder mover dicha energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas (Hanson, Springer & Ramirez, 2010). El estudio de estas comunidades en la Dársena de Tibitoc, permiten obtener información sobre las condiciones del agua y su relación como posible oferta alimentaria para el cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii*.

Los macroinvertebrados colectados en la Dársena de Tibitoc, fueron colectados mediante métodos cuantitativos por el laboratorio ANASCOL. A partir de los tres muestreos realizados, para la comunidad de macroinvertebrados se registraron un total de 633 ind/m², distribuidos en cinco órdenes, seis familias y siete taxones (figura 27).

Los taxa más representativos fueron los organismos de la familia Chironomidae, con una abundancia relativa de 70,3%; los taxa restantes presentaron abundancias relativas inferiores al 10%. Esta familia de macroinvertebrados suele ser el grupo más representativo, en especial en aguas contaminadas. La abundante presencia del género *Chironomus* sp., puede estar relacionada con la baja disponibilidad de oxígeno en la Dársena de Tibitoc. Autores como Silva (2012) afirman que, las larvas del género *Chironomus* dominan la fauna en lagos con fondo anóxico y con alta productividad fitoplanctónica. Otros organismos presentes en la Dársena de Tibitoc, como los Physidae y Hyalellidae, pueden estar asociados a determinadas condiciones favorables, como la presencia de macrófitas y la abundante materia orgánica en descomposición; Granados-Ramírez et al., (2017), afirman que la presencia de organismos de la familia Hyalellidae, están asociados a la vegetación acuática y se alimentan de materia orgánica en descomposición, mientras que Physidae está relacionada con las características específicas de pH básico y alta alcalinidad,

necesarias para la formación de la concha en estos macroinvertebrados (Ramírez et al., 2013) (figura 28).

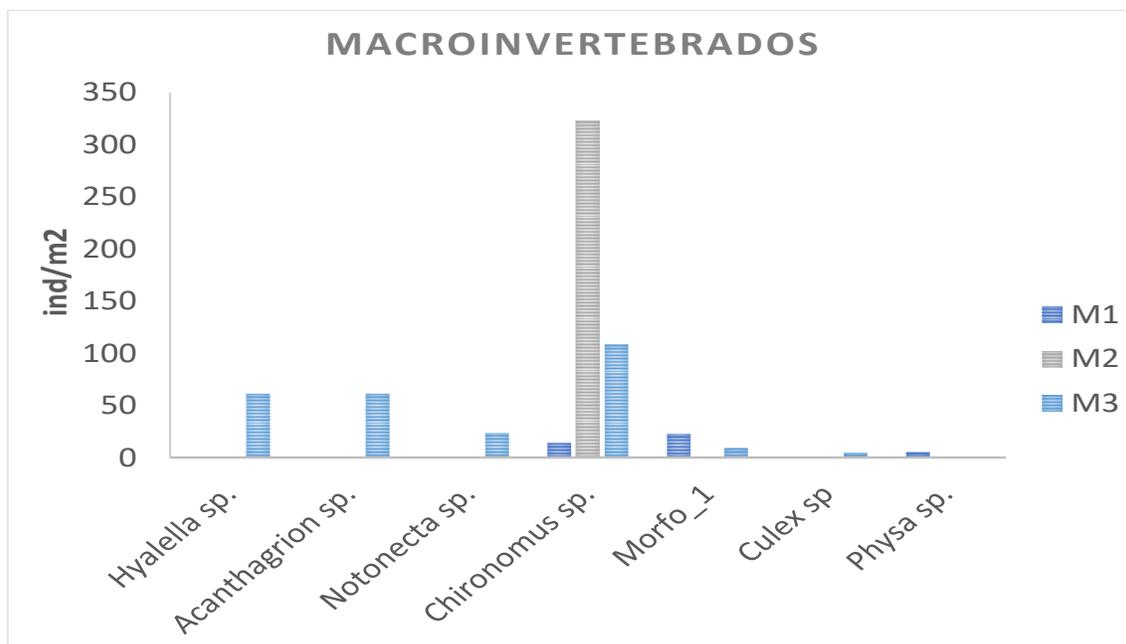


Figura 27. Macroinvertebrados colectados en la Dársena de Tibitoc, durante los tres muestreos. (M1) Muestreo 1. (M2) Muestreo 2 y (M3) Muestreo 3.

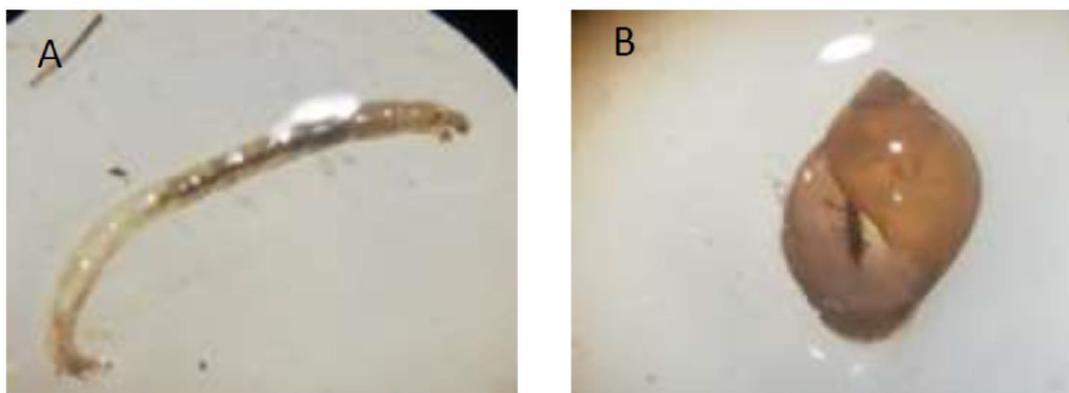


Figura 28. Macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas colectados durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Chironomus sp.; B: Physa sp. Fuente: ANASCOL 2022.

Como dato adicional, durante el segundo muestreo y al momento de la captura de cangrejo rojo, se visualizaron Hirudíneos sobre el caparazón de *P. clarkii*. Durante la fase de laboratorio se contaron alrededor de 250 Hirudíneos del género *Helobdella* (figura 29); la presencia de este tipo de anélidos, que en conjunto con las familias Chironomidae y

Physidae, son indicadores de aguas meso a eutróficas, donde la presencia y abundancia de estos organismos está favorecida por su amplia tolerancia a niveles escasos de oxígeno y alta disponibilidad de detritus (Ramírez et al., 2013).



Figura 29. Macroinvertebrado (*Helobdella* sp.) colectado sobre el caparazón de *P. clarkii* en la Dársena de Tibitoc (Fuente: Mabel Pimiento).

Macrófitas

Las plantas acuáticas están representadas por todo aquel tipo de vegetación que crece en zona litoral de los lagos, ríos y embalses; ya sea en la zona de interfase agua-tierra, sobre la superficie del agua o totalmente sumergida (Roldan y Ramírez, 2008). Todos estos son lugares propicios para el desarrollo de macroinvertebrados, entre ellos el cangrejo rojo americano, también para el desarrollo del zooplancton, perifiton y desove de peces.

Durante los muestreos realizados en la Dársena de la planta Tibitoc, se ha identificado tres especies de plantas acuáticas *Juncus effusus*, *Lemna minor* y *Ludwigia* sp., siendo *Ludwigia* sp., la más abundante con una cobertura vegetal del 80, 98 y 79%, respectivamente durante los tres muestreos, seguida por *Juncus effusus* con cobertura del 2 al 13%, mientras que *Lemna minor* presentó una cobertura del 7 % en el segundo muestreo y 21% en el tercer muestreo (figura 30). Además se observaron plantas acuáticas flotantes con hojas anchas espigadas entre los parches de *Ludwigia* sp, e individuos aislados en el área de la Dársena, pertenecientes al género *Eichornia* (Buchon de agua).

Respecto al género *Ludwigia* estas son plantas que viven en aguas remansadas de acequias, canales, arrozales, lagunas, estanques y riberas de cursos fluviales. Se localizan en zonas de clima cálido, tienen una elevada capacidad de adaptación a diferentes ambientes, desde los estanques y jardines puede colonizar zonas húmedas permanentes, térmicas, con cierta profundidad y suelos ricos, preferentemente ácidos. Son especies con gran capacidad de colonización y propagación. Una vez establecidas, producen gran cantidad de biomasa y pueden ocupar un área extensa contribuyendo a modificar las condiciones fisicoquímicas del agua (García & Ñigo, 2014). Estas condiciones que ofrece *Ludwigia* son favorables para el establecimiento del cangrejo rojo americano en la Dársena

de la planta Tibitoc, debido a la alta preferencia de esta especie por las macrófitas, en donde encuentran refugio y alimento.

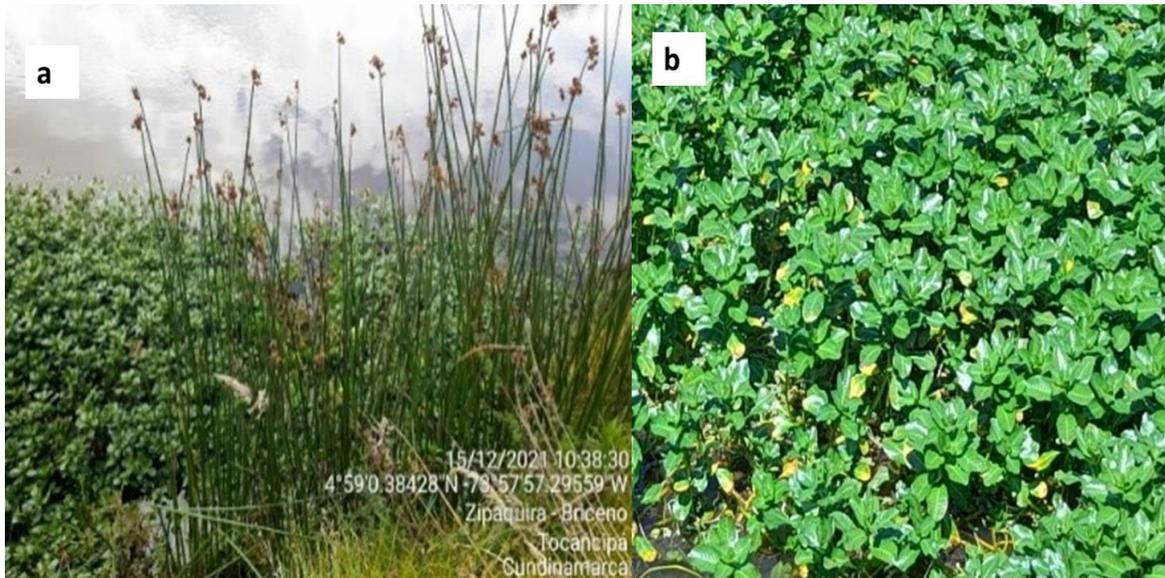


Figura 30. Macrófitas registradas durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Juncus effusus*; B: *Ludwigia* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

Conclusiones

- El agua de la Dársena tiene una gran carga de materia orgánica, y presenta cierto grado de eutrofización evidenciado en una baja disponibilidad de oxígeno, alta presencia de Coliformes totales, y presencia de organismos como los Chironomidos, Hirudíneos, Physidae, rotíferos y microalgas que son indicadores de aguas meso a eutróficas, donde la presencia y abundancia de estos organismos está favorecida por su amplia tolerancia a niveles escasos de oxígeno y alta disponibilidad de detritus.
- Con respecto a las comunidades hidrobiológicas el fitoplacton es una de las más diversas con 30 géneros de algas planctónicas identificadas, los organismos del Phylum Rotífera son los más representativos del zooplancton, mientras la familia Chironomidae es la más abundante de los macroinvertebrados.
- Finalmente, la macrófita del género *Ludwigia* es la más abundante con una cobertura vegetal del 80 al 98 % del área de muestreo la cual favorece el establecimiento de la población de *P. clarkii*.

CAPÍTULO 3. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*).

INTRODUCCIÓN

Procambarus clarkii, es un invertebrado decápodo originario del noreste de México y el centro-sur de los Estados Unidos. Este organismo ha sido introducido en todos los continentes excepto en la Antártida y en Oceanía. Hoy en día es considerado una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas de Europa (Barbaresi et al., 2004; Fernández-Cardenete et al., 2013).

Las características biológicas y ecológicas, que le han permitido establecerse son la capacidad de resistir a periodos de sequía prolongados de hasta cuatro meses (Gherardi, 2006); lo que le permite sobrevivir hasta que las condiciones vuelvan a ser favorables, por otro lado, otras características importantes que le permiten colonizar rápidamente los nuevos ambientes son el rápido crecimiento, las altas tasas de fecundidad y su amplio rango de ítems alimentarios que le confieren una clasificación de organismo omnívoro, incluyendo en su dieta insectos acuáticos, macrófitas y detritus (materia orgánica en descomposición tanto de origen animal como vegetal) (FAO, 2021). Sumado a esto, el cangrejo rojo americano es capaz de tolerar un amplio rango de condiciones ambientales como altas concentraciones de salinidad, bajas concentraciones de oxígeno, aguas contaminadas, entre otras (Gutierrez-Yurrita et al., 1998).

El presente capítulo aborda algunos aspectos de la biología y ecología del cangrejo rojo americano relacionadas con su éxito reproductivo y su capacidad de colonización y establecimiento en la Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua (PTAP) de Tibitoc, para ello se analizó la densidad poblacional, la proporción de hembras y machos, su estado reproductivo, el número de huevos internos, se realizó una aproximación a la estructura de tallas y también se estudió el contenido estomacal de los cangrejos para determinar la dieta del cangrejo rojo americano en la Dársena.

MÉTODOS

Actividades de campo

El desarrollo de la fase de campo de este proyecto se llevó a cabo en tres jornadas: la primera tuvo lugar los días 14, 15 y 16 de diciembre del 2021, la segunda se realizó el 26 y 27 de enero del 2022 y la tercera el 8 y 9 de marzo conforme con la programación de actividades del Project.

Para la instalación de las trampas y la evaluación de los aspectos poblacionales, estructura, aspectos reproductivos y dieta de cangrejo rojo americano, se seleccionaron estaciones de muestreo con base en criterios como: presencia de madrigueras, presencia y abundancia de macrófitas y acceso eficiente y seguro para el personal. Las áreas de trabajo

denominadas polígonos, donde se instalaron las trampas corresponden a: Polígono Bocatoma, Polígono cosechadora y Polígono Bombeo.

En total se instalaron 120 trampas por muestreo 60 trampas Zreal y 60 trampas Accesotech en toda la Dársena, repartidas en tres polígonos o estaciones de muestreo (figura 5). En cada polígono, las trampas se ubicaron en posición paralela al flujo del agua, en la parte litoral, cada trampa estuvo separada 5 m una de la otra y en el interior de cada trampa se dispuso un recipiente plástico agujereado (cebador) el cual contenía 50 g de alimento procesado para felino que se usó como atrayente, este se utilizó por ser uno de los cebos probados en las visitas de reconocimiento como el más efectivo para atraer al cangrejo rojo americano (figura 31). La exposición de las trampas en la Dársena contó con un esfuerzo de muestreo máximo de veinticuatro (24) horas, después de las cuales se retiraron las trampas y se colectaron los individuos de cangrejo rojo.



Figura 31. Detalle del cebo usado para la captura del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Las actividades de campo realizadas por cada componente biológico se describen a continuación:

Parámetros poblacionales

La densidad poblacional, la proporción de sexos, la estructura de tallas y la morfometría son parámetros que nos permiten determinar características de la población objetivo como los tamaños corporales en los cuales se alcanza la madurez, conocer su abundancia en un ecosistema y las posibles épocas reproductivas (Rodríguez, 2011); todo esto con el fin de

identificar el comportamiento de la población e identificar cuando y sobre cuales grupos demográficos pueden llegar a ser más efectivas las acciones de control. A continuación, se describen las actividades de campo y los principales resultados obtenidos de la evaluación de la densidad poblacional del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Para estimar la densidad poblacional se utilizaron los organismos capturados en 30 trampas Zreal (figura 32) en toda la Dársena, repartidas en tres polígonos o estaciones de muestreo (10 trampas por Polígono). Trascurrido el tiempo de 24 horas, cada trampa Zreal, se retiró del cuerpo de agua, y los cangrejos colectados, fueron dispuestos en bolsas plásticas de alto calibre, debidamente codificadas y selladas; los datos del número de individuos fueron registrados en formatos de campo.



Figura 32. Trampa Zreal. Fuente: cdir.com.br

Aspectos reproductivos

El cangrejo rojo americano, presenta dimorfismo sexual, 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, útiles en el proceso de transferencia del espermatóforo y las aperturas genitales se encuentran en el quinto par de pereiópodos (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017). Las hembras poseen aberturas genitales en el tercer par de pereiópodos y los apéndices abdominales del primer y segundo par de pleópodos son vestigiales (figura 33).

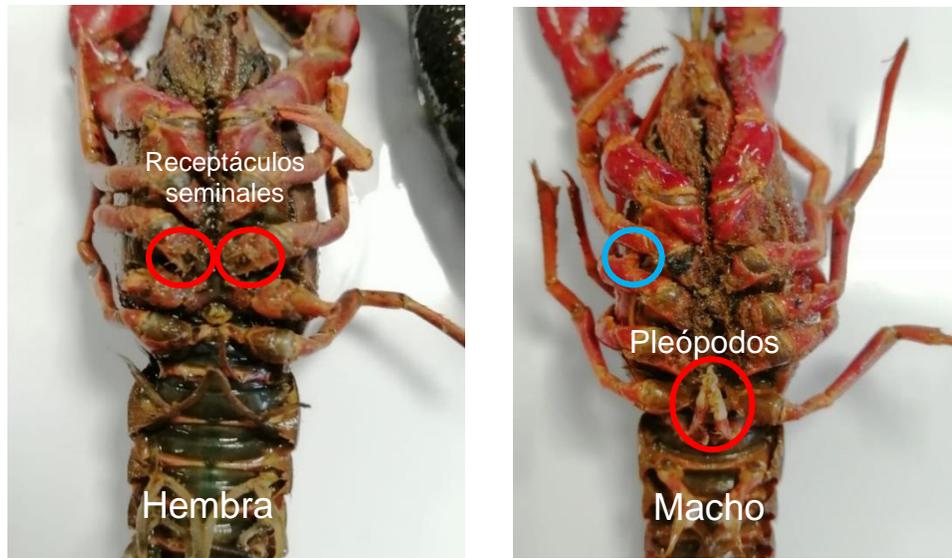


Figura 33. Registro fotográfico de hembra y macho de *P. clarkii*. Izquierda – hembra, el área señalada indica los receptáculos seminales. Derecha – macho, el área señalada indica los pleópodos modificados, en el círculo azul se observan los ganchos copuladores (Fuente: Mabel Pimiento).

En el momento de la reproducción, hembras y machos de *Procambarus clarkii* realizan un encuentro con reconocimiento químico y visual, luego el macho sostiene a la hembra con los quelípedos postrándola con su dorso sobre el sustrato; en ese momento el macho utiliza sus pleópodos modificados en gonopodios para transmitir los espermátóforos al receptáculo seminal de las hembras (annulus ventralis), en esta estructura de las hembras, el espermatozoa queda almacenado por un periodo que se puede extender hasta 8 meses cuando la ovulación ocurre, debido a que la fertilización de los huevos es externa (Huner y Barr, 1984; Huner, 1990).

La evaluación de los aspectos reproductivos permite profundizar en el comportamiento y fisiología reproductiva de la especie, principalmente en ecosistemas que coloniza, con el objeto de buscar alternativas que en conjunto con otros aspectos biológicos aporten la suficiente información para el control de este tipo de especie invasora.

Con el fin de evaluar los aspectos reproductivos de la especie, se utilizaron el total de los cangrejos colectados, en trampas tanto Zreal como Accesotech, los cangrejos capturados en cada una de estas trampas fueron dispuestos en posición ventral para diferenciar sus estructuras reproductivas, identificando los poros genitales y otras estructuras (figura 33), los datos del número de hembras y machos por cada trampa fueron registrado en el formato de campo.

Contenidos estomacales

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.

Para evaluar la dieta del cangrejo rojo americano en zona de la Dársena de la PTAP-Tibitoc, se seleccionaron 91 organismos al azar, de las 30 trampas accesotech empleadas para los objetivos de densidad poblacional y control, con una exposición en el agua de 24 horas, todas las trampas usaron como atrayente alimento procesado para gato, el cual se dispuso en frascos agujereados y debidamente tapados (figura 31), con el fin de evitar que el cangrejo consumiera dicho alimento que pudiera interferir en los resultados y el análisis de los contenidos estomacales.

Control

Una piedra angular de los eventos de introducción e invasión de una especie recae en los métodos de control. Estos procesos deben ser trabajados de una manera interdisciplinaria para poder identificar posibles efectos colaterales de la aplicación y que pueden afectar a escalas químicas, ambientales, y sociales (Carvalho, 2009). En particular, para especies exóticas invasoras acuáticas los métodos de control suelen ser de difícil diseño y ejecución pues la efectividad de las acciones de control y erradicación se correlaciona con el estado de invasión y las características del cuerpo de agua invadido (aguas lénticas o lólicas, pero también si son sistemas abiertos o cerrados). Cabe aclarar que, en muchos casos, después de la introducción las especies, aquellas que se logran establecer, su erradicación resulta casi imposible, inclinando las estrategias hacia métodos y diseños de control que ayudan a disminuir los impactos negativos.

Para poder realizar el proceso de evaluación de control, en cada polígono se ubicaron dos líneas de trampas 10 Zreal y 10 Accesotech (figura 34), entre cada línea de trampas de estableció una distancia de 20 m, para una longitud total del transecto de 120 m (figura 35).



Figura 34. Métodos de captura pasiva usados durante los muestreos. a: Trampa Accesotech o trampa cangrejera b: Trampa Zreal.

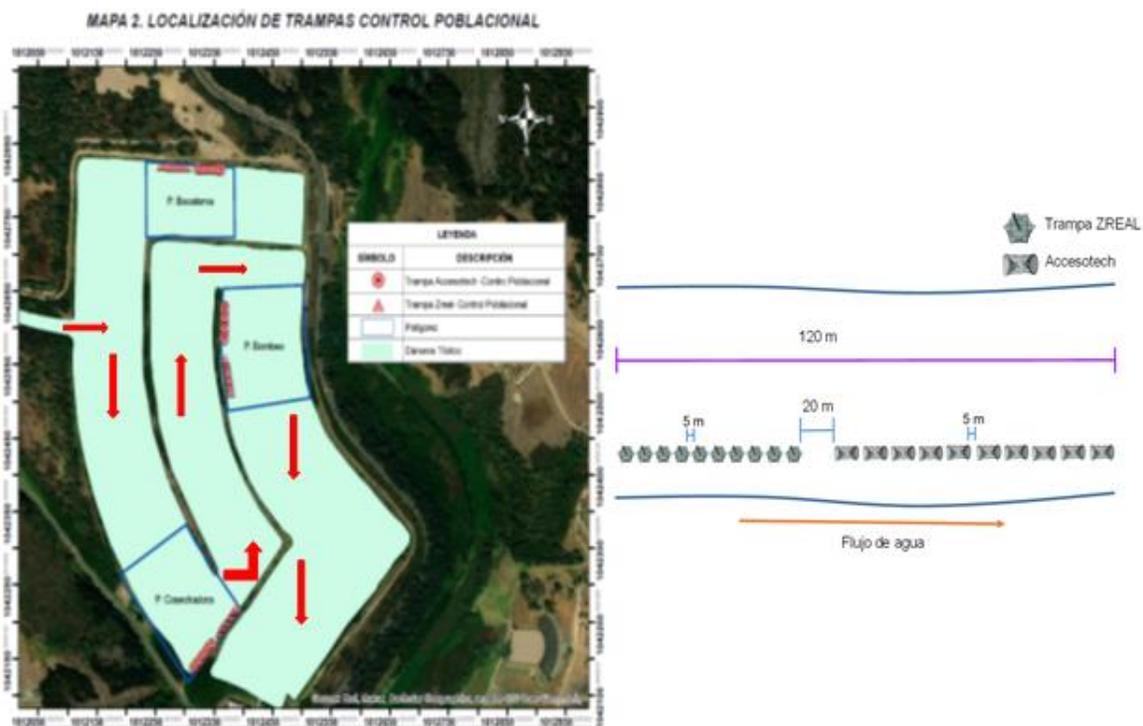


Figura 35. Diseño de muestreo en campo con trampas Zreal y trampa Accesotech o trampa cangrejera, usadas para realizar control poblacional del cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii*. Fuente: Elaboración propia.

Sacrificio

Todos los especímenes colectados durante esta investigación fueron sacrificados por descenso de la actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura; este método de sacrificio es recomendado por Wineck et al., (2018) y sigue las recomendaciones de Puri & Faulkes (2015) respecto a la pérdida de percepción de dolor en estos organismos. Todos los cangrejos capturados fueron codificados y almacenados en neveras portátiles con pilas refrigerantes. Posteriormente, al llegar al laboratorio LS404 de la UPTC, los cangrejos se almacenaron en un congelador a -20°C , según lo recomendado en otros planes para el manejo y control del cangrejo rojo americano (*P. clarkii*), (Gobierno de Aragón, 2010, DOE, 2019).

Actividades de Laboratorio

Para el trabajo en el laboratorio, los especímenes colectados de *P. clarkii* fueron descongelados gradualmente a temperatura ambiente, antes de iniciar los respectivos análisis, este procedimiento fue igual para todos los cangrejos revisados durante esta investigación.

Las actividades de laboratorio encaminadas a estudiar la estructura de tallas mediante medidas morfométricas, aspectos reproductivos como: la proporción de hembras y machos, el estadio, la estimación del número de huevos internos y el análisis del contenido estomacal de los cangrejos en la Dársena de Tibitoc se encuentra detallado en cada una de las secciones.

Morfometría de *P. clarkii*

Las medidas morfométricas y el pesaje de los cangrejos sirven para identificar el tipo de crecimiento que tiene la población del cangrejo rojo en la Dársena, los tamaños máximos que pueden alcanzar, la estructura de tallas y la longevidad, esta información es importante porque nos permite saber si la población está creciendo, e inferir si el cangrejo rojo está encontrando condiciones adecuadas para su desarrollo y permanencia en la Dársena.

Todos los cangrejos colectados se midieron con un calibrador digital registrando las medidas en milímetros; para el peso se empleó una balanza analítica, la unidad de medida fue en gramos.

Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- 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 36) (Hamasaki et al., 2020).
- Peso húmedo del cangrejo (PHC) (Arias-Pineda et al., 2020).

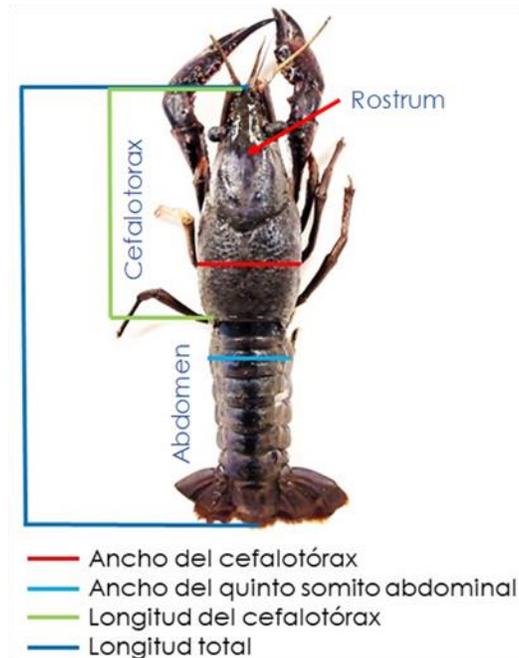


Figura 36. Diagrama con medidas morfométricas que se tomaron al cangrejo rojo americano (P. clarkii). En líneas rojas se muestran las medidas a evaluar: Longitud total (LT), Longitud del cefalotórax (LC), Ancho del cefalotórax (AC), Ancho del abdomen (AA). (Fuente: Catalina Sarmiento).

Análisis estadísticos de los datos

Se realizaron análisis de datos por medio de estadística descriptiva y estadística inferencial, empleando los programas Past 4.0, FISAT II y Excel.

Para los datos poblacionales como densidad, control, estados de madurez y medidas morfométricas se hallaron diferentes medidas de tendencia central (ej. Media, varianza, rango), los cuales se representaron por medio de gráficas de frecuencia, cajas y bigotes, y tablas.

Para las comparaciones de densidad y abundancia de organismos entre estaciones de muestreo y tipo de trampa, primero se determinó la normalidad de los datos usando test de

Shapiro-Wilk (Frank, 1951). Posteriormente, en los casos que los datos fueron normales se aplicó un Análisis de Varianza o prueba t (si eran comparaciones pareadas) el cual permitió determinar si las medias de los grupos (individuos capturados por diferentes estaciones y trampas) son significativamente diferentes entre sí o no, para ello se aplicó un análisis de una vía (Blanca et al., 2017). A partir de los resultados de este análisis se obtuvo el p valor que permitió rechazar las hipótesis nulas de igualdad ($p < 0,05$), o aceptarlas ($p > 0,05$). Este análisis nos permitió identificar si existía diferencia entre los conjuntos de datos, pero no exactamente cuál, así que después se aplicaron el test de Tukey HSD para observar cuales fueron las estaciones y/o tipos de trampa que presentaron diferencias (Abdi y Williams, 2010).

A los datos obtenidos de los muestreos no normales o no paramétricos se les aplicó una prueba análoga al Análisis de Varianza (estadístico F), denominado Kruskal Wallis (estadístico H) o test de Mann Whitney (para comparaciones pareadas). Estos test nos permitieron ver diferencias usando un método de rangos. Después de observar si se aceptaba la hipótesis nula de igualdad o se rechazaba ($p < 0,05$), se aplicó el test de Tukey HSD para observar cual es diferente (Legendre y Legendre, 2003). Estas pruebas estadísticas se usaron para hacer comparaciones en cada uno de los parámetros poblacionales evaluados.

Para el análisis de la morfometría de *P. clarkii*, se realizaron pruebas de normalidad de cada medida hecha a los organismos (hembras, machos y juveniles) y se compararon con la prueba de Kruskal-Wallis o Mann Whitney dependiendo si se comparaban entre polígonos, muestreos o sexos. Además, se realizaron graficas de violines con cajas y bigotes por medio del programa Past 4.0. Las relaciones longitud-peso de hembras, machos y juveniles se evaluaron mediante el análisis regresión lineal y luego se hallaron las diferencias estadísticas por pruebas pareadas de Mann Whitney (Gonçalves-Loureiro et al., 2019).

Adicionalmente a los análisis de la estructura de tallas se tomó en cuenta el método de Normsep con el algoritmo Simplex (Gayanilo et al., 2005), del programa de acceso libre FISAT II.

En cuanto a los aspectos reproductivos, adicional al cálculo de los Índices Gonadosomático (IGS) y Hepatosomático (IHS), se realizaron comparaciones estadísticas, con el objeto de visualizar la posible relación entre este índice y la longitud de cefalotórax de *P. clarkii*. Para ello se calcularon las diferencias estadísticas de los organismos maduros, colectados en los tres muestreos y se utilizó la prueba de correlación Lineal de Pearson, esto en el programa Excel.

Para el caso de los contenidos estomacales, el análisis estadístico para las dietas se realizó estadística descriptiva (media y rango usando Excel). Adicionalmente se comparó la proporción de consumo de detritos y tejido animal y vegetal entre grupos demográficos (hembras, machos y juveniles) y entre los muestreos utilizando índices de importancia relativa de ítems consumidos por el cangrejo. Esto se hizo empleando el software estadístico PAST 4.0 y otros softwares de libre acceso (Gonçalves-Loureiro et al., 2019).

También se evaluó 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 utilizó el Índice de diversidad de Shannon-Wiener; adicional a esto, se evaluó la diferencia en la composición de la dieta entre los grupos demográficos y los tiempos de muestreo mediante el análisis de similitud (ANOSIM), por otro lado, los ítems alimentarios específicos responsables de la disimilitud entre los grupos demográficos fueron identificados mediante el análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) según lo propuesto por Gonçalves-Loureiro et al., 2019. Por último, Se hizo una relación cualitativa de la oferta y la demanda alimentaria con base en la información de las variables hidrobiológicas y los ítems alimentarios encontrados en los contenidos estomacales mediante análisis de presencia/ausencia.

Resultados Generales

Analizando los tres muestreos e incluyendo todos los objetivos (densidad poblacional, contenido estomacal y control) evaluados durante este estudio, podemos observar que, con un total de 360 trampas instaladas para los tres muestreos, se colectaron 217 individuos de *P. clarkii*, distribuidos así: 43 individuos en el primer muestreo, 88 individuos en el segundo y 86 en el tercer muestreo. Los dos últimos muestreos fueron similares en el número de organismos colectados y duplicaron a las colectas del primer muestreo (figura 37).

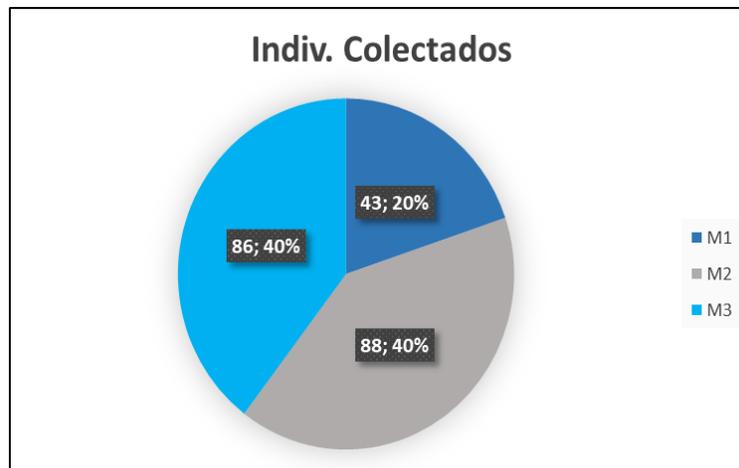


Figura 37. Número total de individuos colectados por muestreo. M1: primer muestreo; M2: segundo muestreo; M3: tercer muestreo

En la figura 38, se analizan todos los organismos colectados por cada uno de los objetivos de esta investigación. En general, se observó una diferencia en el tamaño de hembras y machos, siendo los machos ligeramente más pequeños que las hembras, por otro lado, la variabilidad del tamaño de las hembras es mucho más grande que la de los machos presentando el individuo más pequeño y también el más grande de todo el muestreo.

En varios estudios se ha reportado que las hembras son ligeramente más grandes que los machos, debido a su necesidad de estar en óptimas condiciones para reproducirse y mantener las crías durante el tiempo de eclosión. Mistri et al., (2019) reportó que las hembras de Italia fueron más grandes que los machos, lo que concuerda con lo encontrado en la Dársena.

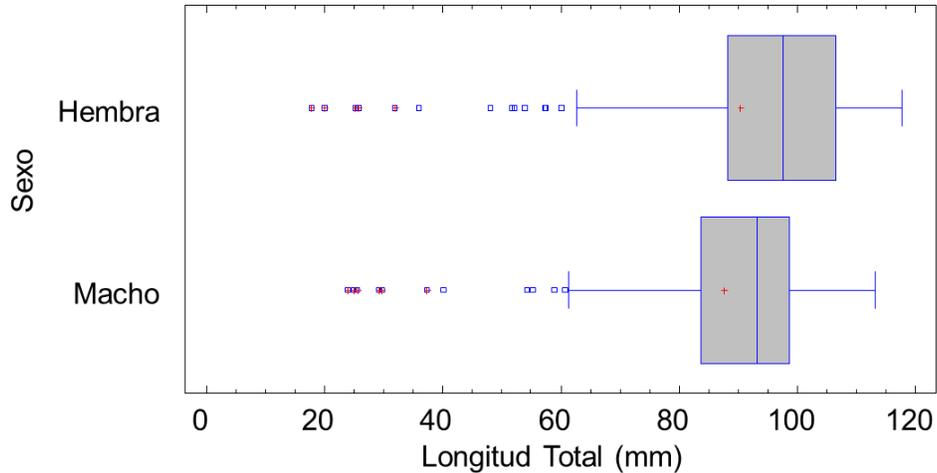


Figura 38. Comparación de la longitud total de hembras y machos colectados en todos los muestreos.

En cuanto a la diferencia entre los muestreos, también observamos diferencias significativas al analizar todos los individuos colectados, en la figura 39 podemos observar un ligero incremento en el tamaño promedio del ancho del cefalotórax, lo que indica que para el tercer muestreo se colectaron individuos más grandes que en los otros dos muestreos, también se evidencia que en el segundo muestreo se colectó una mayor variabilidad en los tamaños del ancho del cefalotórax (< 5 mm hasta 25 mm).

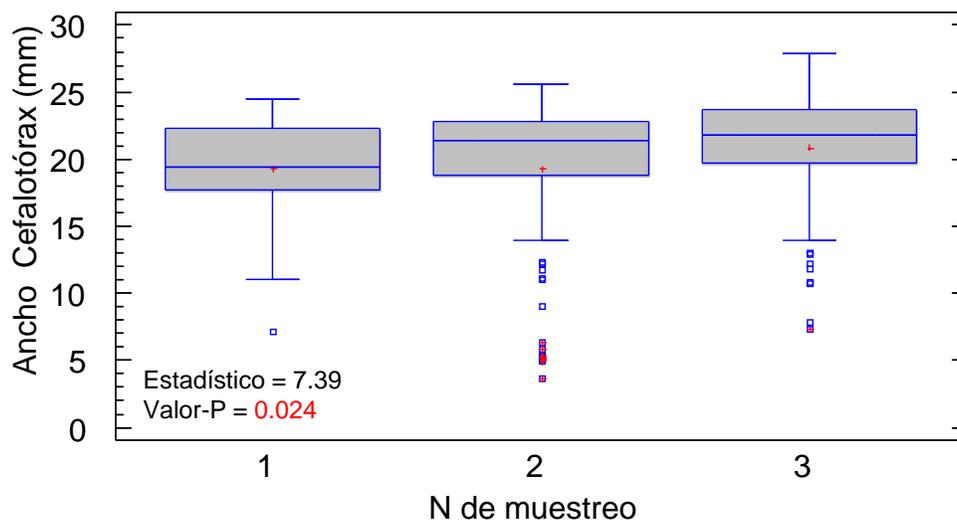


Figura 39. Comparación de la medida del ancho del cefalotórax del número total de individuos colectados por muestreo. 1: primer muestreo; 2: segundo muestreo; 3: tercer muestreo

A continuación, se describen los resultados por cada uno de los aspectos evaluados en la presente investigación:

DENSIDAD POBLACIONAL

Para el análisis de la densidad poblacional se capturaron 71 individuos de *P. clarkii* en los tres muestreos, para lo cual se usaron 90 trampas en total, las capturas se distribuyeron de la siguiente manera: 19 individuos en el primer muestreo, 34 individuos en el segundo muestreo y 18 en el tercero.

La densidad poblacional fue medida como el número de cangrejos colectados por cada una de las trampas por polígono. Para esto, se aplicó la fórmula de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de dos maneras:

$$1. CPUE1 = \frac{\text{No. individuos de cangrejo}}{\text{Trampa}}$$

$$2. CPUE2 = \frac{\text{No. individuos de cangrejo}}{\text{Polígono}}$$

En la tabla 4, se muestra la CPUE de los muestreos realizados. En el polígono cercano al área de bombeo (P. Bom), fue donde se obtuvo más captura por unidad de esfuerzo, y en simultáneo mayor densidad poblacional, seguido del polígono de la cosechadora (P. cos) y por último el polígono de la Bocatoma (P. Boc). En el primer y segundo muestreo, el polígono de Bombeo fue el de mayor captura, mientras que, en el tercer muestreo, el polígono de la Cosechadora tuvo mayor captura por unidad de esfuerzo.

Tabla 3. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y densidad poblacional por muestreo, polígono y trampa. Datos obtenidos a partir de N° cangrejos/trampa (N°c/t) y N° cangrejos colectados/polígono (N°c/p); Polígono Boc: Polígono cerca al área de Bocatoma (entrada del río Bogotá); Polígono cos: Polígono cerca al área de Cosechadora. Polígono Bom: Polígono cerca al área de bombeo.

Muestreo/Polígono	Fórmula	N° trampas	N° organismos colectados	CPUE	Densidad (ind/m ²)
Muestreo 1	N°c/t	30	19	0,63	0,03
P. Boc.	N°c/p	10	0	0	0
P. Cos	N°c/p	10	10	1	0,04
P. Bom	N°c/p	10	9	0,9*	0,04
Muestreo 2	N°c/t	30	34	1,13	0,05
P. Boc.	N°c/p	10	9	0,9	0,04

P. Cos	N°c/p	10	5	0,5	0,02
P. Bom	N°c/p	10	20	2*	0,08
Muestreo 3	N°c/t	30	18	0,6	0,02
P. Boc.	N°c/p	10	6	0,6	0,02
P. Cos	N°c/p	10	8	0,8*	0,03
P. Bom	N°c/p	10	4	0,4	0,02

Con respecto a la densidad de *P. clarkii* en la Dársena de la PTAP de Tibitoc podemos observar una densidad promedio de **0,032 ind/m²** o lo que equivale a 315,5 ind/ha. En este estudio, cada transecto tuvo un área de 250 m² (50m x 5m). Se instalaron un total de nueve transectos para los tres muestreos (tres en el primer muestreo, tres en el segundo muestreo y tres en el tercero), para un total de 2250 m².

$$\text{Densidad total Darsena} = \frac{N^{\circ} \text{ ind} \times \text{ArD}}{\text{ArT}} = \frac{71 \text{ ind} \times 25,5 \text{ ha}}{0,225 \text{ ha}} = 8047 \text{ ind}$$

N° ind: Número de individuos colectados en transectos de densidad: 71

ArT: Área de los transectos: 2250 m² ó 0,225 ha

ArD: Área de la Dársena: 25,5 ha

En hectáreas, la densidad de individuos fue de 315,5 ind/ha; si esto se extrapola a las 25,5 ha que tiene la Dársena, podríamos suponer que existe una población aproximada de 8047 cangrejos.

Los resultados evidencian una baja densidad poblacional de cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc (0,032 ind/m² ó 315,5 ind/ha). Comparando los tres muestreos realizados, el primer muestreo tuvo capturas bajas en comparación con el segundo y tercer muestreo, en los cuales se capturaron cantidades similares de individuos de cangrejo rojo. Es probable que el aumento de las capturas se haya dado por una leve disminución en el periodo de lluvias al comenzar el segundo muestreo, que influye en una mayor actividad de los cangrejos.

El polígono cercano al área de bombeo el cual es el último paso antes de que el agua inicie su proceso de tratamiento, fue una de las zonas con mayor captura de organismos como lo refleja el CPUE, sin embargo, en el tercer muestreo, hubo mayor captura en el polígono de la cosechadora zona intermedia de la Dársena. La presencia de los cangrejos en el polígono de bombeo, puede estar relacionado con procesos de deriva de cangrejos, que son arrastrados o desplazan a favor del caudal, desde la entrada de los cuerpos de agua que enriquecen la Dársena. En el polígono de la cosechadora, la presencia del cangrejo rojo puede deberse a la acumulación de materia orgánica por parte de las macrófitas que brindan refugio a los juveniles y alimentación a los adultos. Por otra parte, la entrada del agua a la Dársena se da por el polígono de la bocatoma, el cual es el que tiene menor densidad de cangrejos; en este polígono se observa una mayor velocidad del caudal, que

pueden llevar al cangrejo hacia el polígono de la cosechadora y luego al polígono de bombeo. *P. clarkii* prefiere ecosistemas lenticos y usan los ríos o quebradas como paso para otros lugares de establecimiento final.

En general, los organismos colectados en todas las trampas son adultos. Esto puede deberse a que los individuos que forrajean activamente en busca de alimento y con comportamientos más territoriales son los adultos, por lo cual pueden ser fácilmente atraídos a las trampas, más que los juveniles que permanecen largos periodos de tiempo refugiados en las macrófitas o en madrigueras. Respecto a los organismos colectados en la Dársena, por sexos, se ve una ligera tendencia a que las hembras sean más grandes y pesadas que los machos.

En los Anexos 1 y 1.1, se evidencian las medidas morfométricas de los cangrejos colectados por muestreo, polígono y por objetivo de muestreo, encontrando que los intervalos de tamaño de la longitud del cefalotórax 44,2-49,1 mm y 49,2-54,1mm, fueron los más abundantes; cerca del 60% de los individuos colectados en los dos muestreos pertenecen a estos dos intervalos.

Los diagramas de violines reflejan un comportamiento similar en el peso de los organismos completos y sin tenazas, la mayor proporción de organismos se presentó entre los 10 y 25 g en el primer muestreo. En el segundo y tercer muestreo, los organismos colectados fueron ligeramente más pesados que en el primer muestreo. Esta tendencia también se observó en las medidas morfométricas, donde se concentró la mayor proporción de organismos grandes en el segundo y tercer muestreo (figura 40).

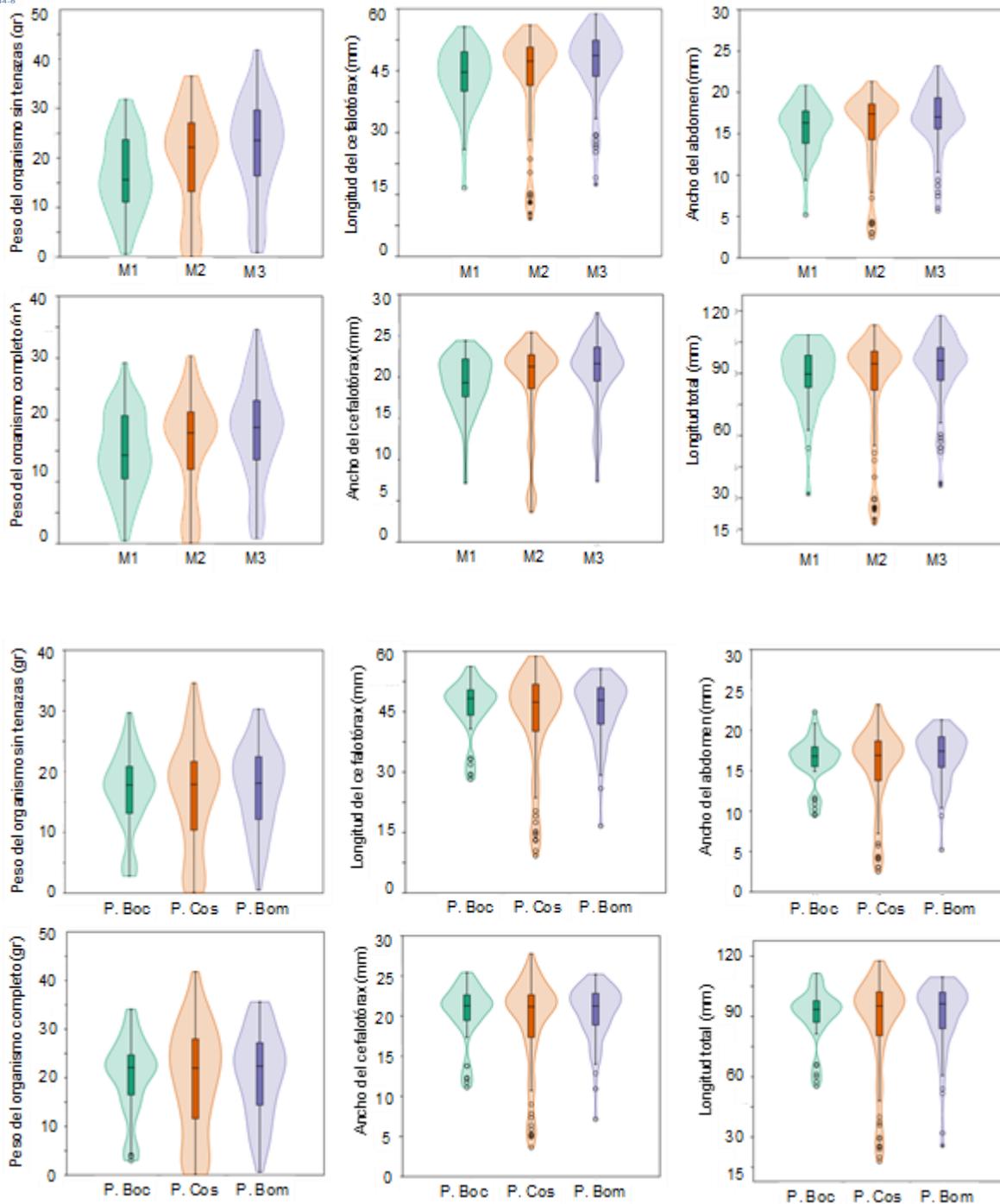


Figura 40. Diagrama de violín con cajas y bigotes de las medidas morfométricas y peso de los individuos de *P. clarkii* colectados en la Dársena de Tibitoc. En la parte superior las comparaciones de todos los cangrejos por muestreos (M1-primer muestreo, M2-segundo muestreo, M3 – tercer muestreo) y en la parte inferior los individuos se compararon por polígono de muestreo, P. Boc= Polígono cerca al área de la bocatoma, P. Cos= Polígono cerca al área de la cosechadora), (P. Bom= Polígono cerca al área de bombeo).

Sin embargo, al analizar las diferencias estadísticas del total de los organismos colectados (217), por peso, longitud total, longitud del cefalotórax, ancho del cefalotórax y ancho del abdomen, y comparándolos por muestreo y por polígono, la prueba de Mann-Whitney para establecer diferencias entre muestreos y la prueba de Kruskal-Wallis para comparaciones por polígono, se encontró que por polígono los organismos colectados no tuvieron diferencias estadísticas ni en el peso, ni en el tamaño. Por muestreo, se observó una tendencia similar donde no hubo diferencias entre medidas excepto en el ancho del cefalotórax, las diferencias significativas se observaron entre hembras y machos (tabla 5). Esto puede ser debido a que se observaron algunos datos atípicos tendientes a la disminución, debido a que algunos organismos colectados estuvieron por fuera de la media. Tanto en el segundo y tercer muestreo se colectaron algunos organismos pequeños o juveniles. Los resultados se muestran en la tabla 4.

*Tabla 4. Diferencias estadísticas del peso y la longitud total del cangrejo rojo por muestreo y por polígono. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba (** p valor <0.02).*

Item	n	Peso de los organismos		Longitud total		Longitud del cefalotórax		Ancho del cefalotórax		Ancho del abdomen	
		Est*	<i>p</i>	Est*	<i>p</i>	Est*	<i>p</i>	Est*	<i>p</i>	Est*	<i>p</i>
Muestreo	217	3,6	0,6	3,7	0,15	3,0	0,2	7,3	**	4,1	0,1
Polígono	217	0,9	0,6	0,6	0,71	0,3	0,8	0,5	0,7	2,4	0,2
Sexo	217	5,4	**	5,2	**	4,9	**	5,3	**	6,1	**

*Se muestra el estadístico *F* o *H* según la prueba para tres conjuntos de datos y *Z* para pruebas pareadas. Est= estadístico.

TIPO DE CRECIMIENTO DEL CANGREJO ROJO AMERICANO EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TIBITOC

El crecimiento de los crustáceos cambia conforme ellos crecen, por tal motivo, se evidencia que las variables morfométricas cambian su tasa de cambio dependiendo del sexo y del ciclo en el que se encuentre. El crecimiento de los organismos ha sido estudiado principalmente con objetivos comerciales, de esta manera se ha podido identificar condiciones de salud y tallas de veda mínimas de acuerdo con su ciclo reproductivo, entre otros.

La alometría permite identificar los cambios sustanciales de una variable, como por ejemplo el peso frente a la longitud, y de esta manera poder comparar las tasas de crecimiento entre diferentes poblaciones a lo largo del tiempo. El crecimiento ha sido clasificado como isométrico cuando tanto el peso como la longitud incrementan en igual proporción, el valor *b* es igual a 3 ($b=3$), alométrico negativo cuando el valor *b* es menor a 3 ($b < 3$) es decir que ocurre un crecimiento desproporcionadamente bajo de la variable dependiente con respecto a la variable independiente y alométrico positivo cuando el valor *b* es mayor a 3 ($b > 3$), es decir que ocurre un crecimiento desproporcionadamente alto de la variable dependiente

con respecto a la variable independiente, este análisis es dado por la fórmula matemática $Y=a \times b$ de Huxley (Gayon, 2000).

Para realizar el presente análisis, se toma la medida de la longitud del cefalotórax, dado que es una estructura compacta y cuya medida está menos sujeta a cambios de forma por eventos de mutilación, lo que permite realizar una medición precisa, y seguir metodologías propuestas por Peña, 1994 y Pachón et al., 2018. No se empleó la longitud total, pues es una medida que puede variar de acuerdo con la posición en la que se ubique el cangrejo para realizar la medida y por efectos de mutilación como en estructuras del telson, lo que puede generar valores inexactos (Beroiz, 2004).

Respecto a la variable peso sin tenazas, se debe a que, por conductas como la territorialidad o disputas entre machos y hembras en el momento de la reproducción, pueden generar amputaciones principalmente de tenazas, razón por la cual durante los muestreos pueden encontrarse organismos incompletos o en proceso de regeneración de las mismas, haciendo que las medidas del peso varíen por factores diferentes al crecimiento del individuo. Con el fin, de homogenizar el registro de esta medida se amputaron las dos tenazas desde la coxa del apéndice, disminuyendo el sesgo de diferencia entre aquellos que tenían las dos tenazas, con aquellos que no las tenían o que se encontraban parcialmente regeneradas como lo sugiere Medina et al., 2019.

Es necesario aclarar, que la longitud no es una variable que frecuentemente se reduzca en un organismo a lo largo de su ciclo de vida, sin embargo, el peso es una medida que puede reducir o aumentar drásticamente debido a la oferta de recursos o diferentes etapas reproductivas, evento que es más frecuente observarlo en las hembras (Ricker, 1975).

El tipo de crecimiento de los individuos de *P. clarkii* en la Dársena de acuerdo a las relaciones morfométricas entre la longitud del cefalotórax vs el peso del cangrejo sin tenazas fue de tipo alométrico negativo $b=2,98$ con $p < 0,0001$ y un $R^2 = 0,95$. A partir de lo anterior, se puede inferir que el aumento de la variable independiente (longitud) fue mayor en proporción que el peso y puede estar regulado por eventos como el desove, que hacen perder el peso en las hembras, eventos de muda que resta peso al total de los individuos, y a la reducción de disponibilidad de alimento que se refleja en la pérdida o en la masa corporal (figura 41).

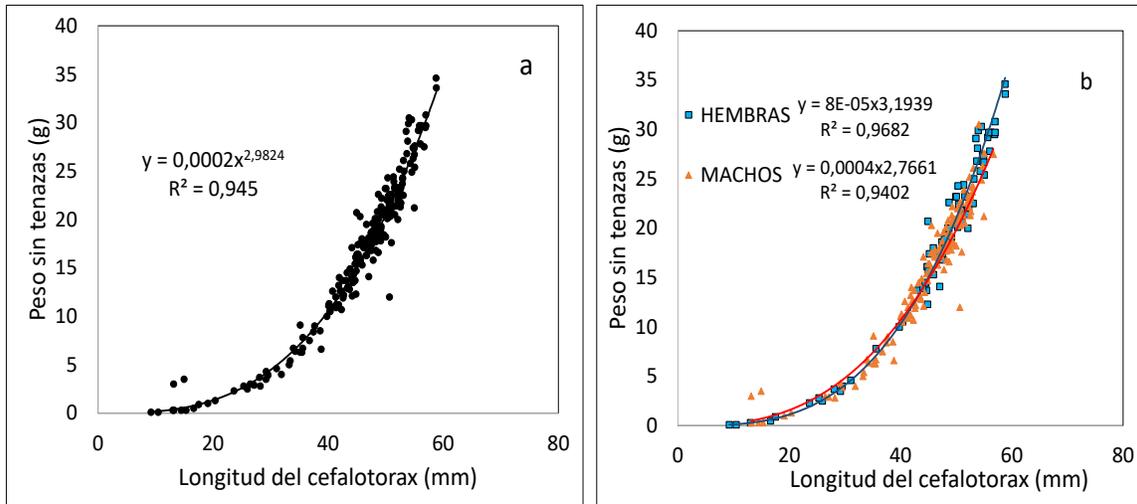


Figura 41. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso sin tenazas del cangrejo rojo americano; a: toda la población muestreada; b: hembras y machos totales.

Según Ricker (1975), tanto las hembras como los machos suelen tener diferentes tipos de crecimiento debido a la bioenergética de las hembras; en el caso de las hembras de *P. clarkii* durante el proceso de reproducción deben destinar energía para el apareamiento, el desarrollo de los huevos y para el cuidado parental de las crías en los pleópodos lo que involucra mayor variación en el peso.

A nivel general por sexos las hembras tuvieron un crecimiento de tipo alométrico positivo $b=3,1$ con $p < 0,0001$ y un $R^2 = 0,96$, mientras que los machos un crecimiento alométrico negativo $b=2,76$ con $p < 0,0001$ y un $R^2 = 0,94$. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que al analizar los datos de esta manera no se permite observar y discriminar eventos que sucedieron en los diferentes muestreos, debido a que son muestreos puntuales y en muy poco tiempo, y existen lapsos de tiempo en donde el crecimiento pudo ser isométrico, alométrico positivo o negativo.

Al analizar los mismos datos por muestreo se identifican diferencias significativas así, el primer muestreo se observa un crecimiento alométrico positivo $b = 3,29$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,94$, lo que equivale a que la población aumentó el peso en mayor proporción que la longitud. En el segundo muestreo la población presentó un crecimiento alométrico negativo $b = 2,93$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,94$ en donde la longitud está aumentando en mayor proporción que el peso. Finalmente, en el tercer muestreo, se evidenció un crecimiento isométrico, lo que indica que la población colectada aumentó de manera proporcional en longitud y peso, según el valor $b = 3,033$ con $p < 0,0001$ y un $R^2 = 0,96$ (figura 42).

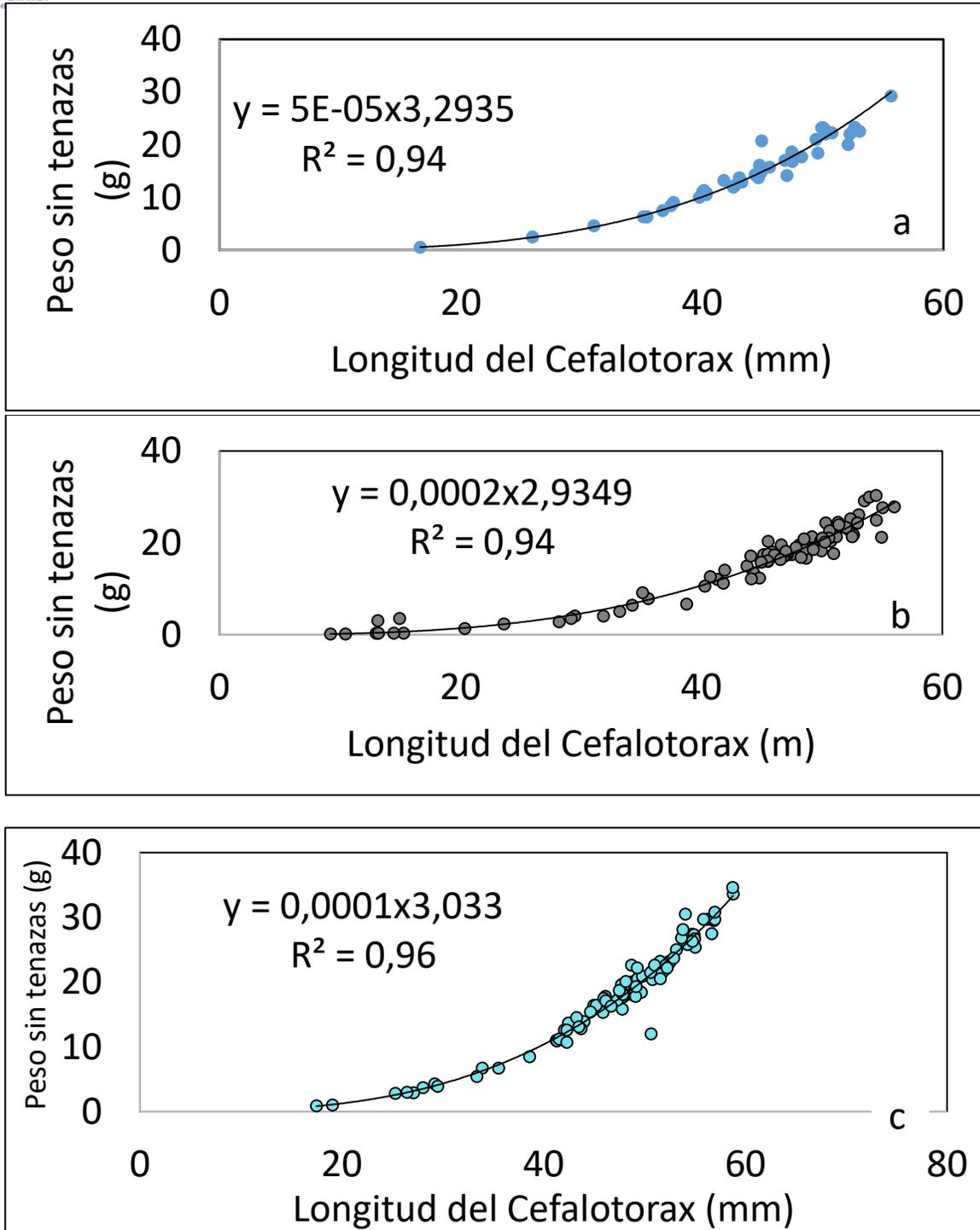


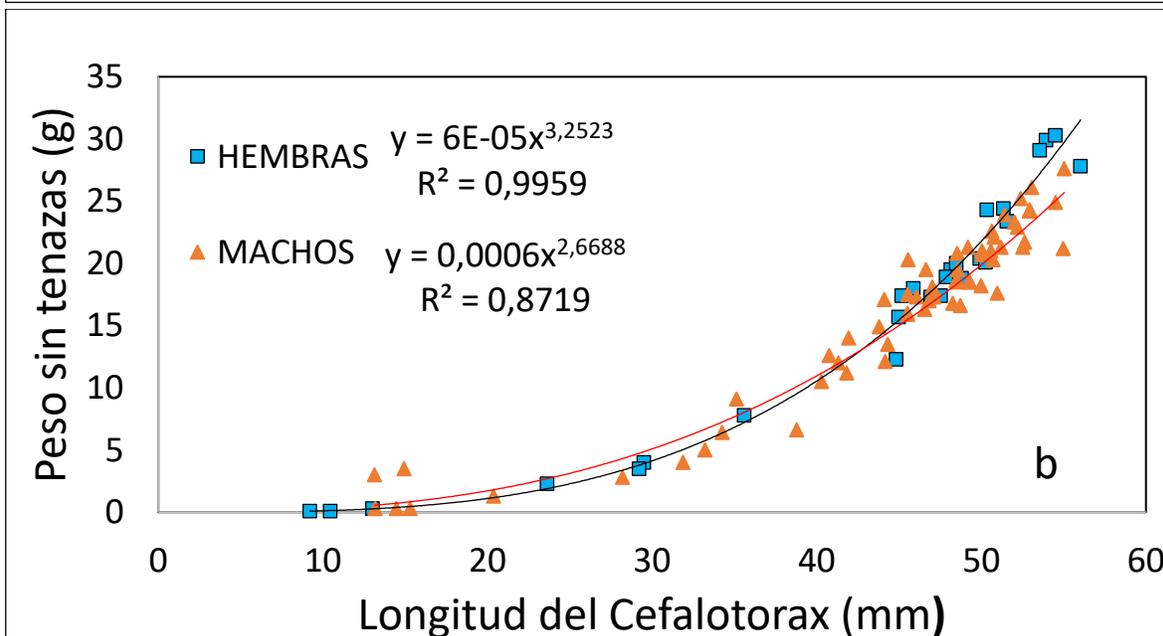
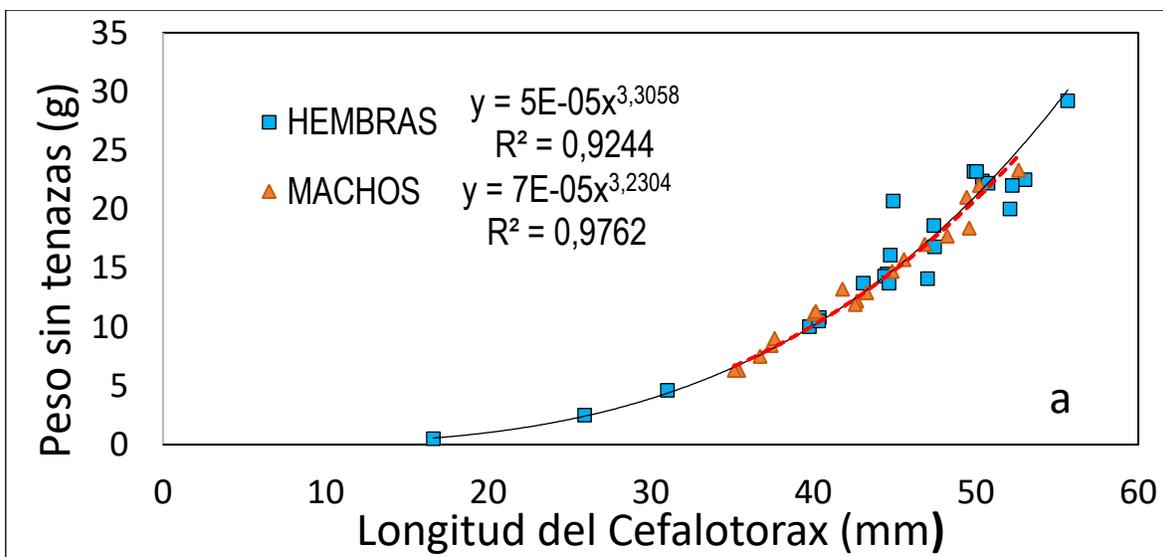
Figura 42. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso sin tenazas del cangrejo rojo americano sin tenazas: a: primer muestreo, b: segundo muestreo, c: tercer muestreo

Como se mencionó anteriormente, la bioenergética de machos y hembras es diferente y esto puede cambiar en simultáneo con cada periodo de muestreo. Al analizar el tipo de crecimiento de los individuos de *P. clarkii* en la Dársena entre sexos (figura 43a y figura

43b) se observó que, en el primer muestreo los dos sexos presentaron un crecimiento alométrico positivo, hembras $b = 3,30$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,92$ y machos $b = 3,23$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,97$.

En el segundo muestreo, las hembras continuaron con un crecimiento alométrico positivo, $b = 3,25$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,97$, en cambio los machos presentaron un crecimiento alométrico negativo $b = 2,66$ con $p < 0,0001$ $R^2 = 0,942$, dado que aumentaron su longitud y disminuyeron su peso, en este segundo caso se puede atribuir posiblemente a que emplearon sus reservas energéticas en disputas y desarrollo de esperma.

Finalmente, en el último muestreo se evidenció un cambio en el patrón de crecimiento de las hembras y machos, puesto que en las hembras se encontró un crecimiento alométrico negativo $b = 2,9716$ $p < 0,0001$ $R^2 = 0,982$, dado que aumentaron su tamaño y perdieron peso.



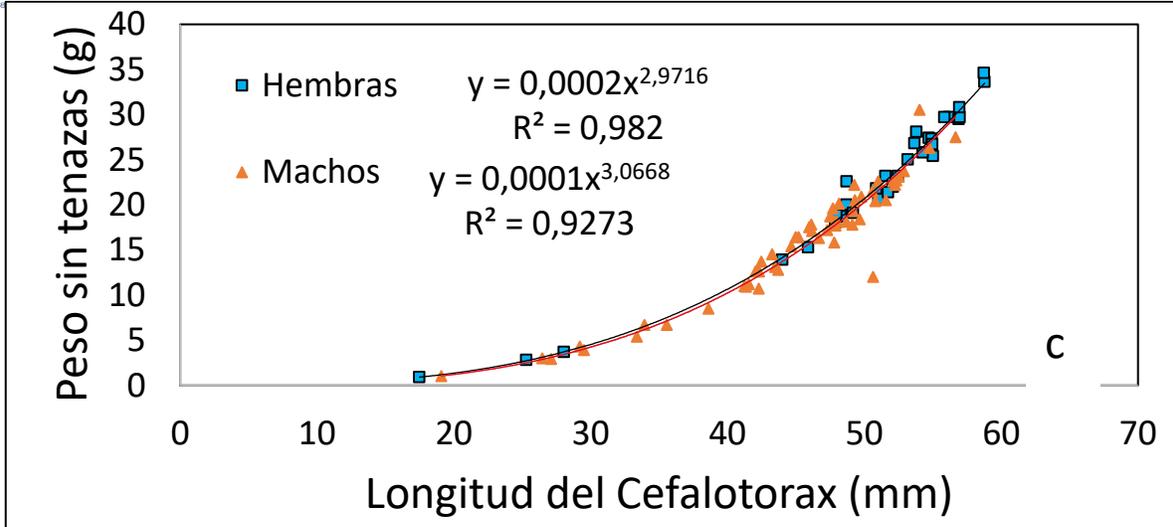


Figura 43. Relación de la longitud del cefalotórax Vs el peso del cangrejo sin tenazas entre Hembras y machos; a: primer muestreo, b. segundo muestreo y c. tercer muestreo.

Teniendo en cuenta que las condiciones fisicoquímicas del agua y a partir de los datos de conteniendo estomacal *P. clarkii*, probablemente existe una oferta estable de alimento en la Dársena, este comportamiento puede ser explicado por un posible evento de desove de las hembras. En este mismo muestreo los machos presentaron un crecimiento isométrico con un $b=3,06$, $p<0,0001$ $R^2=0.92$, lo que indica que han recuperado peso después del último muestreo (figura 44).

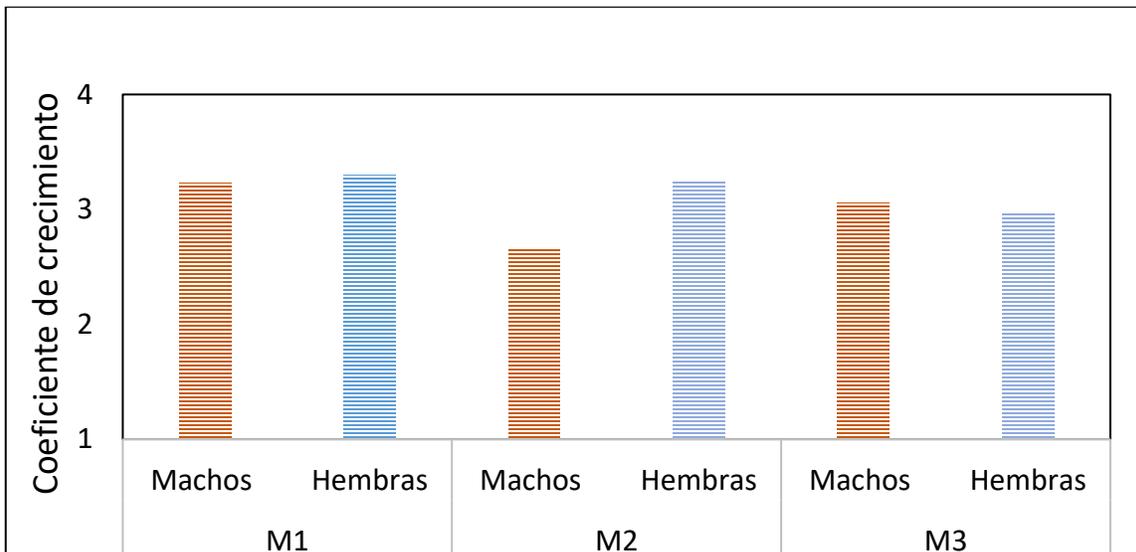


Figura 44. Relación del coeficiente de crecimiento por sexos vs cada muestreo

Estructura de Tallas

La estructura de las tallas es un parámetro que permite calcular las diferentes tallas de una especie, usando datos morfométricos como la longitud total, la longitud de la furca u otro

factor morfométrico que permita determinar crecimiento en el tiempo. Este parámetro es usado como un indicador de explotación de especies de interés comercial cultivables y no cultivables. Cuando una población disminuye su tamaño de madurez, puede ser indicador de un abuso en la explotación de la especie. En *P. clarkii*, hay pocos estudios en Latinoamérica respecto a las tallas de esta especie. La estructura de tallas permite evaluar la edad de madurez de un organismo, el tamaño medio y la edad hipotética del organismo a determinado tamaño. Por otro lado, la estructura de tallas es una evaluación ecológica que permite establecer el tamaño al cual un organismo puede llegar a crecer en el tiempo. La evaluación de este parámetro en poblaciones de *P. clarkii* que requieren control, permite tener un insumo para capturar aquellas tallas reproductivas que pueden aumentar de manera exponencial de densidad de la especie en una localidad. Las capturas de estas tallas con el tiempo reducirán la población invasora del cangrejo rojo en la Dársena Tibitoc. Sumado a esto la estructura de tallas permite identificar si el uso de un método de control a lo largo del tiempo está generando algún efecto en la disminución de la población.

Actividades de Laboratorio

La composición de las tallas se realizó con base en la metodología propuesta por Rodríguez-Almaraz (1992). Esta consistió en tomar la medida de largo del cefalotórax con intervalos de 5 mm de diferencia, las cuales se representan en el siguiente histograma (figura 45), donde el eje X representa los intervalos derivados de los organismos y el eje Y corresponde a la frecuencia (No. de individuos dentro de cada intervalo). Esto se realizó para cada muestreo.

A partir de los datos obtenidos, se establecieron 10 intervalos de talla para los organismos capturados en los tres muestreos. El intervalo inicial es desde 9,2 – 14,1 mm y el final corresponde a los organismos con longitud del cefalotórax desde 54,2 – 59,1 mm.

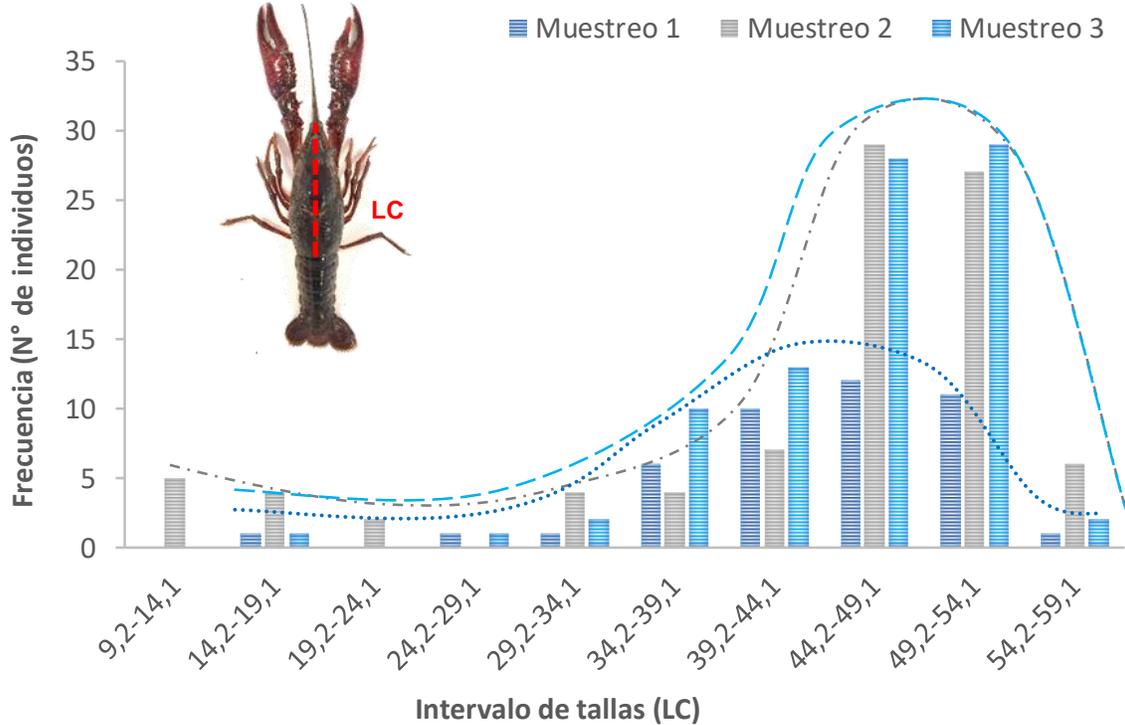


Figura 45. Histograma de intervalos de tallas de *Procambarus clarkii* en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, por campaña de muestreo. LC: Longitud del cefalotórax en mm.

Posteriormente, se utilizó el parámetro CL para obtener la distribución de frecuencias a partir de la composición de tallas estimadas de 5 mm. Para esto se usó el programa FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT-II) (Gayanilo et al., 2005; Mistri et al., 2019), con el cual se obtuvieron las constantes necesarias para la ecuación de Von Bertalanffy, para parámetros de crecimiento. Esto se evaluó por muestreo 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 (la longitud asintótica, es decir, la longitud media que alcanzarían los organismos de una población determinada si crecieran eternamente)

k: parámetro de curvatura de la función de crecimiento de Von Bertalanffy

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

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

$$t_{max} = \left(\frac{3}{k}\right) + t_0$$

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.

A partir de estos datos se encontró que la población de cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc tienen un K de 1,3 y L_{∞} de 56,91; esto significa que, la longevidad esperada para el cangrejo rojo americano en la Dársena es $t_{max} = 2,3$; lo cual nos da como resultado que los cangrejos pueden tener un tiempo estimado de vida de 2,3 años aproximadamente y una longitud media de cefalotórax de 56,9 mm, lo que corresponde a individuos maduros de aproximadamente 111,85 mm de Longitud total (figura 46).

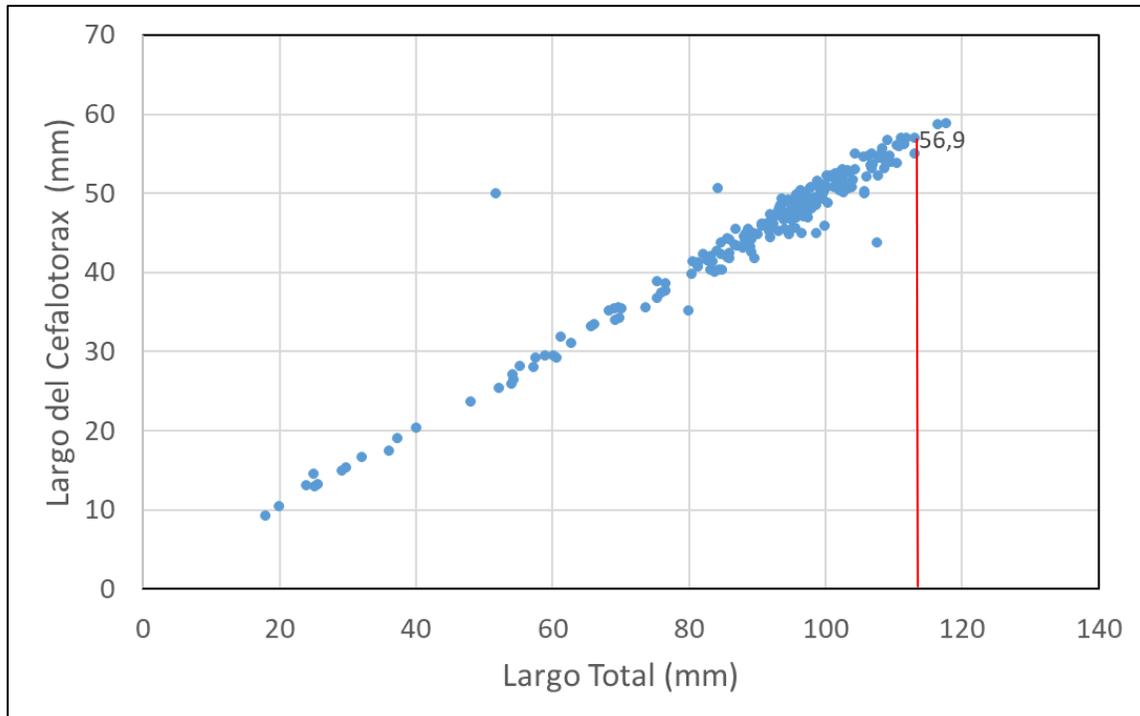


Figura 46. Relación entre el largo del cefalotórax y el largo total de los individuos de *P. clarkii* capturados en la Dársena de Tibitoc.

Discusión

Los resultados evidencian una baja densidad poblacional de cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc (0,032 ind/m² ó 315,5 ind/Ha). Por muestreos, el primero fue el de menor densidad en comparación con el segundo y el tercero. Sin embargo, en ninguno de los tres muestreos la densidad supera un individuo por metro cuadrado. Por ejemplo, Flórez-Brand y Espinosa-Beltrán, (2011), en el Valle del Cauca, reportaron una densidad en promedio de 1,4 ind/m² y otros estudios hechos en el lugar de origen del cangrejo su

densidad puede ser de 11 ind/m² (Huner, 1978). En sistemas artificiales donde el cangrejo es cultivado la densidad puede alcanzar los 150 ind/m² (Yu et al., 2020).

Es probable que el leve aumento de las capturas se haya dado por la ligera disminución de lluvias al comenzar el segundo muestreo (26 y 27 de enero del 2022) (figura 47), pues se ha identificado que esta especie modifica sus actividades de acuerdo con los regímenes de lluvia o hidrop periodos (Anastacio et al., 2009). El periodo de estudio mostró valores atípicos de precipitaciones, ya que se esperaba poca lluvia para diciembre – enero (UNGRD, 2022), sin embargo, estas se mantuvieron constantes. En otros estudios se muestra que, a mayor temperatura, mayor actividad (Rodríguez-Almaraz, 1992), se espera que en épocas de sequía la población de cangrejo rojo pueda aumentar considerablemente.

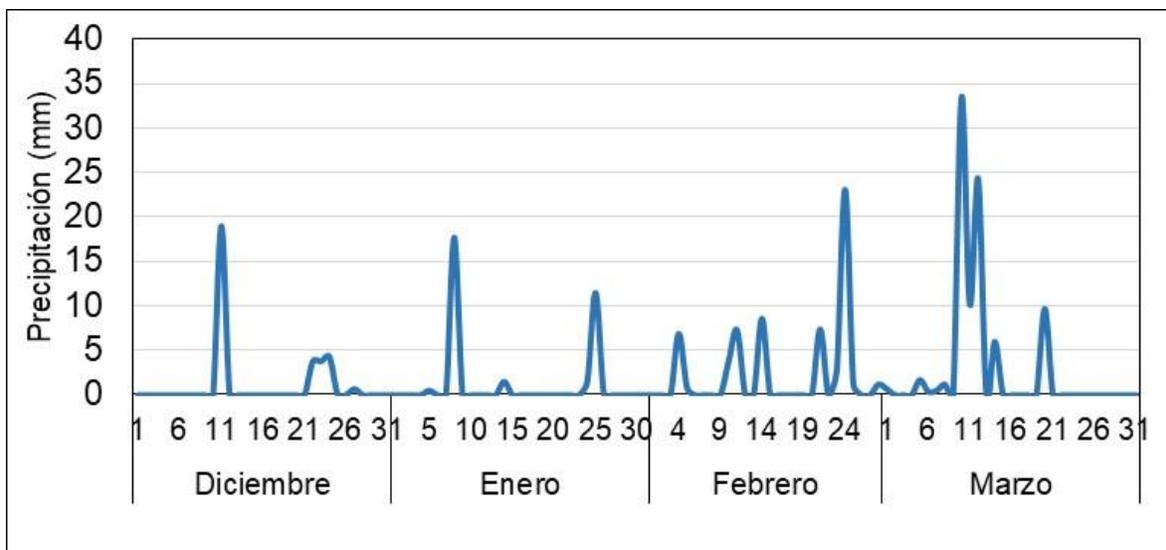


Figura 47. Gráfica de los datos climatológicos del periodo de estudio obtenidos de la estación climática de la planta.

En otros estudios se ha reportado que variables como la supervivencia, el crecimiento y la muda de los juveniles está influenciada negativamente por la densidad poblacional, y que factores ambientales como el aumento de la cobertura de las macrófitas influye positivamente en el crecimiento y muda especialmente de los juveniles del cangrejo rojo (Yu et al., 2020).

En sistemas de cultivo se ha reportado que la mejor densidad de *P. clarkii* en encerramiento es de 50 ind/m², con una cobertura de macrófitas de 50% y en cultivos de arroz se recomienda densidades de 6 ind/m² para no suministrar comida artificial y evitar el canibalismo (He et al., 2021). Esto indica que las densidades bajas de *P. clarkii*, pueden ayudar a una prolongación de las poblaciones en un lugar, ya que los individuos tendrán el

suficiente espacio y disponibilidad de alimento para mantener una población estable, especialmente si la cobertura de macrófitas es alta.

El análisis por polígonos en la Dársena, evidencia que en el polígono del área de bombeo y el polígono de la cosechadora, se obtuvieron las capturas más abundantes, indicando una preferencia del cangrejo rojo por esas zonas, especialmente el polígono bombeo. *P. clarkii* es llamado también el cangrejo del pantano, en el lugar donde es nativo, ya que estos son los hábitats de preferencia por la especie, ecosistemas lenticos con abundancia de macrófitas y vegetación rivereña (Gherardi, 2006). Por tanto, se espera que, en un futuro, con factores como aumento de temperatura, disminución de precipitaciones y alta cobertura de macrófitas pueda que la población aumente su densidad.

Las capturas de *P. clarkii*, en la Dársena de Tibitoc, presentaron un tamaño mínimo de longitud del cefalotórax de 9,2 mm y un máximo registrado de 58,7 mm. La mayor frecuencia de tallas se encontró en los intervalos de 44,2-49,1 mm a 49,2-54,1 mm, lo que corresponden a individuos entre (90,02 a 108,86 mm) de longitud total, considerados como adultos maduros. Este resultado refleja que la talla de organismos que son más activos en la búsqueda de comida son adultos, y generalmente machos. Mientras que, los juveniles aún se encuentran en estado de alerta y prefieren el refugio a buscar alimento, y este lo pueden obtener de las macrófitas o sustrato fangoso de los suelos (Rodríguez-Almaraz, 1992).

Por tallas, en la Dársena se encontraron organismos ligeramente más pequeños a los reportados en otras zonas del mundo como Egipto, donde se capturan organismos entre 39 – 52 mm de longitud de cefalotórax, hembras de 65 mm y machos de 68 mm de LC (Aly et al., 2020), esto puede estar relacionado con las presiones y efectos que puede generar los ambientes altoandinos sobre características fenotípicas de la especie. Respecto al peso, la población tiene un peso promedio de 20,15 g; y este peso, es menor comparado con otra población exótica, como la de España, cuyo peso promedio fue de 22,2 (Dörr et al., 2006).

A partir de los resultados obtenidos, también se encontró que el tiempo máximo de vida o longevidad de los organismos fue de aproximadamente 2,3 años. Esta información concuerda con Franco-Sustaita (2014); el cual reportó que los organismos como *P. clarkii* viven hasta dos años o menos. En los resultados preliminares la longevidad esperada fue de 1,9 años, sin embargo, con todos los datos obtenidos en los tres muestreos y con una amplitud del rango de las tallas, se extendió el tiempo esperado de vida. Hay estudios que reportaron tiempos de vida hasta de 4 a 5 años, donde se pueden observar entre cinco a seis cohortes cada una de 1 año (Mistri et al., 2019; Veroli et al., 2021), sin embargo, en la Dársena el reporte es a la mitad de este tiempo. Organismos en latitudes altas y frías aparentemente son más longevos que en latitudes bajas y climas cálidos (Franco, 2014), razón por la cual se puede esperar que aumente este modelo de cálculo de vida, si en próximos estudios se hacen muestreos mensuales por mínimo un año, con estos datos, se puede hacer una modelación más efectiva de la longevidad esperada.

En cuanto a la morfometría, se encontraron organismos ligeramente más grandes en el segundo muestreo, especialmente en el polígono del área de bombeo. Aunque, las pruebas estadísticas reflejaron solo diferencias significativas en el ancho del cefalotórax por muestreo. Respecto a los organismos colectados, por sexos, se ve una ligera tendencia a encontrarse en la Dársena las hembras más grandes y pesadas que los machos, con una proporción de sexos, tendiente a mayor cantidad de machos.

En comparaciones por sexos, hubo diferencias estadísticamente significativas, para todas las medidas morfométricas evaluadas. *P. clarkii* presentó un ligero dimorfismo sexual que se observó especialmente en variaciones del tamaño. Por ejemplo, Wang et al., (2011) ha identificado en condiciones controladas los machos presentaron tamaños diferentes en las tenazas en comparación con las hembras evidenciando dimorfismo entre sexos. En la Dársena Tibitoc, se observó que las hembras fueron ligeramente más grandes que los machos, lo que concuerda con estudios de dinámica poblacional hechos en otras partes del mundo (Gutiérrez-Yurrita y Montes, 1999; Dörr et al, 2006; Mistri et al., 2019; Aly et al., 2020). Este dimorfismo puede deberse a que las hembras requieren un cefalotórax grande donde se produce la fecundación y posteriormente los huevos, para así generar la descendencia.

Conclusiones

- La densidad poblacional del cangrejo rojo es baja en la Dársena Tibitoc, comparada con otros estudios. Esto es un buen indicador, que refleja que el proceso de invasión puede estar en sus primeras etapas dentro del cuerpo de agua y permitirá tomar medidas a tiempo sobre la población con el fin de contener una invasión mayor.
- Respecto a estructura de tallas, la población de *P. clarkii*, encontrada en la Dársena de Tibitoc, tuvo 10 intervalos de tallas de los cuales la mayor frecuencia se encontró en los intervalos de 44,2-49,1 mm a 49,2-54,1 mm, lo que corresponden a individuos maduros sexualmente con una longitud total de 111,85 mm aproximadamente.
- El cangrejo rojo en la Dársena de Tibitoc tiene un tiempo esperado de vida de 2,3 años. Por tanto, hacer colectas de la población mínimo cada 2 años o en la mitad de este tiempo puede ser insumos para controlar las poblaciones.
- La morfometría de la población de *P. clarkii* de la Dársena Tibitoc, actualmente refleja tamaños biométricos menores en promedio, comparado con poblaciones invasoras establecidas en otras partes del mundo. Dado que la temperatura del ambiente de la Dársena no representa un factor limitante, dado que, se encuentra dentro del rango óptimo para el desarrollo de este crustáceo, se puede inferir que su talla inferior puede estar condicionada por la falta de recursos que suplan sus requerimientos alimentarios.

ASPECTOS REPRODUCTIVOS

El cangrejo rojo americano es una especie no nativa en nuestro territorio, en consecuencia, sus ciclos reproductivos varían en comparación a su lugar de origen, donde el periodo reproductivo ocurre en primavera, mientras que en lugares más al sur de Norteamérica, pueden reproducirse hasta dos veces al año, los cangrejos rojos alcanzan la madurez sexual aproximadamente a los tres meses de edad (Dörr et al., 2006). Luego del proceso de cópula entre machos y hembras, estas se refugian en lugares húmedos donde suelen excavar madrigueras. Algunos estudios han logrado identificar hasta 500 huevos en una sola puesta de *P. clarkii* (Franco-Sustaita, 2014).

Para el análisis de este ítem, se tomaron en cuenta los organismos colectados en todas las trampas, según la clasificación de madurez para hembras y machos así:

Hembras

Las hembras se dividieron en cuatro categorías principales para determinar su estado de madurez (figura 48).

- **Categoría 1. Inmaduras:** Hembras colectadas que no superan los 6 cm de longitud total – hembras inmaduras (Rodríguez Almaraz, 1992).
- **Categoría 2. Sin huevos:** Aquellas que se colectaron, de tamaño superior de 6 cm de longitud total, sin huevos externos (adheridos a la parte inferior en los pleópodos), ni huevos internos al momento en que se realizó la disección de estos individuos.
- **Categoría 3. Ovígeras:** Hembras que, al momento de la disección, presentaron huevos internos en el cefalotórax.
- **Categoría 4. Postovígeras:** Hembras con presencia de huevos externos adheridos en los pleópodos.

Machos

Los machos de acuerdo con su estado de desarrollo se dividieron en dos categorías:

- **Categoría 1 – (F1)- Machos inmaduros:** Aquellos individuos colectados de tamaño inferior que superaron los 6 cm de longitud total ni presentaron ganchos copuladores visibles (Rodríguez Almaraz, 1992).
- **Categoría 2 – (F2)- Machos maduros:** Individuos colectados de tamaño superior a 6 cm, con presencia de ganchos copuladores bien desarrollados (Rodríguez-Almaraz, 1992). (Ver figura 49).

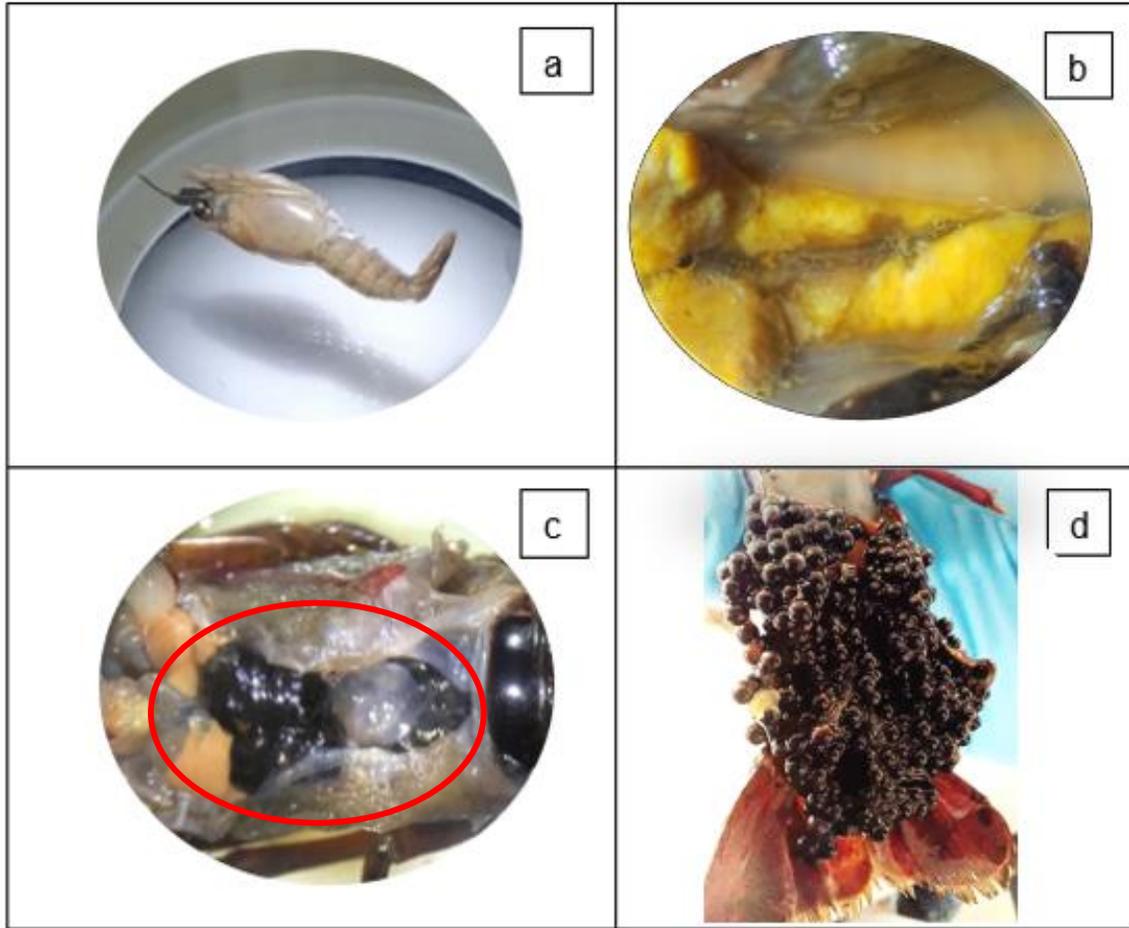


Figura 48. Registro fotográfico de cada uno de los estados de madurez de las hembras de *P. clarkii* colectados en la Dársena Tibitoc. (a) hembras inmaduras. (b) Cavity sin gónadas presentes (huevos). (c) Hembra con huevos internos presentes (área señalada). (d) Hembra con huevos externos. Fuente: Mabel Pimiento.

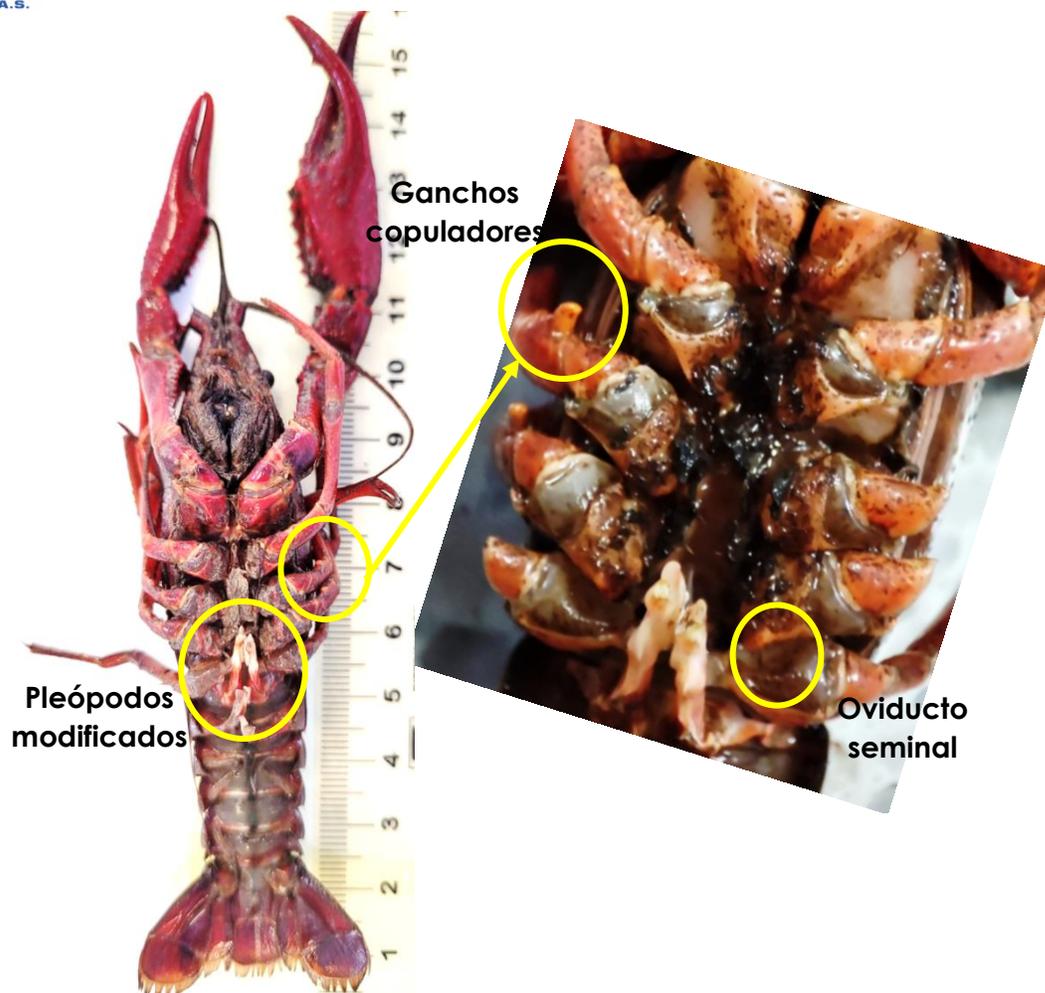


Figura 49. Registro fotográfico de la presencia de ganchos en los machos de *P. clarkii*, categoría de madurez F2. Fuente: Mabel Pimiento

Actividades de Laboratorio

Los aspectos reproductivos de *P. clarkii* se midieron a través del índice gonadosomático (IGS) y el índice hepatosomático (IHS). Estos dos índices son indicadores del paso de reservas energéticas desde el hepatopáncreas hacia las gónadas, adicional a estos índices se midió el índice de maduración a partir de la coloración de las gónadas, este es un valor que provee información sobre el grado de madurez de las gónadas de las hembras, otro aspecto evaluado fue la producción de huevos la cual se midió a través del conteo de huevos internos en las hembras.

Disección de hembras y machos: Con el objeto de extraer las gónadas para el análisis de los aspectos reproductivos de *P. clarkii*, Los organismos fueron disectados por el cefalotórax utilizando el equipo de disección y bajo un estereomicroscopio Carl Zeiss (figura 50). Se utilizaron 147 individuos adultos para el análisis del IGS, teniendo en cuenta las

hembras con presencia de huevos (Hembras C3) y machos con ganchos copuladores presentes (Machos F2), para realizar los respectivos análisis de las gónadas.

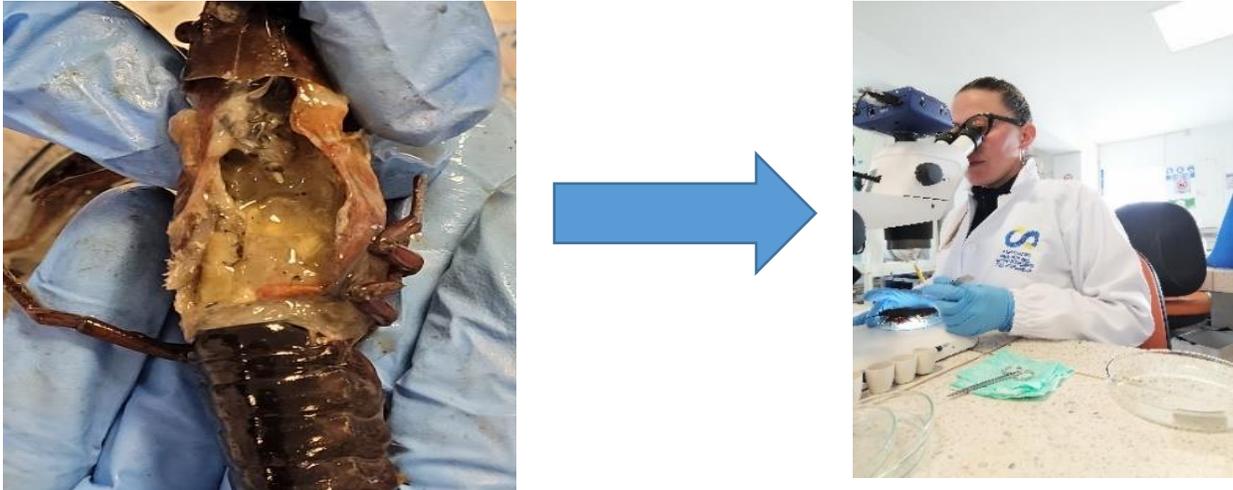


Figura 50. Proceso de disección y extracción de gónadas y hepatopáncreas de *P. clarkii* en el laboratorio de la UPTC. Fuente: Mabel Pimiento

Posterior a este proceso, se extrajeron gónadas y hepatopáncreas de hembras y machos, identificando la coloración de las gónadas de las hembras y haciendo registro en el formato de laboratorio. Para el registro del peso de las gónadas, se utilizaron cajas de aluminio, para el caso del hepatopáncreas se utilizaron crisoles de porcelana (figura 51). Cabe resaltar que, de los 217 cangrejos recolectados, tres individuos eran muy pequeños, por lo cual no fueron procesados para determinar el índice hepatosomático. El proceso de pesaje fue realizado en la balanzas analítica y ultra-analítica según el caso.

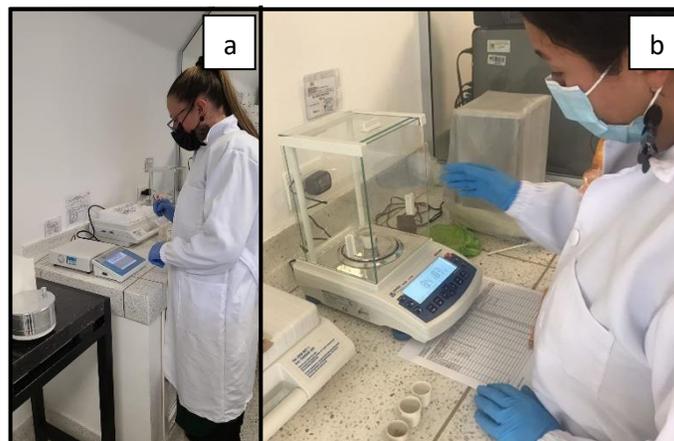


Figura 51. Proceso de pesaje de las gónadas y hepatopáncreas en las balanzas (a.) pesaje de huevos en la balanza ultra-analítica; (b.) Pesaje de hepatopáncreas en balanza analítica.
Fuente: Mabel Pimiento

Para el cálculo de los índices IGS e IHS, se siguió el siguiente procedimiento:

Índice gonadosomático: Se analizaron 65 hembras, las cuales se encontraban en categoría tres de madurez sexual (C3: Hembras Ovíferas: Hembras que presentan huevos en estado de desarrollo interno) y 82 machos en categoría dos (F2: 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 los individuos fueron pesados sin tenazas (PHsT), este proceso de pesaje sin tenazas evita interferencias en los resultados.

A partir de los datos obtenidos en el pesaje de las gónadas de hembras y machos, se calculó el índice gonadosomático (GSI) como un porcentaje de la gónada respecto al peso corporal así (Ferré et al., 2012):

$$IGS = \frac{PG}{PHsT} \times 100$$

Donde IGS= índice gonadosomático

PG= Peso de las gónadas

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.

Índice hepatosomático IHS: Para el cálculo del índice IHS se tomaron los 214 individuos disectados hembras y machos de todas las categorías sexuales, todos los organismos fueron pesados sin tenazas (PHsT) previo a la disección, posteriormente fueron abiertos por el cefalotórax como se mencionó previamente. El hepatopáncreas extraído fue depositado en crisoles de porcelana y pesado en una balanza analítica de precisión (figura 52). Los datos obtenidos fueron registrados en el respectivo formato para su posterior análisis. Con la información obtenida se calculó el índice hepatosomático así (Ferré et al., 2012):

$$IHS = \frac{PH}{PHsT} \times 100$$

Donde IHS= Índice hepatosomático

PH= Peso del hepatopáncreas.

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.

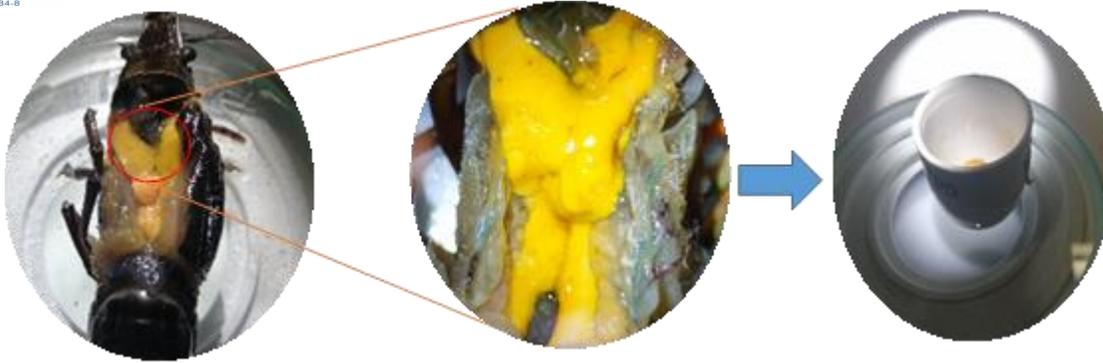


Figura 52. Proceso de disección y extracción de hepatopáncreas de *P. clarkii* colectados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Fuente: Mabel Pimiento

Además de los índices para evaluar los aspectos reproductivos, se realizó en las hembras el conteo de huevos y el índice de maduración así:

Conteo de huevos

El conteo de los huevos internos se hizo sobre 65 hembras de categoría tres (C3: hembras ovígeras) usando un estereoscopio de 40 X de aumento. Para el caso de los huevos en hembras de categoría C4 (Postovígeras, hembras con presencia de huevos externos adheridos en los pleópodos), sólo se capturaron tres organismos en este estadio gonadal durante el primer y segundo muestreo. Los huevos externos fueron fotografiados mediante la Axio Cam adaptable al estereomicroscopio Carl Zeiss y medidos mediante el software libre Zen 3.4 lite (figura 53). Aunque se tiene un aproximado de los huevos que se encontraron adheridos a los pleópodos, el número de los externos no se considera, 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).



Figura 53. Proceso utilizado para el registro fotográfico y medida de los huevos de hembras C4 de *P. clarkii* colectadas en los muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc. Fuente: Mabel Pimiento.

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 tomaron las gónadas extraídas de las hembras de cada muestreo, y se categorizaron por color de la siguiente manera siguiendo la metodología de (Guerra y Niño 1996, Anastacio et al., 2009), (figura 54).

- 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 aplicó el índice de maduración (IM) para cada muestreo:

$$IM = \sum_{i=0}^n (\text{Estado } k \text{ de los individuos})/N$$

IM = Índice de madurez

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

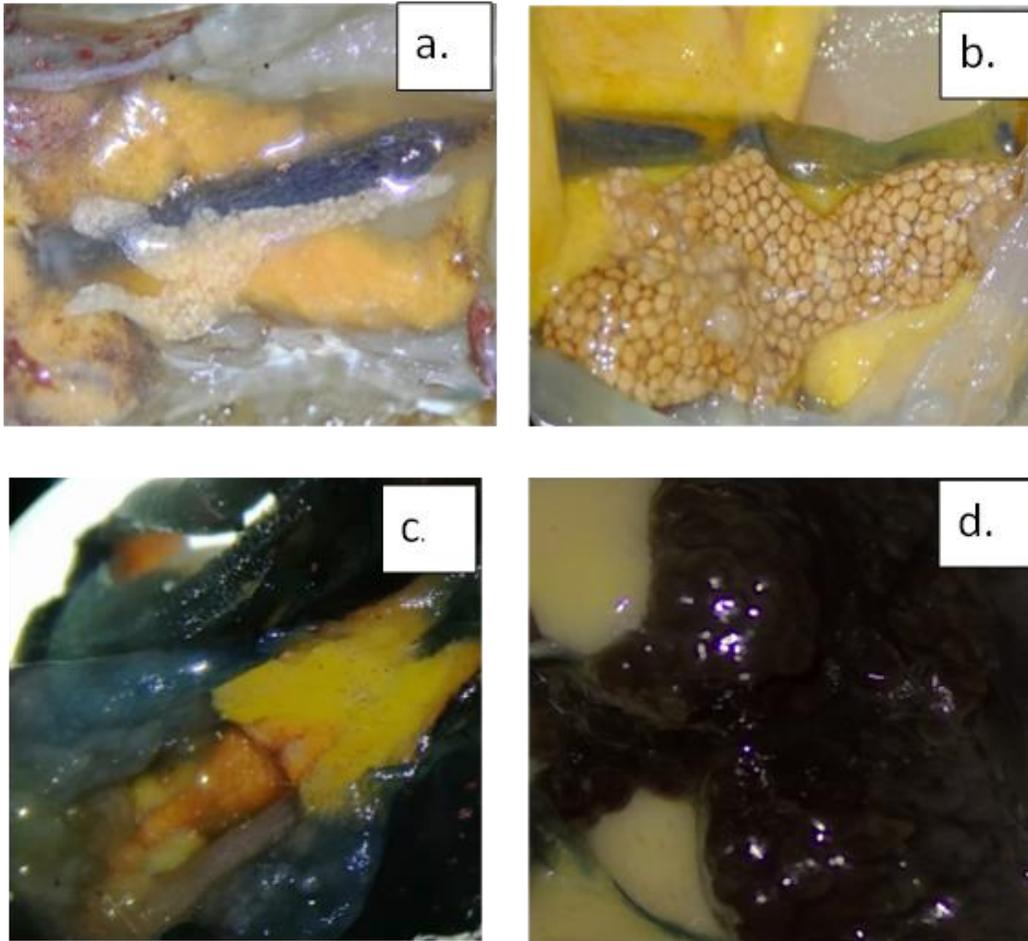


Figura 54. Coloración de las gónadas de las hembras de *P. clarkii* colectadas en Dársena de Tibitoc. (a.) K1 – Gónadas blancas; (b.) K2 – Gónadas amarillas; (c.) K3 – Gónadas naranjas. (d.) K4 – Gónadas cafés. Fuente: Mabel Pimiento.

Resultados

En total se colectaron 217 individuos de *P. clarkii* en los tres muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc; de los cangrejos colectados el 62,7% fueron machos y un 37,3% fueron hembras (Anexos 1 y 1.1). Encontramos que para cada muestreo existió una relación por sexo diferente, para el primer muestreo la relación fue de un macho por cada 1,15 hembras (1:1,15), para el segundo muestreo la relación fue de un macho por cada 0,4 hembras colectadas (1:0,4) y para el tercero fue un macho por 0,6 hembras (1:0,6).

En la figura 55, podemos observar la distribución de los 217 individuos colectados de cangrejo rojo americano según la categoría de madurez de hembras y machos en cada uno de los polígonos estudiados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Para el primer muestreo, las hembras C3 (hembras con huevos internos presentes), y los machos inmaduros (F1) fueron los organismos más abundantes y se localizaron en los polígonos de bombeo y cosechadora; para el caso del polígono de la bocatoma, no se capturaron hembras.

En el segundo muestreo, encontramos un cambio en los estadios de madurez de los machos, principalmente en el polígono del área de bombeo, donde aumenta la proporción de machos maduros, mientras que se reduce la proporción de hembras C3 colectadas con referente al total de individuos del segundo muestreo. El tercer muestreo presentó un comportamiento particular en cuanto a las hembras colectadas, donde, dominan las hembras C3, principalmente en el P. Bocatoma y P. Cosechadora; de los 86 individuos colectados en el tercer muestreo, sólo tres hembras eran inmaduras C1 (hembras que no superan los 6 cm de longitud). Referente a los machos, los organismos maduros (F2) disminuyeron en el polígono del área de Bombeo, mientras que aumentaron en el polígono de la Cosechadora.

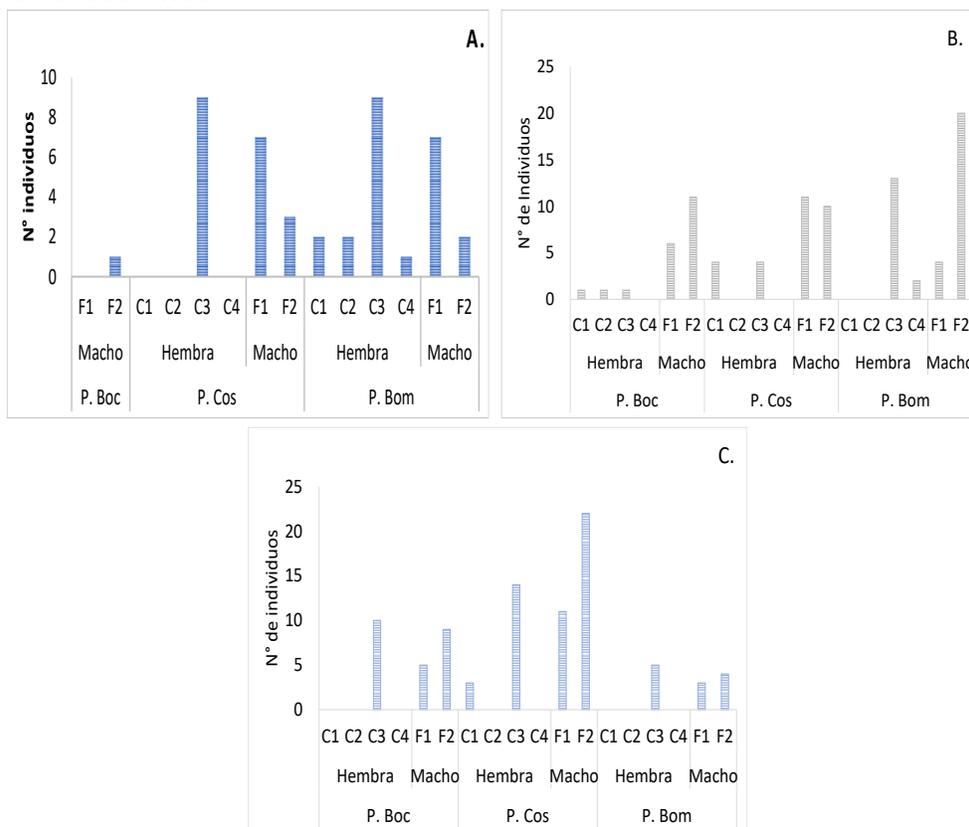


Figura 55. Número de individuos de *P. clarkii* por categoría de madurez colectados en la Dársena Tibitoc. (A) resultados del muestreo N°1. (B) resultados del muestreo N°2. (C) resultados del muestreo N°3. P. Boc: Polígono cerca al área de Bocatoma; P. Cos: Polígono cerca al área de Cosechadora, P. Bom: Polígono cerca al área de bombeo.

Índice Gonadosomático (IGS)

Para el IGS, a partir de los cálculos realizados para los 147 individuos con óptima madurez, se obtuvo, el máximo de hembras maduras en el tercer muestreo; para el caso de los machos, el segundo muestreo aportó el mayor número organismos maduros.

En la figura 56 se observa el IGS para hembras y machos durante los tres muestreos realizados. La mitad de las hembras colectadas para los tres muestreos presentan un IGS igual o inferior a uno, mostrando en un alto porcentaje hembras con ovarios inmaduros. Sin embargo, algunas hembras alcanzaron IGS superiores a cuatro principalmente en el primer muestreo, lo que significa que presentan un estado gonadal óptimo, previo a la etapa de desove. En cuanto a los machos, las medianas en los tres muestreos no superan un IGS de 0,015, para el caso de los machos el IGS puede permanecer casi constante y no presentar mayor variación.

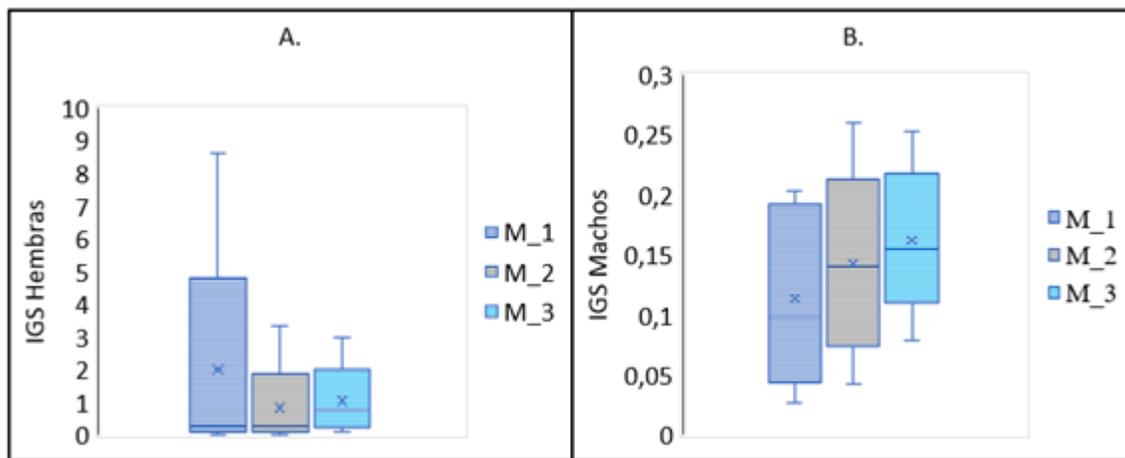


Figura 56. IGS (índice gonadosomático) de *Procambarus clarkii* por muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. (A) Hembras. (B) Machos. Escalas en diferentes unidades. M 1: Muestreo N°1; M 2: Muestreo N°2; M 3: Muestreo N°3.

Por otra parte, el rango del índice hepatosomático calculado para las hembras, se encuentra entre 0,73 y 9,72, se observó, que el valor inferior del IHS, está asociado a hembras en estado de madurez C3 (hembras ovígeras) (Tabla 5), lo que indica que los nutrientes del hepatopáncreas están siendo aprovechados en la etapa de vitelogénesis de algunas, y en consecuencia se da la reducción del hepatopáncreas; así mismo, el valor máximo se encuentra en las hembras C3, demostrando de este manera que existen hembras que aunque presentan huevos internos, estos están en las primeras fases de desarrollo, y en consecuencia el gasto energético es inferior, estos resultados coinciden con los arrojados por el IGS que indica que la mayoría de la hembras presentan gónadas inmaduras. Las hembras C4 presentan un máximo valor de IHS de 3,2; sin embargo, este valor es inferior a las otras categorías, esta situación puede estar relacionada con el gasto de energía por parte de las hembras en la etapa de desove.

Tabla 5. Valores del índice hepatosomático por cada categoría de madurez sexual de los organismos de *P. clarkii* colectados en la Dársena de Tibitoc.

	Estado de madurez	n	Máximo	Promedio	Mínimo	Desviación estandar	Coef. Variación
Hembras	C1	8	6,6	2,9	1,00	1,96	0,66
	C2	3	3,7	1,98	0,85	1,56	0,79
	C3	65	9,7	4,21	0,73	1,77	0,42
	C4	3	3,2	2,68	1,86	0,72	0,27
Machos	F1	53	15	3,41	0,70	2,18	0,64
	F2	82	7,2	3,61	0,30	1,20	0,33

Para el caso de los machos, los máximos y mínimos para los tres muestreos realizados, en las dos diferentes etapas de madurez, presentan un máximo de 15 en los machos inmaduros (F1), y un mínimo de 1,2 en machos maduros (F2); en el caso de los machos, el paso de energía y la reducción del IHS puede estar relacionado con los procesos de muda de *P. clarkii* (Parámetro no evaluado para el presente estudio).

Tabla 6. Diferencias estadísticas del IGS e IGS del cangrejo rojo por de hembras y machos por muestreo. Se muestra el *p* valor obtenido en cada prueba.

Item	N	IGS		IHS	
		Est*	<i>p</i>	Est*	<i>p</i>
Hembras	65	10,86	0,004	12,88	0,002
Machos	82	4,15	0,019	1,150	0,320

*Se muestra el estadístico *F* o *H* según la prueba para los conjuntos de datos. Est= estadístico

Por otro lado, se analizaron las diferencias estadísticas de los organismos colectados en cuanto a IGS e IHS (147 individuos); estos análisis se realizaron por índice, para hembras y machos de manera independiente (tabla 6). Para ello se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis o ANOVA (dependiendo de la normalidad de los datos) para observar las comparaciones por muestreo. El IHS de los machos no tuvo diferencias estadísticas significativas; caso contrario ocurrió en las hembras, donde, el IHS de las mismas presenta diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,002$). En cuanto al IGS, para machos y hembras, existen diferencias entre los muestreos. La comparación entre el IGS y la longitud del cefalotórax, no tuvo correlación ($p=0,29$).

En el proceso de conteo de huevos, se encontró que, en promedio, los huevos externos presentan un diámetro de 2,3 mm y un aproximado número de 523 huevos adheridos, aunque este valor puede ser mayor debido a la manipulación de las hembras en la colecta y a la pérdida ocasional de los huevos.

Los resultados obtenidos a partir de la disección y extracción de huevos de las hembras C3 muestran un mínimo de 34 huevos, así como un máximo de 1153 huevos. El promedio del número de huevos presentes en las hembras C3 colectadas en la Dársena de Tibitoc, fue de $100 \pm 10,7$.

Para el cálculo del índice de madurez (IM), se analizaron un total de 65 hembras, 18 en el primer muestreo al igual que el segundo, y 29 hembras en el tercer muestreo; según los datos obtenidos a partir de la disección de organismos y la verificación del estado K (figura 57), la mayoría de las hembras colectadas en el primer muestreo, se encuentran en la etapa temprana del ciclo reproductivo, con huevos en estado K1 (blancos). En el caso del segundo muestreo, el patrón se comporta de manera similar, debido a que los huevos se encuentran en una etapa de maduración inicial, con gónadas en estado K1 y K2 (blancos y amarillos). Para el tercer muestreo, el IM está distribuido en partes iguales en las coloraciones K2, K3 y K4, mostrando una evolución tal vez en la maduración de algunos organismos posteriores de eventos reproductivos previos.

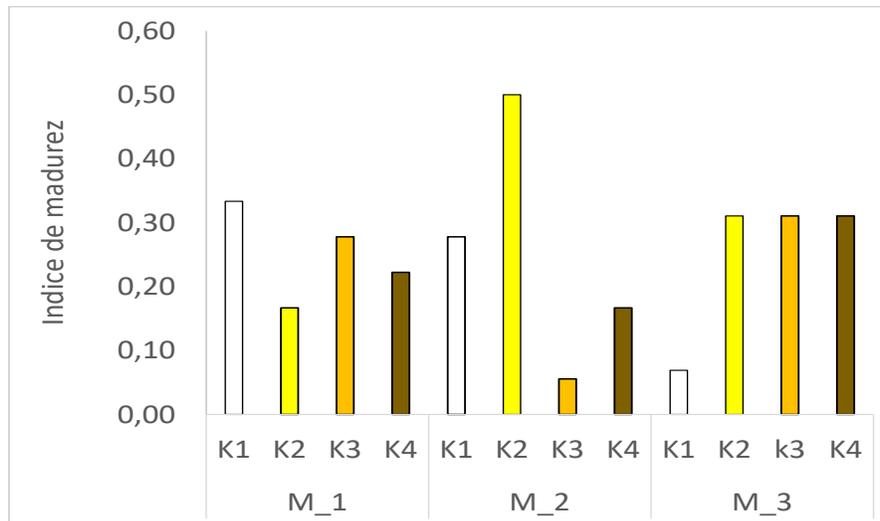


Figura 57. Índice de madurez (IM) de las gónadas de las hembras de *P. clarkii* colectadas en Dársena de la PTAP de Tibitoc durante los muestreos realizados.

Los resultados indican que, en promedio la producción de huevos por parte de las hembras de *P. clarkii*, se encuentra entre los 300 y 800 huevos; sin embargo, existe una diferencia en el número de huevos según el estado de madurez (coloración). En el segundo y tercer muestreo se observan hembras con mayor número de huevos, principalmente en las etapas más avanzadas de maduración de los mismos (K3 y K4). Esto puede estar relacionado con el tamaño de las hembras; los datos registrados para el presente estudio muestran que algunas de las hembras con tamaño superior a 90 mm LT, albergan en general un número superior de huevos, por ejemplo, en una hembra de 104,3 mm se contaron 1013 huevos depositados al interior del cefalotórax (figura 58).

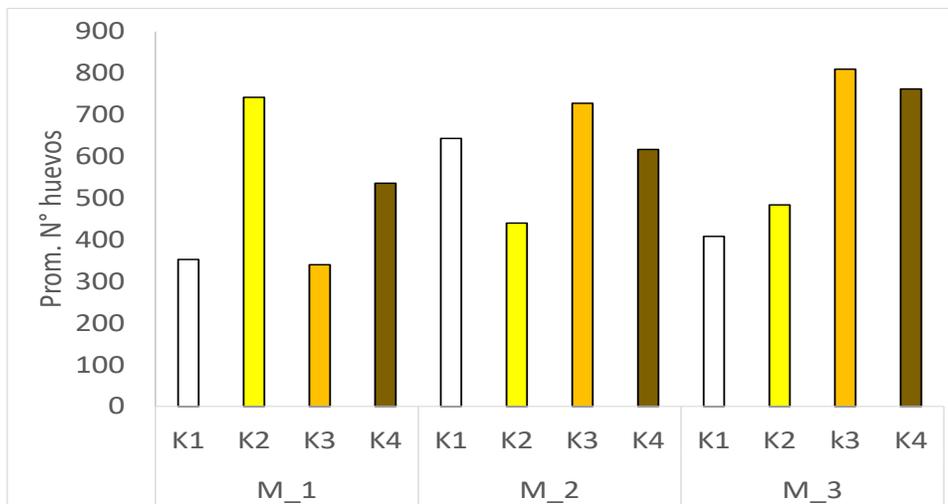


Figura 58. Promedio de huevos internos, de las hembras colectadas en Dársena de Tibitoc durante las tres fases de muestreo.

En general, la mayoría de las hembras en estado gonadal C3, colectadas en la Dársena de Tibitoc, presentaron un diferente grado de madurez. Del total de las 65 hembras con huevos presentes, el 32% de ellas, se encontraban en estado K2 de maduración (figura 59). Los resultados obtenidos, no presentan un patrón por muestreo de hembras con un estado específico de madurez, en consecuencia, es probable que las hembras puedan ovoposicionar en diferentes momentos del año si las condiciones del sistema son propicias para este proceso.

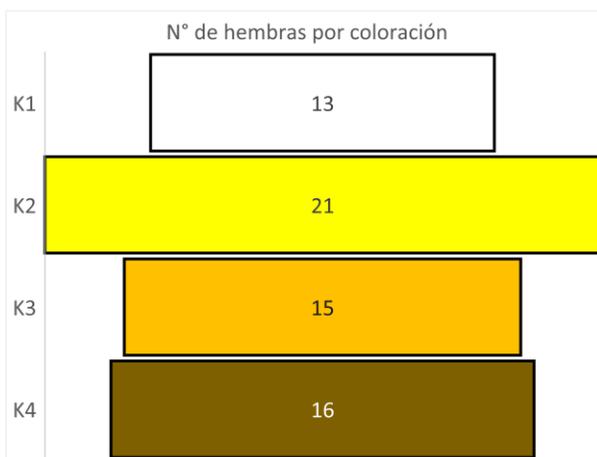


Figura 59. Número de hembras de *Procambarus clarkii* por estado K de maduración de los huevos internos en los tres muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc.

Discusión

Los resultados sobre los aspectos reproductivos en hembras de *P. clarkii*, evidencian que la mayoría de ellas presentaron un IGS inferior a uno; este resultado, indica que las hembras

colectadas en la Dársena de la PTAP de Tibitoc presentaron gónadas en la etapa inicial de maduración, fase de maduración uno y dos; del total de hembras ovígeras colectadas en los tres muestreos (n=65), sólo dos presentaron IGS > 4. Autores como, Rodríguez-González et al (2006), afirman que, en condiciones controladas en EEUU, la etapa ideal para la reproducción e introducción de machos de *P. clarkii* para el apareamiento, está dada por un IGS=4 (hembras maduras). Desde este punto de vista, las hembras ovígeras colectadas en la Dársena de Tibitoc, aparentemente no se encuentran en un estado óptimo para la reproducción.

Es importante mencionar que, los datos obtenidos en los muestreos evidencian la presencia de diferentes estadios de desarrollo reproductivo de *P. clarkii*, esto según, la valoración del IGS, coloración de los huevos en las hembras y el IHS; sin embargo, estos datos no reflejan un patrón claro de las épocas de reproducción de cangrejo rojo para la zona. Autores como Huner & Barr, 1984, afirman que, las hembras maduras del cangrejo rojo americano, se reproducen dos veces al año, aunque en condiciones favorables pueden llegar a tener hasta tres generaciones al año. Por otra parte, luego del evento de cópula entre machos y hembras, los espermatozoides transmitidos por los machos y depositados en el receptáculo seminal de las hembras, pueden durar hasta ocho meses almacenados, hasta que ocurre la ovulación, debido a que la fecundación es externa (Huner & Barr, 1984; Rodríguez Almaraz, 1992).

Autores como Alcorlo et al., (2008), mencionan que el apareamiento de *P. clarkii* ocurre en aguas abiertas, y las hembras almacenan los espermatozoides hasta que encuentren protección en madrigueras; sin embargo, este tipo de estudios sobre la biología reproductiva de la especie, se encuentran referenciados para ecosistemas condicionados por fases estacionales de clima. En ecosistemas tropicales como el caso de la Dársena de Tibitoc, no se cuentan con estudios a profundidad sobre el tema; sin embargo, la escasa presencia de hembras colectadas C4 (Hembras postovígeras), puede estar relacionada, con el comportamiento de las hembras, ya que estos organismos se refugian en madrigueras para desovar e incubar los huevecillos lo que dificulta su captura (Huner & Barr, 1984).

Por otra parte, el hecho de registrar todos los estadios de maduración en hembras colectadas en la Dársena de Tibitoc, independiente del número de individuos por cada uno de ellos en los diferentes muestreos, refleja la alta capacidad reproductiva de la especie. La presencia de ovarios con estos diferentes estados de maduración de los huevos puede indicar desoves consecutivos a lo largo del año y en consecuencia un posible aumento de la densidad poblacional en la Dársena de Tibitoc.

Estudios realizados en otros decápodos sugieren que algunos ovocitos crecen rápidamente al incorporar vitelina (proteína indispensable para el desarrollo embrionario), mientras que otros permanecen inactivos (Rodríguez-González et al., 2006). Otros estudios sobre aspectos reproductivos e IGS en comunidades hidrobiológicas, sugieren que la

disponibilidad de alimento en el medio puede influir en la anticipación o retraso en el proceso reproductivo (Oliva, 2008).

La ausencia de huevos en algunas de las hembras analizadas con tamaños superiores a 60 mm (hembras maduras), puede estar condicionada por factores como la finalización de la etapa reproductiva o a los procesos ecdisis, ya que, durante este proceso, donde se elimina el exoesqueleto antiguo debido al aumento de tamaño y se forma un nuevo exoesqueleto, existe un gasto de energía adicional. La alta demanda energética durante la muda puede generar un fenómeno de reabsorción de las gónadas que se encuentran en la fase de vitelo génesis (Rodríguez-Almaraz, 1992).

Respecto al número de huevos producidos por hembras en la Dársena de Tibitoc, encontramos un valor promedio de 573 huevos, valor inferior a los encontrados por Alcorlo et al., (2008), quienes mencionan que el número máximo de ovocitos varía según el tipo de ecosistema, por ejemplo: campos de arroz 674, canales 576, tributarios del río 779 y estanques de arena con 995 huevos. Sin embargo, respecto al valor máximo alcanzado el presente estudio refleja una producción de huevos en hembras maduras que alcanzan hasta 1153 huevos (Máximo dato reportado en hembra con gónadas K2 y ovocitos inmaduros).

El número de huevos no estuvo directamente relacionado con el tamaño de las hembras; algunos autores sugieren que otros factores pueden influir sobre el desarrollo gonadal, entre ellos la temperatura y la disponibilidad de alimento (Arias-Pineda & Rodríguez, 2012).

En cuanto al IHS, se diferenciaron los valores obtenidos teniendo en cuenta los estadios gonadales de todas las hembras y machos colectados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, se aprecia en promedio valores superiores en los estadios C1 y C3 de las hembras; y valores casi constantes en los machos (figura 55 A, B y C), estos resultados indican que existe un mayor aprovechamiento de las reservas energéticas desde el hepatopáncreas en procesos como la muda y vitelogénesis. Autores como López & Rodríguez, 1999, indican que, crustáceos como *P. clarkii*, presentaron diferentes estrategias de aprovechamiento de las reservas de energía donde, las hembras invierten más energía para la vitelogénesis y crecimiento, mientras los machos invierten mayor energía en crecimiento.

La presencia de mayores reservas energéticas en hembras inmaduras C1 y Hembras ovígeras C3 mayores de 6 cm, biológicamente puede estar relacionado con el metabolismo y asimilación de reservas que soportan los procesos de muda, desove y mantenimiento de la masa embrionaria. (Medina et al., 2019). Por otra parte, según (Rodríguez-Almaraz, 1992) los organismos de *P. clarkii* no mudan antes del que el ciclo reproductivo esté terminado, razón por la cual creemos que las hembras se encontraban almacenando energía que sería direccionada al proceso reproductivo.

Aparentemente, para ecosistemas tropicales, no existe una sincronía entre IGS e IHS, varios autores indican que a medida que las gónadas de las hembras en crustáceos

presentan una mayor madurez, el hepatopáncreas reduce su tamaño (López & Rodríguez, 1999; Peruzza et al., 2015), esto debido a los requerimientos energéticos utilizados en la etapa de vitelogénesis. Sin embargo, los datos registrados en la Dársena de Tibitoc, no muestran una correlación aparente entre los dos índices evaluados.

Conclusiones

- Los datos obtenidos a partir de los tres muestreos reflejaron la presencia de hembras y machos de *P. clarkii*, con todos los estados gonadales. Esta situación puede estar relacionada con la franja de ubicación (zona tropical), que presenta condiciones climáticas favorables todo el año; mientras que en la zona de origen sus momentos de reproducción están limitados por factores climáticos.
- Los resultados obtenidos frente al IHS indican que los organismos de *P. clarkii* colectados en la Dársena de Tibitoc, presentan valores superiores en las hembras C1 y C3, esto sugiere que se cuenta con la suficiente reserva energética para procesos de ecdisis (muda de caparazón) en C1, y procesos de vitelogénesis en hembras C3 (Proceso en el cual se forman los materiales de reserva del citoplasma del huevo).
- La mayoría de los estudios gonadales en decápodos, indican la relación inversa entre IGS y IHS; sin embargo, para el caso del presente estudio, no encontramos relación entre estas dos variables; situación que puede estar condicionada por la disponibilidad de recursos alimentarios y/o las etapas de ecdisis o muda del caparazón.
- A partir de las correlaciones realizadas entre el IGS y el peso de los organismos sin tenazas, se evidencia una nula relación entre estas dos variables; esto puede ser consecuencia de la presencia de diferentes etapas de desarrollo gonadal en las hembras independiente del tamaño de las mismas.
- El hecho de que la captura de los machos sea mayor en relación a las hembras, puede estar sujeto al tipo de comportamiento característico para la mayoría de decápodos, donde los machos presentan actividad constante, mientras las hembras en su mayoría viven refugiadas en madrigueras como estrategia de reserva de energía para procesos de vitelogénesis.
- Algunas de las hembras con tamaños superiores a 90 mm, presentan cantidades considerables de huevos en el interior del cefalotórax (> 500 huevos); confirmando su alto potencial reproductivo. Sin embargo, el correcto desarrollo de estos huevos puede estar condicionada por diversas condiciones, como la oferta alimentaria y la temperatura de agua, entre otros.

DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO

Actividades de laboratorio

Los organismos de mayor tamaño correspondieron al polígono del área de bombeo (P. Bom) para el primer muestreo, al polígono de la cosechadora (P. Cos) para el segundo muestreo y al polígono de la bocatoma (P. Boc) para el tercer muestreo. En total se analizaron los contenidos estomacales de 51 machos y 40 hembras, capturados en los tres muestreos (Tabla 7). Cabe mencionar que en el primer muestreo se capturó solamente un organismo para el polígono de la Bocatoma el cual presentó el estómago vacío (tabla 7).

Para el procesamiento de los individuos, estos fueron puestos en bandejas plásticas para que se descongelen a temperatura ambiente, posterior a esto, se realizaron las disecciones con tijeras y pinzas limpias sobre una bandeja plástica para extraer el tracto digestivo. Cada estómago, se dispuso en tubos falcon de 15 ml, debidamente preservados en alcohol al 70%, etiquetados y almacenados para su posterior análisis.

Los estómagos se revisaron en cajas de Petri, lo que nos permitió 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 procedió a separar por ítems alimentarios mediante pinceles finos que evitan raspar células de la pared del estómago del cangrejo rojo.

Tabla 7. Promedios de longitud y numero de machos y hembras a las cuales se les realizó análisis de contenidos estomacales.

Muestreo 1	Promedio de Longitud Total (mm)	Promedio de Peso húmedo del organismo completo (g)	Hembras	Machos
P. Boc	105,8	22		1
P. Cos	89,3	16,7	9	8
P. Bom	92,4	19,3	8	4
Total	90,653	17,9	17	13

Muestreo 2	Promedio de Longitud Total (mm)	Promedio de Peso húmedo del organismo completo (g)	Hembras	Machos
P. Boc	84,4	15,5	2	8
P. Cos	101,1	26	3	7
P. Bom	98,3	25,7	5	6
Total	94,767	22,5	10	21

Muestreo 3	Promedio de Longitud Total (mm)	Promedio de Peso húmedo del organismo completo (g)	Hembras	Machos
P. Boc	96,8	23,6	4	6
P. Cos	88,2	20,2	4	6
P. Bom	95,2	22,6	5	5
Total	93,42	22,14	13	17

Total general	92,99	20,91	40	51
---------------	-------	-------	----	----

Una vez identificados los diferentes ítems alimentarios, se procedió a hacer el registro fotográfico, usando un estéreo-microscopio y/o microscopio para revisar microalgas y partículas finas, para esto, parte del contenido estomacal fue diluido en agua destilada y se dispuso en placas.

No se usaron colorantes en esta metodología, ya que estos pueden deteriorar las muestras de las algas que son un ítem importante del contenido estomacal.

Los ítems alimentarios se separaron en grandes grupos definidos como tejido animal o vegetal, y se continuó con la identificación y clasificación hasta el menor nivel taxonómico posible, para esto se usaron las guías y claves taxonómicas disponibles, con el fin de determinar su procedencia. El material finamente particulado será definido como detrito (figura 60).

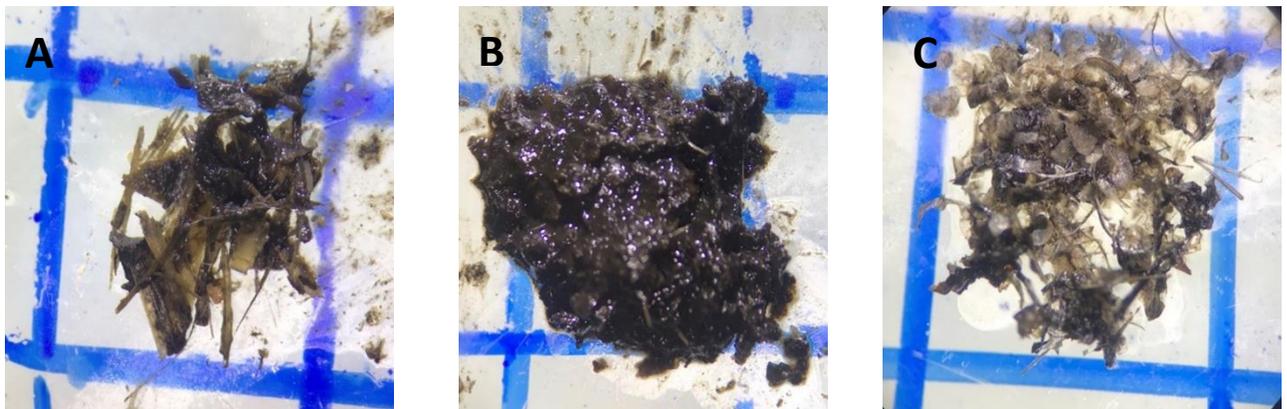


Figura 60. Principales ítems alimentarios A. Tejido Vegetal, B. Detritos, C. Tejido Animal

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

Coeficiente de vacuidad (CV)

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

$$CV = \frac{N^{\circ} \text{ estómagos vacíos}}{N^{\circ} \text{ total de estómagos}} \times 100$$

El coeficiente de vacuidad (CV) para el total de los tres muestreos es de 14,13% de estómagos vacíos de un total de 92 estómagos analizados (tabla 9), para los primeros dos muestreos el CV fue de 16,6% y 16,1% respectivamente, sin embargo, para el tercer

muestreo se obtuvo una reducción del índice (CV) al 6,67% de individuos sin alimento (tabla 8).

Tabla 8. Coeficiente de vacuidad para el primer, segundo y tercer muestreo.

Muestreo	Estómagos Vacíos	Total Estómagos	CV
1	5	30	16,6
2	5	31	16.1
3	2	30	6,67
Total	12	92	14,13

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):

$$\%FOi = \frac{(ni \times 100)}{N}$$

Donde:

% FOi: es la frecuencia de ocurrencia del ítem i

ni: es la cantidad de estómagos con el ítem i

N: es el número total de estómagos

En cuanto a la frecuencia de ocurrencia de los ítems alimentarios durante los tres muestreos (figura 61), se observa que el detrito es ítem alimentario más representativo con presencia en el 99 %, seguido del tejido vegetal con el 90% y por último el tejido animal con el 71%, del total de los estómagos analizados, sin embargo, cabe resaltar que los detritos fueron constantes durante el tiempo de estudio.

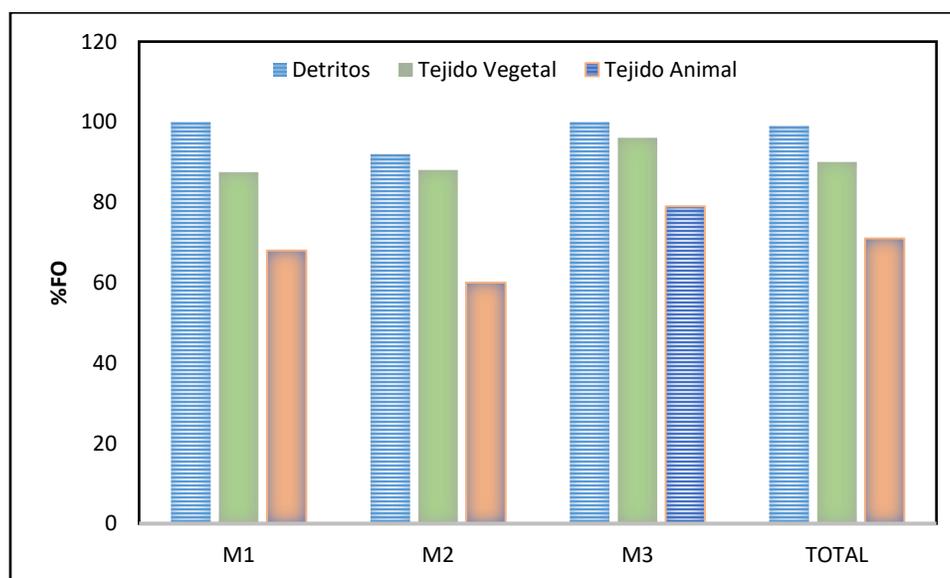


Figura 61. Porcentaje de frecuencia de ocurrencia (FO) para cada ítem alimentario, determinados en los tres muestreos.

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).

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

Durante el análisis de los estómagos de *P. clarkii*, se identificaron en total 33 presas, para el primer muestreo se obtienen 22 tipos de presas; para el segundo muestreo se observaron 20 presas y para el tercer muestreo se registraron 28 presas. Se presenta el registro fotográfico de algunas de las presas identificadas en los contenidos estomacales microalgas (figura 62).

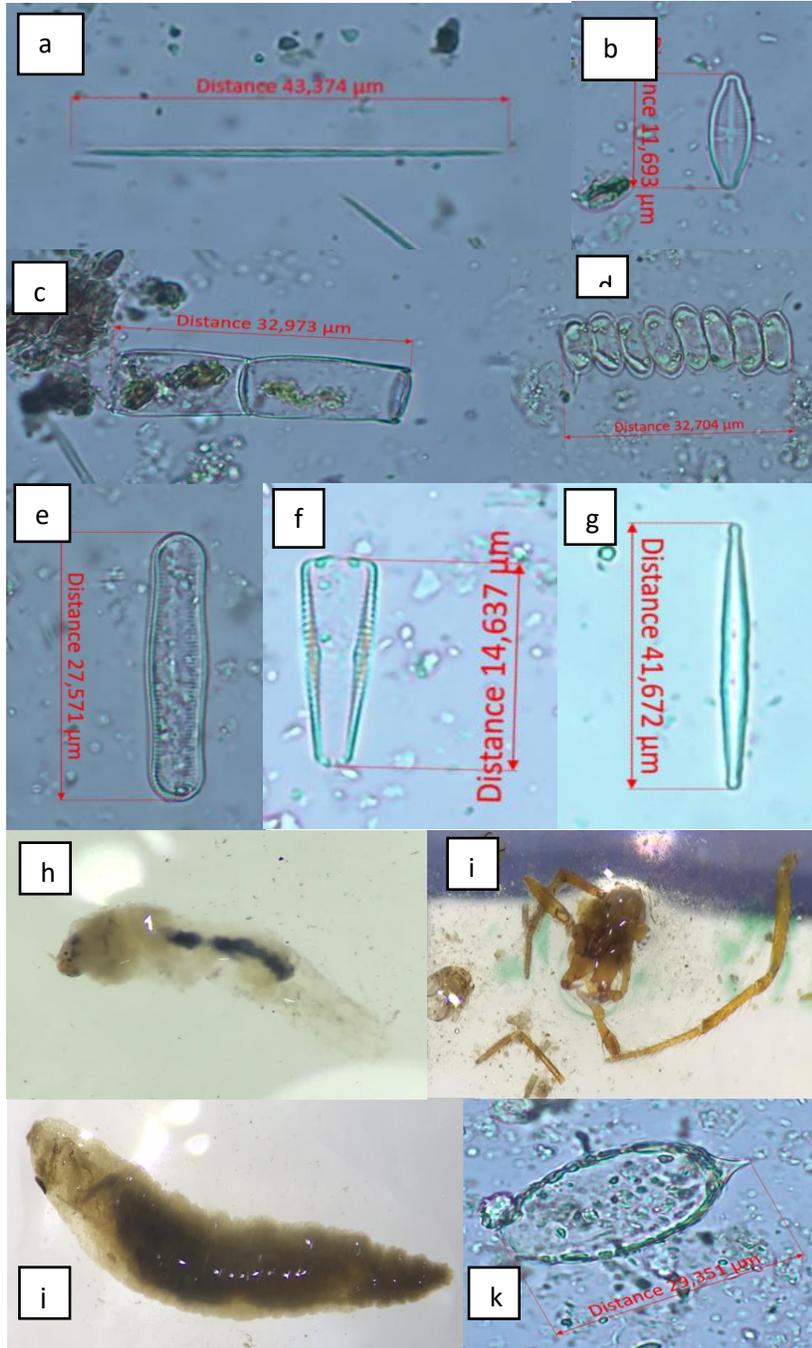


Figura 62. Presas más abundantes identificadas en los estómagos del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc: Microalgas: a: *Ankistrodesmus* sp.; b: *Achnanthyidum* sp.; c: *Oedogonium* sp.; d: *Desmodesmus* sp.; e: *Pinnularia* sp.; f: *Gomphonema* sp.; g: *Fragilaria* sp. Macroinvertebrados: h: *Chironomidae*.; i: *Diptero Adulto* y j: *Dolichopodidae*. Zooplancton: k: *Euglypha* sp. Fuente: F. Mesa.

Con respecto a la frecuencia numérica de presas se observa que las microalgas *Ankistrodesmus* sp., *Aphanothece* sp., *Navicula* sp., *Achnantheidium* sp. y *Nitzschia* sp. (tabla 9), son los géneros de microalgas más frecuentes presentes en 78 estómagos de los 91 analizados; en cuanto al zooplancton se identificaron los géneros *Brachionus* sp., *Euglypha* sp. y Ciliophora, por otro lado, los individuos de la familia Chironomidae (Diptero) fueron los más representativos de los macroinvertebrados bentónicos.

Tabla 9. Frecuencia Numérica de presas identificadas en los estómagos de *P. clarkii* para cada uno de los muestreos y el total en la Dársena de PTAP de Tibitoc.

PRESA	M1: 20	M2: 22	M3: 28	TOTAL MUESTREOS	
	PRESAS	PRESAS	PRESAS	33 PRESAS	
	FN	FN	FN	TOTAL_IND	FN
Microalgas					
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	76,4	78,0	65,2	2713	71,8
<i>Aphanothece</i> sp.	5,8	8,8	0,7	178	4,7
<i>Navicula</i> sp.	3,0	2,4	7,0	174	4,6
<i>Encyonema</i> sp.	1,7	0,2	1,1	30	0,8
<i>Achnantheidium</i> sp.	1,3	0,8	0,1	20	0,5
<i>Ulnaria</i> sp.	1,1	1,5	1,8	61	1,6
<i>Melosira</i> sp.	0,9	1,0	1,6	48	1,3
<i>Pinnularia</i> sp.	0,4	0,0	1,2	23	0,6
<i>Nitzschia</i> sp.	0,4	1,5	1,1	45	1,2
<i>Frustulia</i> sp.	0,2	0,4	0,6	18	0,5
Cf. <i>Eunotia</i> sp.	0,2	0,8	0,0	14	0,4
<i>Gomphonema</i> sp.	0,2	0,8	5,2	104	2,8
<i>Aulacosira</i> sp.	0,0	0,3	0,7	17	0,5
<i>Desmodemus</i> sp.	0,0	0,1	0,7	14	0,4
<i>Staurastrum</i> sp.	0,0	0,1	0,5	10	0,3
<i>Fragilaria</i> sp.	0,0	0,0	0,2	3	0,1
<i>Gomphonema</i> sp2.	0,0	0,1	1,1	20	0,5
<i>Oedogonium</i> sp.	0,0	0,3	0,7	17	0,5
<i>Trachelomonas</i> sp.	0,0	0,3	0,5	12	0,3
<i>Eunotia</i> sp.	0,0	0,0	4,6	80	2,1
<i>Euglena</i> sp.	0,0	0,0	0,9	16	0,4
Macroinvertebrados					
Chironomidae	4,3	2,1	2,7	101	2,7
Homoptera	1,1	0,1	0,0	6	0,2
Diptero (adulto)	0,4	0,0	0,3	7	0,2
Dytiscidae	0,2	0,0	0,0	1	0,0
Odonata (adulto)	0,2	0,0	0,0	1	0,0
Coleoptero (adulto)	0,0	0,1	0,1	2	0,1
Dolichopodidae	0,0	0,0	0,1	1	0,0
Zooplancton					
Ciliophora	1,5	0,0	0,0	7	0,2

PRESA	M1: 20	M2: 22	M3: 28	TOTAL MUESTREOS	
	PRESAS	PRESAS	PRESAS	33 PRESAS	
	FN	FN	FN	TOTAL_IND	FN
<i>Brachionus</i> sp.	0,2	0,0	0,1	2	0,1
<i>Euglypha</i> sp.	0,0	0,1	0,7	14	0,4
Tejido Animal					
Tejido de cangrejo	0,2	0,0	0,1	2	0,1
Tejido de Pez	0,0	0,3	0,6	16	0,4
TOTAL	100	100	100	3777	100

Índice de Importancia Relativa (IIR)

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

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

Donde:

F.O= Corresponde a la frecuencia de ocurrencia

A= El porcentaje de área para cada presa.

Los resultados preliminares indican que el detrito tiene un IIR de 49,8 y es el ítem alimentario más importante en la dieta de cangrejo, seguido del tejido vegetal IIR= 31,8 y el tejido Animal (10,7) para los 78 estómagos analizados en los tres muestreos. Las mediciones anteriores permitieron inferir la importancia de los ítems del contenido estomacal en la dieta del cangrejo rojo, y de esta forma se determinó las presas importantes y las poco frecuentes/accidentales (Hyslop, 1980).

El índice de importancia relativa de las categorías tróficas encontradas en los contenidos estomacales de *P. clarkii* indican que la especie presenta una dieta generalista sin presentar preferencia por algún tipo de presa, lo cual se ve reflejado en el consumo de detritos (figura 63), el cual representa más del 50 % de la dieta total del cangrejo.

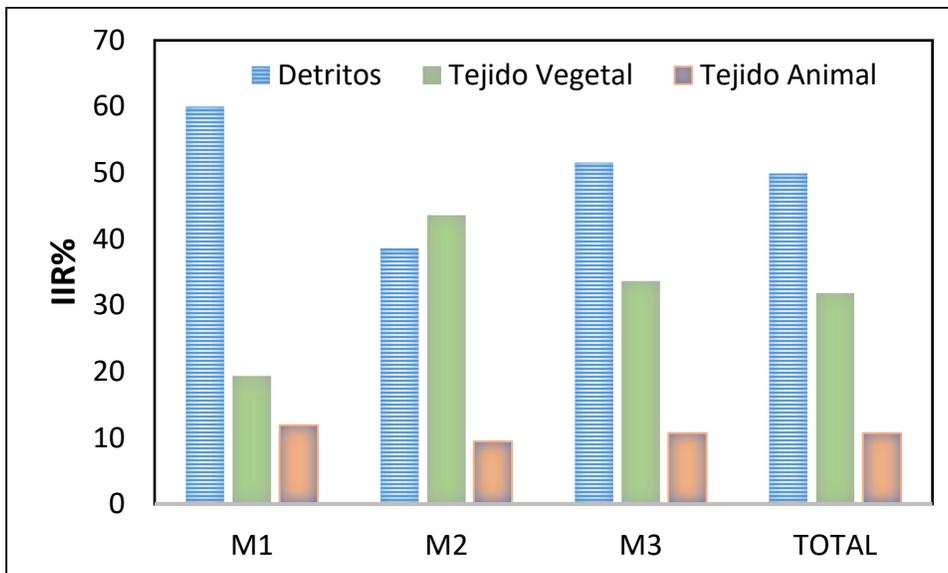


Figura 63. Representación gráfica del índice de importancia relativa (IIR) durante el tiempo de estudio

Análisis estadísticos

Primero se realizó un análisis de estadística descriptiva (media y rango usando Excel), para tener una idea inicial de la distribución, abundancia e importancia de los ítems encontrados; por otro lado, para comprobar las diferencias entre los polígonos, muestreos y entre sexos, se realizaron los análisis que se describen a continuación:

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

Finalmente, se probó la normalidad de la longitud de los animales en cada grupo demográfico (hembras, machos) y se comparó con la prueba de Kruskal-Wallis. (Loureiro-Gonçalves et al., 2019), este análisis se aplicó con el fin de determinar si existen diferencias significativas de los contenidos estomacales entre los machos y las hembras

Resultados

De acuerdo a los ítems alimentarios identificados en los contenidos estomacales de *P. clarkii* se calculó el porcentaje de ocupación de los ítems alimentarios en los estómagos (figura 64), la cual estuvo representada con los detritos por el 51,34%, el tejido vegetal fue

el segundo más abundante con el 34,46% y por último el tejido animal con el 14,19%. Durante los tres muestreos no se presentaron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de ocupación de los diferentes ítems.

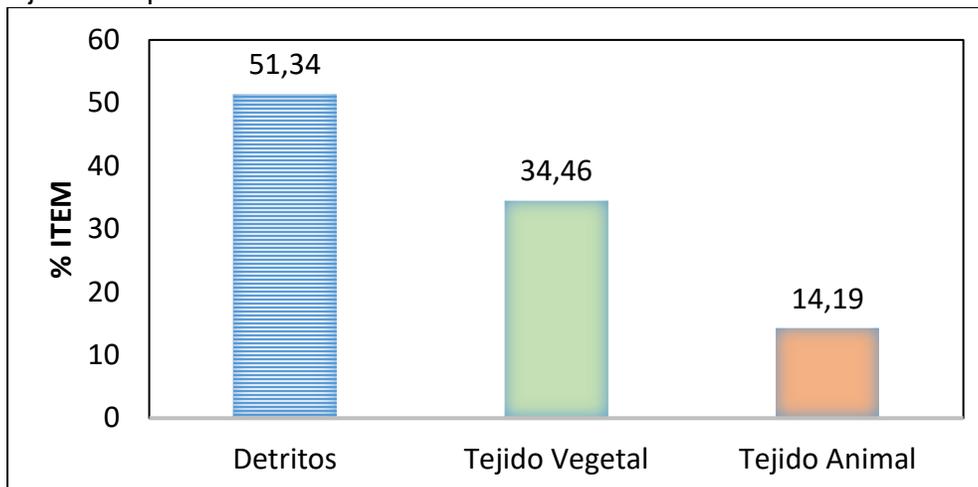


Figura 64. Porcentaje de representatividad de los ítems alimentarios durante los tres muestreos

En cuanto a la estadística descriptiva de los ítems alimentarios en los tres muestreos (tabla 10), el más representativo en el primer muestreo fue el detrito con una media de 60% de llenado en los estómagos, para el segundo muestreo el ítem más representativo fue el tejido vegetal con una media de 49,50 %, y por último en el tercer muestreo el ítem más representativo fue el detrito con 51,54% del promedio del área ocupada en los estómagos con alimento. En términos generales, el detrito fue ítem más representativo a lo largo del estudio.

Tabla 10. Estadística descriptiva para los principales ítems alimentarios para los dos muestreos: T. Veg: Tejido Vegetal; T. Ani: Tejido Animal y Det: Detritos.

	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3		
	T. Veg	T. Ani	Det	T. Veg	T. Ani	Det	T. Veg	T. Ani	Det
Media	22,08	17,5	60	49,50	15,74	41,96	34,86	13,61	51,54
Des.est	17,81	18,25	22,5	34,36	25,42	32,43	19,39	17,16	19,58
Rango	80	80	95	100	100	100	70	70	68
Mínimo	0	0	5	0	0	0	0	0	25
Máximo	80	80	100	100	100	100	70	70	93
Suma	530	350	1500	1188	362	1049	976	381	1443
Cuenta	24	20	25	24	23	25	28	28	28

Para los tres muestreos se identificaron 33 presas, en el primer muestreo se observaron 20 presas mientras que en el segundo muestreo se reconocieron 22 presas diferentes y para el tercer muestreo se identificaron 28 presas en los contenidos estomacales. Con el fin de

evaluar la diversidad en la composición de la dieta del cangrejo rojo americano se aplica el índice de Shanon-Weiner para comparar la diversidad de la dieta entre muestreos y grupos demográficos (machos y hembras); los valores del índice de Shanon-Weaver <3 indican una diversidad relativamente baja. Además se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis con el fin de hallar diferencias significativas entre los contenidos estomacales de los grupos demográficos y entre los tres muestreos, en el cual no se presentaron diferencia significativa entre muestreos ni entre machos y hembras arrojando resultados de $P>0,05$ (tabla 11).

Tabla 11. Índice de Shanon-Weiner para comparar la riqueza de presas consumidas por *P. clarkii* entre los tres muestreos y entre machos y hembras.

	M1	M2	M3	Hembras	Machos
Taxa_S	20	22	28	33	28
Shannon_ H	1,12	1,01	1,59	1,47	1,28

Los resultados nos indican que la microalga Chlorophyta *Ankistrodesmus* sp. ha sido la más frecuente durante los tres muestreos representando el 71,8 % de la abundancia de las presas (figura 65), seguida por *Aphanothece* sp. y *Navicula* sp. con el 4,7% y 4,6,7% de la frecuencia numérica respectivamente, representando el 81,1 % del total de las presas. En cuanto a los macroinvertebrados el más representativo pertenece a la familia Chironomidae con el 2,7%. Por último, el zooplancton estuvo representado por ciliados con el 0,18% del total de las presas.

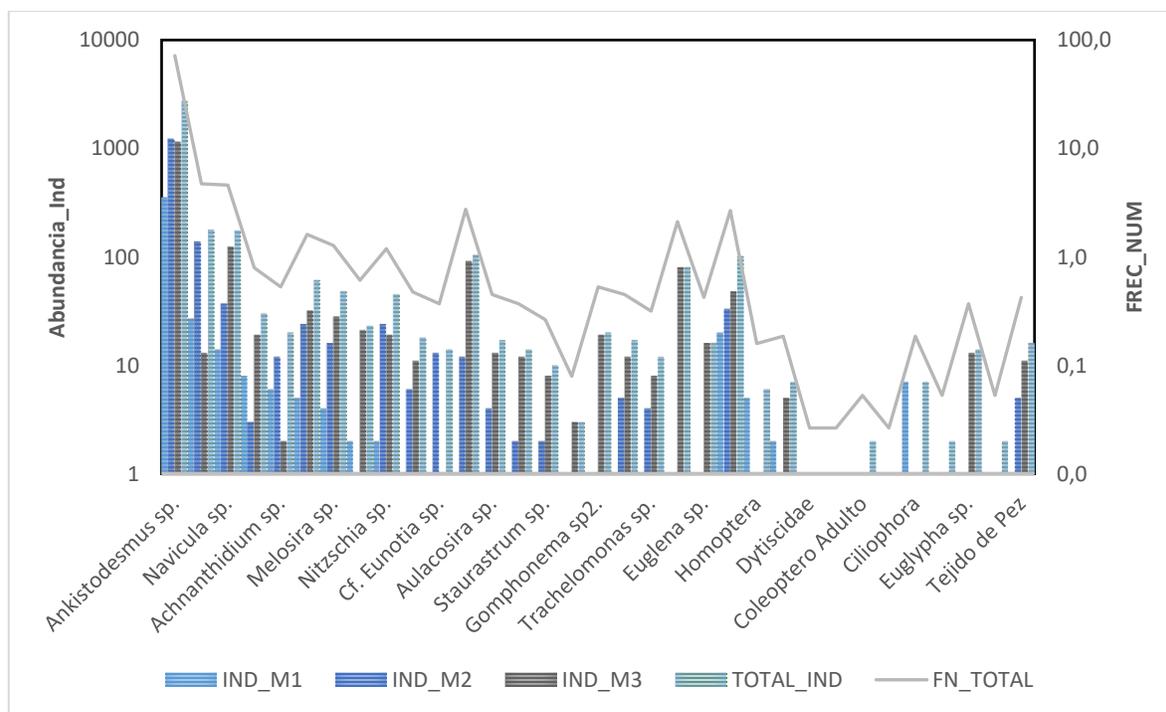


Figura 65. Frecuencia numérica y total de presas identificadas en los tres muestreos; a: Muestreo N° 1, b: Muestreo N° 2 y c: Muestreo N° 3.

Se aplica la prueba no paramétrica ANOSIM con valor de $R = 0,13$ que nos indica que existe similitud entre los dos muestreos en cuanto al tipo de ítems alimentarios. El porcentaje de similitud (SIMPER) aplicado entre los muestreos (tabla 12), indica que las presas que contribuyen a la disimilitud en las microalgas son: *Ankistrodesmus* sp., *Aphanothece* sp., *Navicula* sp., *Pinnularia* sp. y *Gomphonema* sp. en cuanto a macroinvertebrados la familia Chironomidae aportó a la disimilitud el 2,62 %. La mayor parte de esta diferencia es aportada por las presas pertenecientes al tejido vegetal, encontrado en los estómagos de *P. clarkii*.

Tabla 12. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los tres muestreos.

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	42,93	58,46	58,46
<i>Aphanothece</i> sp.	5,98	8,15	66,61
<i>Navicula</i> sp.	3,84	5,22	71,83
<i>Pinnularia</i> sp.	3,24	4,42	76,25
Chironomidae	2,62	3,57	79,82
<i>Gomphonema</i> sp.	2,03	2,76	82,58
<i>Eunotia</i> sp.	1,64	2,23	84,81
<i>Ulnaria</i> sp.	1,60	2,18	86,99
<i>Melosira</i> sp.	1,32	1,79	88,78
<i>Encyonema</i> sp.	1,02	1,39	90,17
<i>Nitzschia</i> sp.	0,87	1,18	91,35
Homoptera	0,54	0,73	92,08
<i>Aulacosira</i> sp.	0,52	0,71	92,79
<i>Achnantheidium</i> sp.	0,50	0,69	93,48
<i>Oedogonium</i> sp.	0,49	0,66	94,14
Tejido de Pez	0,46	0,63	94,77
<i>Euglena</i> sp.	0,43	0,59	95,36
Ciliophora	0,42	0,57	95,93
<i>Desmodemus</i> sp.	0,41	0,55	96,48
<i>Euglypha</i> sp.	0,37	0,51	96,99
<i>Frustulia</i> sp.	0,35	0,47	97,46
<i>Gomphonema</i> sp2	0,33	0,45	97,91
<i>Staurastrum</i> sp	0,27	0,37	98,28
<i>Cf Eunotia</i> sp.	0,25	0,34	98,62
<i>Trachelomonas</i> sp.	0,23	0,31	98,93
<i>Brachionus</i> sp.	0,18	0,24	99,17
Diptero Adulto	0,17	0,23	99,4
Tejido de cangrejo	0,16	0,22	99,62
Dytiscidae	0,11	0,14	99,76
Coleoptero Adulto	0,08	0,10	99,87
<i>Fragilaria</i> sp	0,05	0,07	99,93
Dolichopodidae	0,03	0,04	99,97
Odonata Adulto	0,02	0,03	100

La prueba de Kruskal-Wallis, en términos generales no evidencia diferencias estadísticamente significativas por polígono ni por sexo, en cuanto a la diversidad y

abundancia de la dieta. En cuanto a los muestreos se presentó una diferencia estadísticamente significativa lo cual se evidencia un incremento en el número y abundancia de presas identificadas en el tercer muestreo, esto podría deberse a que hubo mayor oferta alimentaria. Las dietas de los organismos colectados en los primeros dos muestreos fueron en promedio muy parecidas en cuanto a su abundancia y composición (tabla 13).

Tabla 13. Prueba estadística Kruskal-Wallis para la abundancia de presas del cangrejo rojo por muestreo, polígono y sexo. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba.

Ítem	Abundancia de presas
Muestreo	$P=0,003$
Polígono	$p = 0,247$
Sexo	$p = 0,77$

Análisis de oferta alimentaria

El estudio de la dieta basado en el análisis del contenido estomacal es una práctica común en ecología de organismos acuáticos (Hyslop, 1980), entregando información sobre el carácter consumidor y el comportamiento alimentario de los mismos. Por otro lado, se señala que el alimento es un importante factor regulador que, al menos, afecta a características como la abundancia, crecimiento y migración de especies (Balbontín, Llanos & Valenzuela, 1997). El comportamiento alimentario es característico de cada especie, pero puede experimentar alteraciones inducidas por variaciones en las condiciones ambientales.

Así mismo, dentro de estos cuerpos de aguas continentales los macroinvertebrados bentónicos han recibido una gran atención en los estudios de los ecosistemas acuáticos, principalmente por su importancia como eslabones tróficos intermediarios entre los productores primarios y consumidores por ser transformadores e integradores de la materia orgánica alóctona (hojas, semillas, ramas, troncos caídos, etc.), principal entrada de energía a los sistemas fluviales y también son destacados por su actual utilidad como indicadores biológicos (Palma, Figueroa, Ruiz, Araya & Berríos, 2002), dejando alimento disponible en el medio para el consumo por parte de *P. clarkii*.

Como resultado en la tabla 14 se presenta el análisis de la oferta alimentaria y morfoespecies encontradas en los contenidos estomacales, los cuales se comparten con lo encontrado en la caracterización de las comunidades hidrobiológicas en la Dársena. Cabe destacar que las algas pertenecientes a los generos *Gomphonema*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Eunotia* y *Melosira* estuvieron presentes durante los tres muestreos en la caracterización hidrobiológica de la Dársena y en la mayoría de los contenidos estomacales; para los macroinvertebrados, la familia Chironomidae estuvo presente en los tres muestreos tanto de comunidades hidrobiológicas y contenidos estomacales. Sin embargo, el zooplancton del genero *Euglypha* estuvo presente en los tres muestreos de caracterización, pero en los contenidos estomacales solo se detectó en el tercer muestreo.

Tabla 14. Presas compartidas entre el análisis de comunidades hidrobiológicas y morfoespecies identificadas en los contenidos estomacales. M1: muestreo 1; M2: muestreo 2; M3: muestreo 3; CE: contenido estomacal; CH: comunidades hidrobiológicas.

Morfoespecie	CH_M2	CH_M1	CH_M3	CE_M1	CE_M2	CE_M3
<i>Aphanothece</i> sp.		++		++	++	++
<i>Staurastrum</i> sp.		++			++	++
<i>Oedogonium</i> sp.		++			++	++
<i>Desmodesmus</i> sp.		++	++		++	++
<i>Achnantheidium</i> sp.		++	++	++	++	++
<i>Nitzschia</i> sp.		++	++	++	++	++
<i>Gomphonema</i> sp_2		++				++
<i>Gomphonema</i> sp.	++	++	++	++		++
<i>Cf. Navicula</i> sp.	++	++	++	++	++	++
<i>Pinnularia</i> sp.	++	++	++	++	++	++
<i>Eunotia</i> sp.	++	++	++			++
<i>Melosira</i> sp.	++	++	++	++	++	++
<i>Aulacoseira</i> sp.	++	++			++	++
<i>Ulnaria</i> sp.	++	++	++			++
<i>Fragilaria</i> sp1		++	++	++	++	++
<i>Euglena</i> sp.			++			++
<i>Brachionus</i> sp.	++			++		++
<i>Euglypha</i> sp.	++	++	++			++
<i>Chironomus</i> sp.	++	++	++	++	++	++

Los organismos de *P. clarkii* son omnívoros es decir comen materia vegetal o animal, viva o muerta; en estado juvenil prefieren tejido animal cuando está disponible, por no ser depredadores activos no pueden capturar algunos peces o insectos que nadan rápidamente. Generalmente, cerca del 20% de la dieta del cangrejo consiste en larvas de insectos y otro tipo de materia poco activa, el resto consiste en vegetación, pero frecuentemente se dificulta determinar si se come un insecto por estar asociado a la vegetación acuática o si lo busca activamente. Por otra parte, el tejido vegetal también contiene grandes cantidades de organismos microscópicos, particularmente durante el proceso de descomposición por lo que el contenido de proteína puede ser considerablemente alto (Hernández-Vergara., 1996).

Discusión

El coeficiente de vacuidad con un promedio del 11%, los tres muestreos, contrasta con los resultados obtenidos por Loureiro et al. (2019), en el cual obtiene que todos los estómagos

analizados contienen algún tipo de alimento. Por lo tanto, los resultados aquí presentados provienen de trampas con 24 horas de exposición, es muy posible que durante este tiempo algunos cangrejos hayan digerido su comida o lo hayan regurgitado y por esto se encontraron estómagos vacíos, sin embargo este es un porcentaje aceptable que permite hacer una buena aproximación a la dieta del cangrejo rojo en la Dársena.

Los datos preliminares de los estómagos analizados de *P. clarkii* en la Dársena de la planta Tibitoc indican que los ítems detrito y tejido vegetal fueron los más representativos, tanto en frecuencia como en volumen, lo cual concuerdan con el estudio realizado por Pirela & Rincón (2013), estudio en el cual se analiza la dieta del cangrejo resaltando que el detrito vegetal es el ítem alimentario más representativo en la dieta, y por lo tanto puede indicar que la disponibilidad de materia orgánica particulada acumulada en la zona litoral del cuerpo de agua es alta (Pirela & Rincon, 2013), sin embargo, no se descarta que se trate de material vegetal y animal altamente digerida por los cangrejos. En estudio realizado por Sanchez-Saavedra, (1993) se obtuvo como resultado que el material orgánico no identificado (detritos) constituyó el 71 % del contenido estomacal, seguido por el material de origen vegetal (22%) y animal (7%) (Sanchez-Saavedra, 1993). Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en los contenidos estomacales de cangrejos de la Dársena de la PTAP Tibitoc.

Por otro lado, aunque sea difícil diferenciar el detrito del alimento altamente digerido, la necesidad del recurso detrito y tejido vegetal está bien documentada para *P. clarkii*, indicando que la actividad detritívora de este juega un papel primordial en la estructura trófica de las comunidades acuáticas, contribuyendo al ciclaje de materia y transferencia de energía (Gherardi & Micheli, 1989).

De acuerdo a la frecuencia numérica (FN) aplicada a las presas, se obtiene que la microalga *Ankistrodemus* sp. representó el 71,8%. Sin embargo, esta microalga es de hábitat planctónico, es cosmopolita y está presente en lagos dulceacuícolas o asociado a vegetación del litoral, además prefiere aguas poco ácidas y son sensibles a los herbicidas (Echenique et al., 2004). Es posible que la ingestión de este organismo pueda ser accidental mientras exploraba otro recurso alimenticio dado el minúsculo tamaño de la microalga.

En cuanto a la diversidad de la dieta de *P. clarkii* en la Dársena de la planta Tibitoc, el índice de diversidad Shanon-Weaver presentó valores entre 1,2 y 1,6 lo cual indica la baja diversidad de la dieta entre machos y hembras y entre los muestreos, lo cual difiere con los resultados de Loureiro et al., (2019) donde el índice de diversidad de la composición de la dieta de Shannon-Wiener varió de 2,3 a 2,6. Aunque los valores no difirieron considerablemente, fueron más bajos para los machos. La presencia de los diferentes ítems alimentarios encontrados apoya los hábitos alimentarios generalistas documentados para el cangrejo rojo americano.

Conclusiones

- Los datos reflejan la presencia de detritos y tejido vegetal como ítems alimentarios más representativos de *P. clarkii*. Esta situación puede estar relacionada con la actividad de forrajeo y bioturbación del cangrejo al momento de desplazarse o excavar cuevas en zonas don hay mayor abundancia de vegetación acuática.
- Dentro de las presas más abundantes en la dieta del cangrejo se identificó la microalga del genero *Ankistrodemus* sp. la cual está asociada a la vegetación acuática, donde el cangrejo realiza sus actividades de alimentación y excavación de madrigueras.
- En cuanto a los macroinvertebrados, individuos pertenecientes a la familia Chironomidae fueron los más abundantes, lo cual puede estar reflejando la alta abundancia de esta presa en la Dársena, que es fácilmente aprovechada por el cangrejo.
- Para la captura de organismo destinados al análisis de contenidos estomacales, inicialmente se planteó la exposición de trampas Accesotech en un tiempo de tres horas, las cuales no fueron suficientes para obtener una muestra representativa, sin embargo al ampliar el tiempo de exposición de las trampas en el agua a 24 horas, se pudo obtener un tamaño de muestra óptimo y con contenidos estomacales apropiados para el análisis, se recomienda dejar el tiempo de 24 horas de exposición en el agua con revisiones periódicas cada 12 horas con el fin de evitar la digestión del alimento consumido por el cangrejo.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL SELECCIONADOS PARA EL CANGREJO ROJO AMERICANO.

INTRODUCCIÓN

La especie *P. clarkii* ha generado controversia cuando se trabaja sobre su control en cada uno de los países en donde se ha introducido. Por eso, fue necesario evaluar los diferentes métodos de control y detectar aquellos que impidan la proliferación de cangrejo rojo invasor, para un uso efectivo y eficiente de los recursos designados para el manejo de la especie.

Se ha identificado que la extracción física es la más recomendable en el actual sistema de la Dársena, esto debido a su menor impacto y a la menor alteración que puede causar en el agua. El control físico por captura masiva de la especie invasora, se debe realizar de manera periódica evitando dejar lapsos de tiempos muy largos entre cada evento de extracción y reduciendo la oportunidad de nuevos ciclos de reproducción de individuos adultos (Loureiro et al., 2018). A continuación, se describen las actividades de campo y laboratorio y los principales resultados de la evaluación de los métodos de control.

Actividades de Laboratorio

Con base en el trabajo de laboratorio realizado en el capítulo 3 del actual documento se describen los resultados del sexado, mediciones morfométricas y peso de los organismos capturados durante la evaluación de los métodos de control.

Resultados

En términos generales, en las 180 trampas instaladas para el control del cangrejo rojo americano para evaluar la eficiencia de los métodos de control, se colectaron un total de 142 individuos de cangrejo, predominando los machos con 92 individuos y 50 hembras (figura 66a). La trampa Accesotech, colectó el mayor número de cangrejos con un 60% del total de las capturas (29 hembras y 56 machos) frente a un 40% de la trampa Zreal (21 Hembras y 36 machos) (figura 66b)

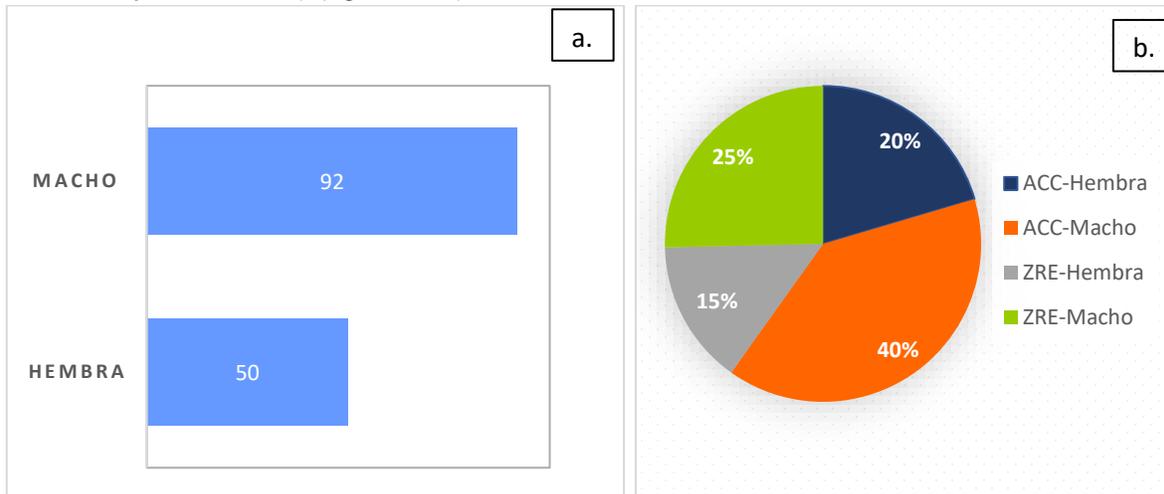


Figura 66. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en los tres muestreos realizados para el control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

Al analizar la información por muestreo, observamos que en el primer muestreo se capturó un total de 22 individuos en las 60 trampas instaladas para el control de *P. clarkii*, Podemos observar en la figura 67a, que en el primer muestreo se capturó un mayor número de hembras (64%), mientras que en la figura 67b observamos que la trampa Zreal capturó cerca del 77% de los cangrejos, representado por 11 hembras y seis machos, mientras la trampa Accesotech obtuvo el 23% de las capturas, con tres hembras y dos machos.

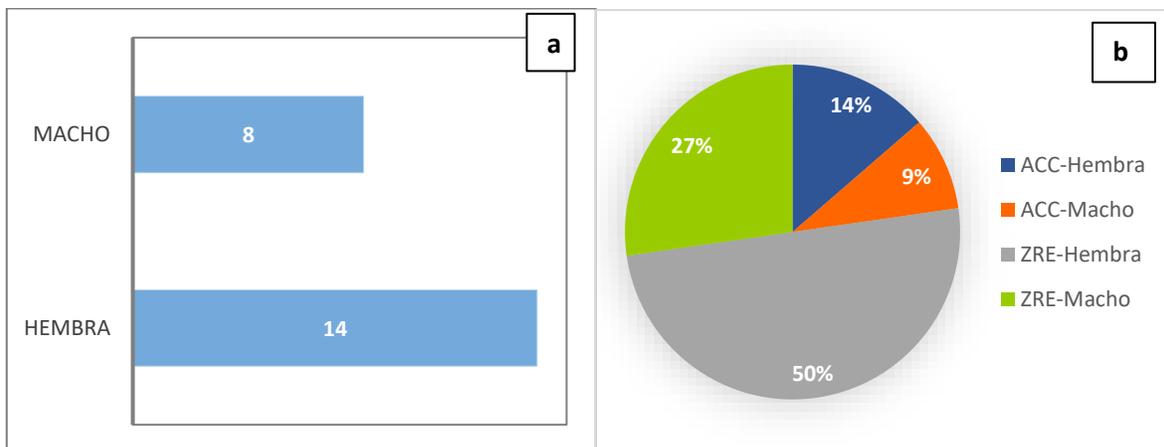


Figura 67. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en el primer muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo; (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

En el segundo muestreo se colectaron un total de 53 individuos en 60 trampas, podemos observar que en el segundo muestreo se capturó un total de 14 hembras y 39 machos, y en este caso fue la trampa Accesotech la que obtuvo más capturas con un 72% (11 hembras y 27 machos), y la trampa Zreal el 28% (3 hembras y 12 machos) (figura 68).

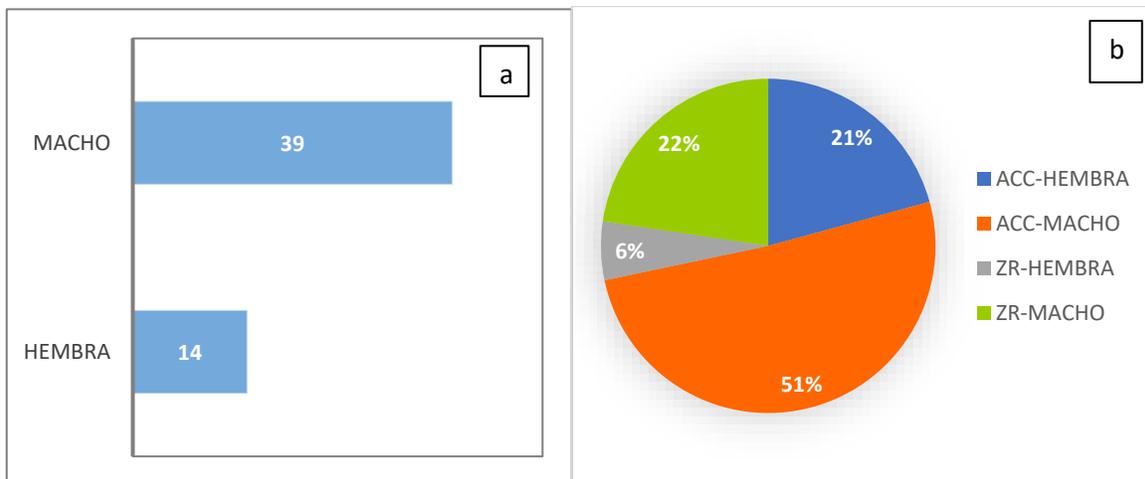


Figura 68. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en el segundo muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

Finalmente, en el tercer muestreo se colectó un total de 67 de individuos en 60 trampas, en este último muestreo se capturó un total de 22 hembras y 45 machos, la trampa que obtuvo mayor número de capturas fue nuevamente la trampa Accesotech en donde se obtuvo más capturas con un 62% (15 hembras y 27 machos), y la trampa Zreal el 38% (7 hembras y 18 machos) (figura 69).

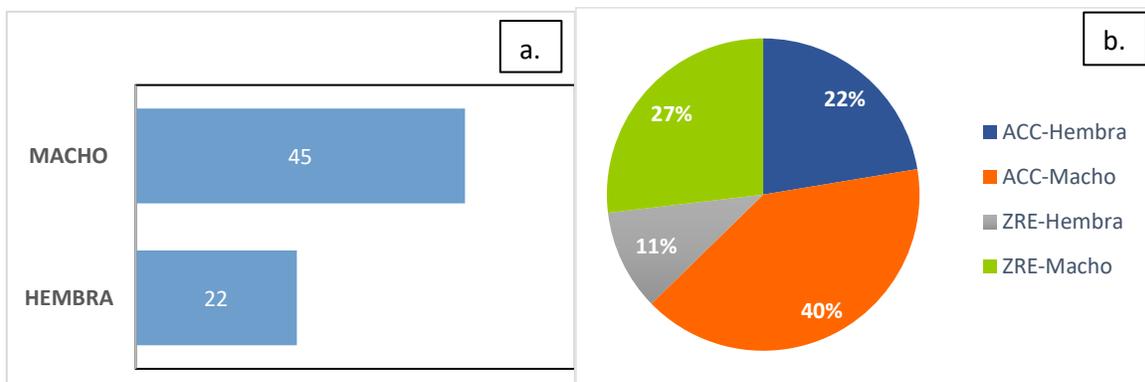


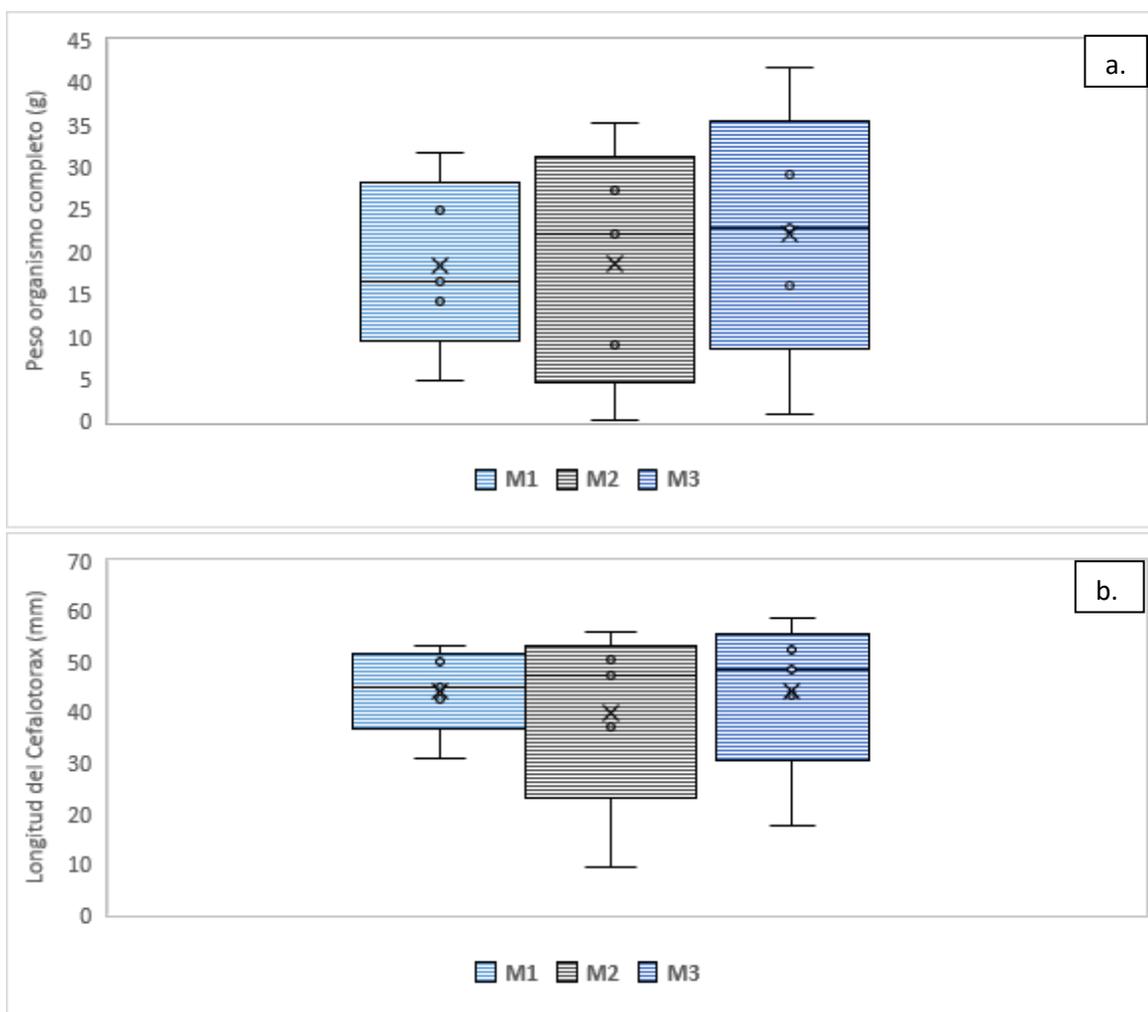
Figura 69. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en el tercer muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) N° individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

Diferencias morfométricas en los organismos de control por muestreos

En promedio el peso de los organismos capturados durante el muestreo de control fue de $20.26 \pm 9,90$ g, la longitud $88,8 \pm 21,02$ mm. (Anexo 1 y Anexo 1.1).

En el primer y segundo muestreo el valor promedio del peso fue similar, mientras que en el tercer muestreo se observó un ligero incremento del promedio. El organismo con menor peso fue registrado para el segundo muestreo con 0,2 g y el de mayor peso de 41,8 g para el tercer muestreo.

Para la medida de la longitud del cefalotórax y longitud total, el primer y tercer muestreo en promedio fueron similares (Lc: 45,2 y 46,7 mm) (Lt: 91,7 y 92,2 mm). Sin embargo, en el segundo muestreo se evidencian longitudes menores en las dos medidas (42 y 83 mm) tendencia similar a la medida del peso (figura 70b) y (figura 70c). Finalmente, en el tercer muestreo se capturó el cangrejo más grande con una longitud de cefalotórax de 58,79 mm y total de 117,67 mm.



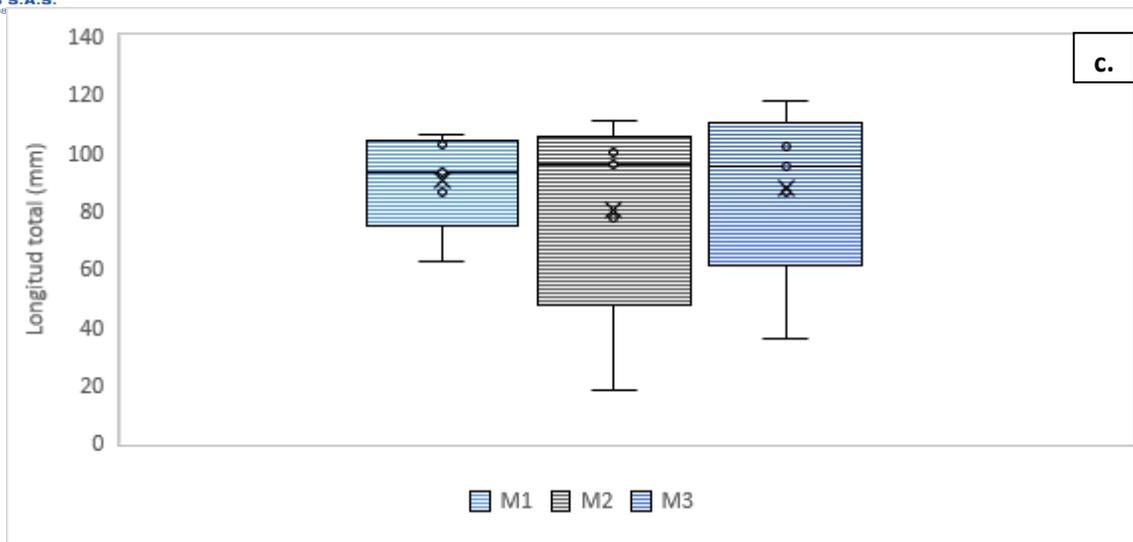
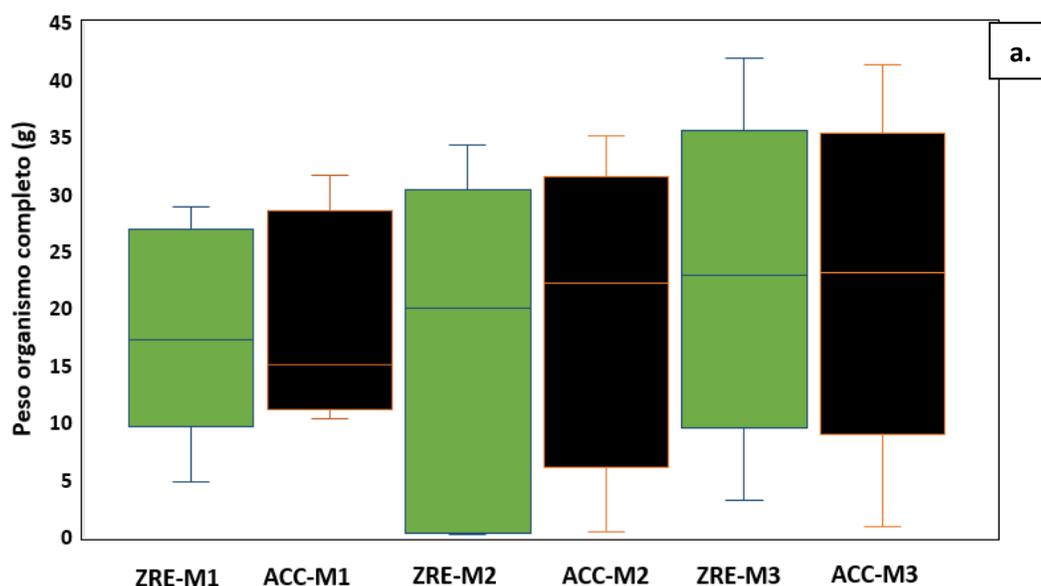
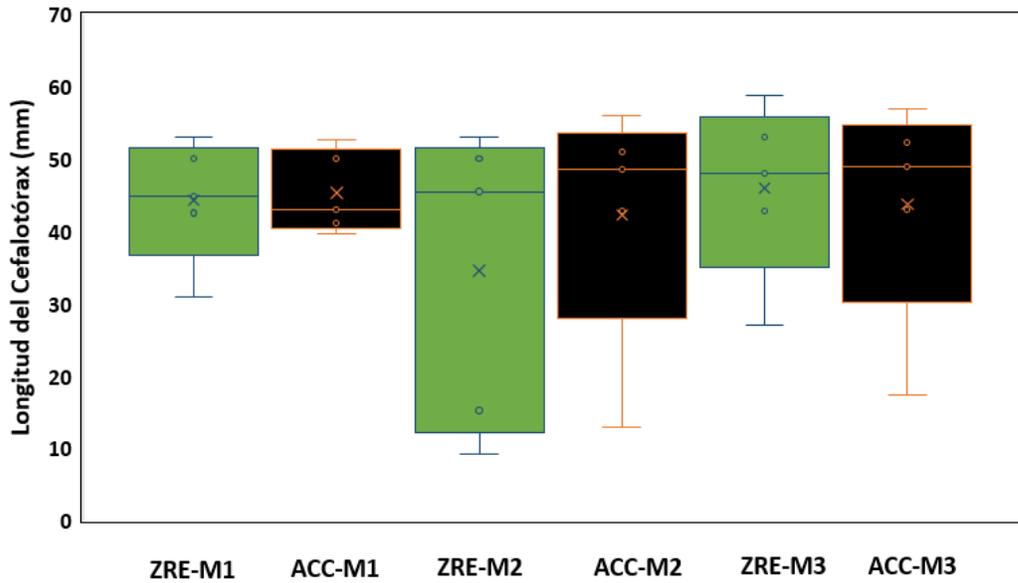


Figura 70. Mediciones morfométricas de individuos *P. clarkii* colectados en trampas de control para los tres muestreos. a Valores de peso de los organismos completos, b: Valores de longitud del cefalotórax, y c: Valores de longitud total de los organismos.

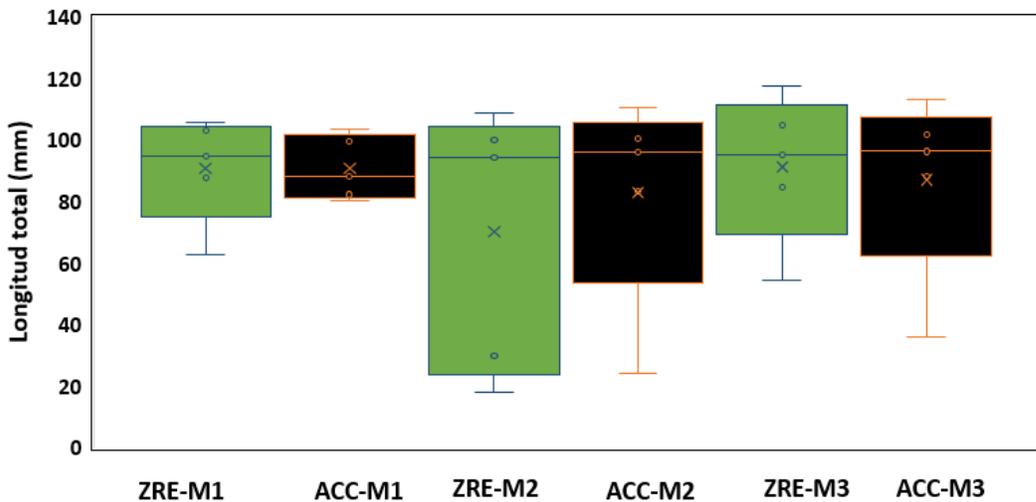
Diferencias morfométricas por tipo de trampa

Por otra parte, se evaluaron las medidas morfométricas de los cangrejos capturados en las trampas Zreal y Accesotech. En los dos tipos de trampas, se colectaron tanto organismos juveniles y adultos mostrando no ser selectivas por lo menos en organismos de tamaños superiores a una Lt de 17,9 mm y menores de Lt 117,6 mm. La trampa Zreal, en el muestreo dos registró mayor variedad de tamaños de cangrejos en comparación con los otros dos muestreos. En el tercer muestreo, este tipo de trampa capturó el organismo más pesado y de mayor tamaño.





b.



c.

Figura 71. Mediciones morfométricas de individuos *P. clarkii* por tipo de trampa en todos los muestreos realizados: a: Valores de peso de los organismos completos, b: Valores de longitud del cefalotórax, y c: Valores de longitud total de los organismos

Eficiencia de los Métodos de Captura

De las 180 trampas instaladas a lo largo de la Dársena para el control de *P. clarkii*, tan solo 79 trampas capturaron cangrejos estableciéndose un 43,88% de eficiencia. Siendo la trampa Accesotech la más efectiva con un 51.1% en comparación a la Zreal con un 36.6%.

A partir de los muestreos realizados, la efectividad de las trampas a nivel de polígonos fue mayor en el polígono de la cosechadora con un 51,6%, mientras que en el polígono de la

Bocatoma (entrada río Bogotá) y el polígono del área de bombeo se evidenció una efectividad similar de las trampas correspondiente a un 40% (tabla 16).

Tabla 15. Efectividad de los métodos de captura del cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) en la Dársena de la planta Tibitoc.

POLÍGONOS Trampas/tipo	Número de trampas efectivas	% Efectividad
180 trampas (90 ZR- 90 ACC)	79	43%
90 trampas ZR	33	36%
90 trampas ACC	46	51%
POLÍGONO BOCATOMA		
60 trampas (10 ZR-10 ACC)	24	40%
30 trampas ZR	10	33%
30 trampas ACC	14	46%
POLÍGONO COSECHADORA		
60 trampas (10 ZR-10 ACC)	31	51%
30 trampas ZR	10	33%
30 ACC	21	70%
POLÍGONO BOMBEO		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	24	40%
10 trampas ZR	13	43%
10 trampas ACC	11	36%

Resultados análisis estadísticos

Se comparó la eficiencia entre tipo de trampa, para ello se usó la prueba Mann-Whitney, resultando un $p < 0,05$ ($p = 0,040$), lo que sustenta que, si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las trampas. Respecto a efectividad dentro de los dos tipos de trampas, la trampa Accesotech registró un mayor porcentaje de trampas efectivas al tiempo que logra una mayor abundancia de cangrejos con 85 individuos; frente a 57 individuos de la trampa Zreal.

En cuanto a la diferencia estadística entre polígonos, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, resultando un $p = 0,04$, lo que indica que, si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tres polígonos. De los tres polígonos evaluados el polígono de la cosechadora fue donde se capturó el mayor número de organismos de cangrejo en comparación con los polígonos de la Bocatoma (entrada río Bogotá) ($p = 0,001$) y polígono del área de Bombeo ($p = 0,001$) (tabla 17).

La preferencia de la especie *P. clarkii* hacia la zona del polígono de la cosechadora, puede estar relacionada con la acumulación de materia orgánica por las macrófitas que allí se

encuentran, por el flujo de agua dentro de la Dársena, y el tipo de nadado de la especie *P. clarkii* que favorece su movimiento y permanencia en la zona, generándose así un mayor número de capturas.

Finalmente, para evaluar diferencia estadística entre muestreos, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis, resultando un $p < 0,001$, lo que permite afirmar hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tres muestreos realizados, debido que en las trampas de control se aumentó el número de cangrejos colectados, puesto que en el primer muestreo se colectó un total de 22 individuos, mientras que en el segundo muestreo este valor se duplicó (53 individuos) y para el tercer muestreo fue de 67 individuos.

Tabla 16. Diferencias estadísticas del número de organismos de cangrejo rojo por tipo de trampa, polígonos y muestreos. Se muestra el p valor obtenido en cada prueba.

Ítem	N	Número de Organismos	
		Est*	p
Tipo de trampa	90	2,0	0,04
Polígonos	60	4,8	0,04
Muestreos	60	12,0	0,00

*Se muestra el estadístico *F* o *H* según la prueba para tres conjuntos de datos y *Z* para pruebas pareadas. Est= estadístico.

Organismos en Captura Incidental

En todos los muestreos realizados se evidencia que en las trampas de control poblacional que se mantuvieron sumergidas durante 24 horas se obtuvieron los mayores registros de organismos capturados incidentalmente.

Por otra parte analizando todas las trampas instaladas en la Dársena incluyendo las dispuestas para la evaluación de los diferentes aspectos como la densidad poblacional (90 trampas), control poblacional (180 trampas) y contenidos estomacales (90 trampas), se capturaron en total 2205 peces, y 23 renacuajos distribuidos así, en el primer muestreo se capturaron 990 peces y 17 renacuajos; para el segundo muestreo se capturó un total de 987 peces y tan solo dos renacuajos, para el tercer muestreo se registró la menor densidad de organismos de captura incidental con 228 peces, cuatro renacuajos y un macroinvertebrado (Aeshnidae) (figura 72).

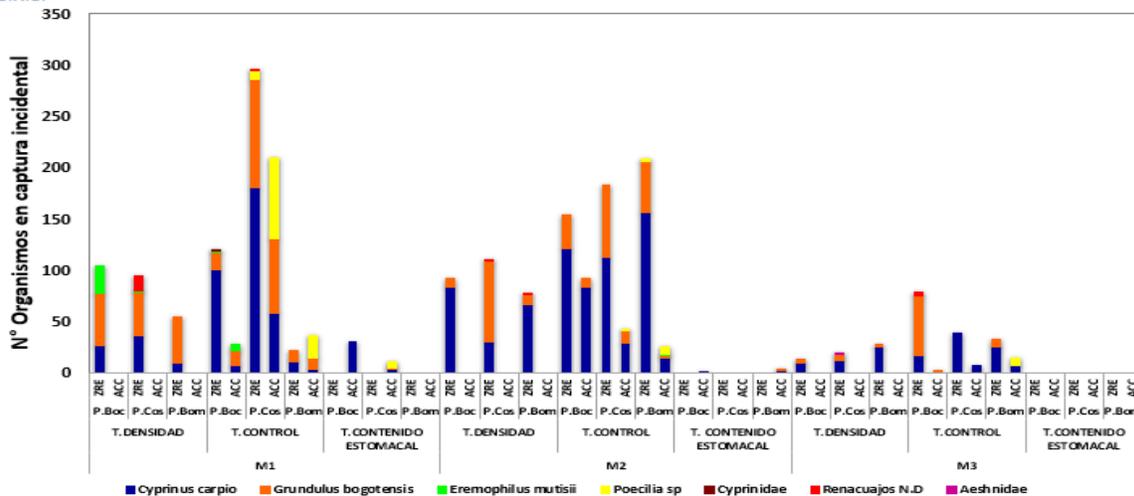


Figura 72. Número de organismos en captura incidental en 120 trampas teniendo en cuenta aspecto evaluado, polígonos y tipo de trampa en cada uno de los muestreos realizados.

En los polígonos muestreados, en el primer muestreo hubo mayor colecta de organismos en las trampas del polígono tres (Cosechadora), y fue la única zona en que se registraron los renacuajos. En el segundo muestreo, en el polígono dos y tres se realizó la mayor colecta de organismos, con 335 peces y un renacuajo y 239 peces respectivamente (figura 72). Finalmente, en el último muestreo en el polígono 2 (Bocatoma, entrada río Bogotá) se registraron 90 peces y 4 renacuajos, y en el polígono 1 (Zona de Bombeo) 74 peces, algo similar al polígono 3 (Cosechadora) con 64 peces y un macroinvertebrado. (figura 73).



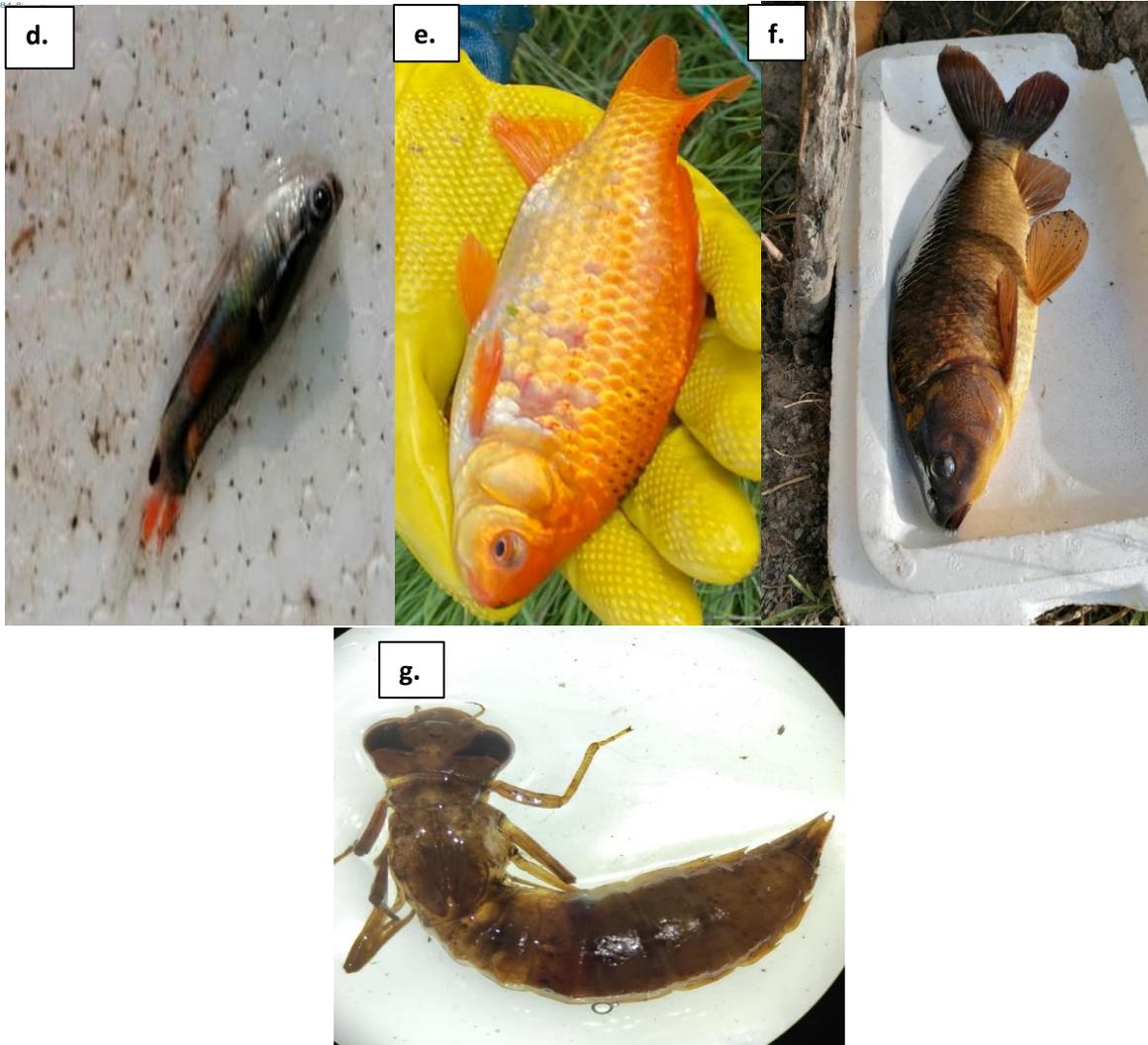


Figura 73. Organismos colectados en captura incidental. a: *Eremophilus mutisii* (Capitán de la sabana), b: *Grundulus bogotensis* (Guapucha), c: Renacuajo rana; d: *Poecilia* sp. (Guppy), e: Cyprinidae, f: *Cyprinus carpio* (Carpa),

Los siguientes peces fueron los más abundantes en todas las trampas instaladas en la Dársena: *Cyprinus carpio* (Carpa común) con 1308 individuos, *Grundulus bogotensis* (Guapucha), 728 individuos, Cyprinidae 1 individuo, 23 renacuajos, y un macroinvertebrado Aeshnidae; total registrado para los tres muestreos realizados. En la trampa Zreal, se evidenció un total de 1703 peces distribuidos en los diferentes morfotipos identificados, 23 renacuajos y un macroinvertebrado, mientras que en la trampa Accesotech, se observó un total de 502 peces, en ella se encontró la mayor cantidad de *Poecilia* sp.; y no hubo captura de Cyprinidae, renacuajos y macroinvertebrados (figura 74).

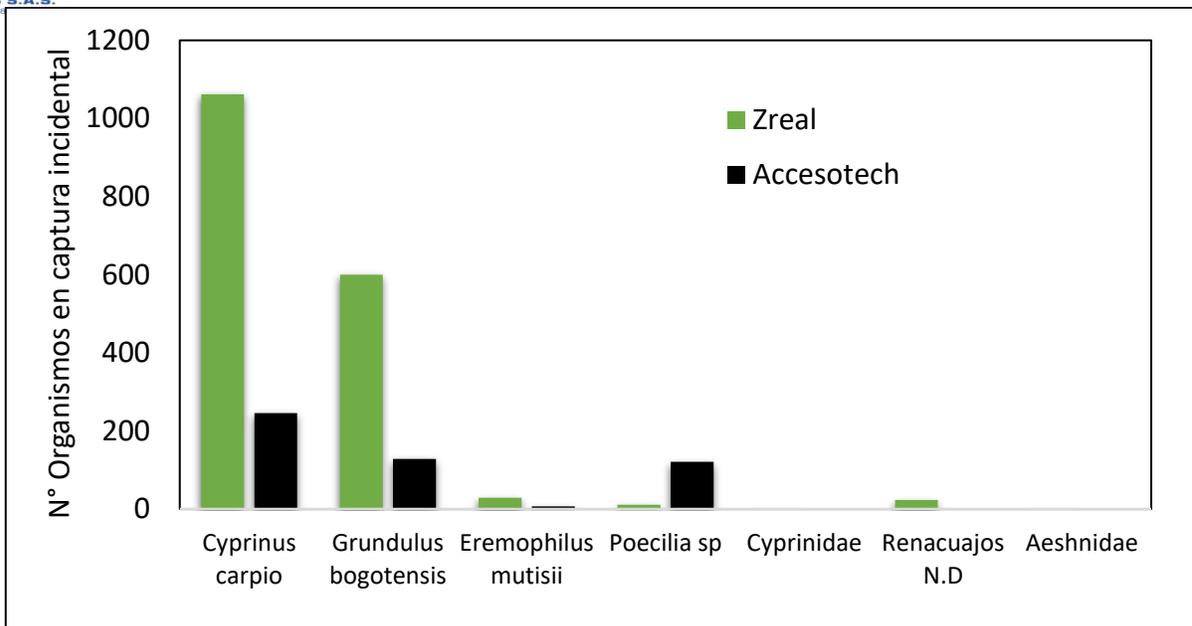


Figura 74. Número de organismos según la especie, capturados incidentalmente en los dos tipos de trampas durante todo el estudio.

Lo anterior, establece a la trampa Zreal, como el tipo de trampa con mayor número de trampas efectivas para la captura incidental con porcentajes de efectividad que van entre el 91,6 y el 71,6%, mientras la trampa Accesotech varía entre el 46,6 y el 21,6% (figura 75).

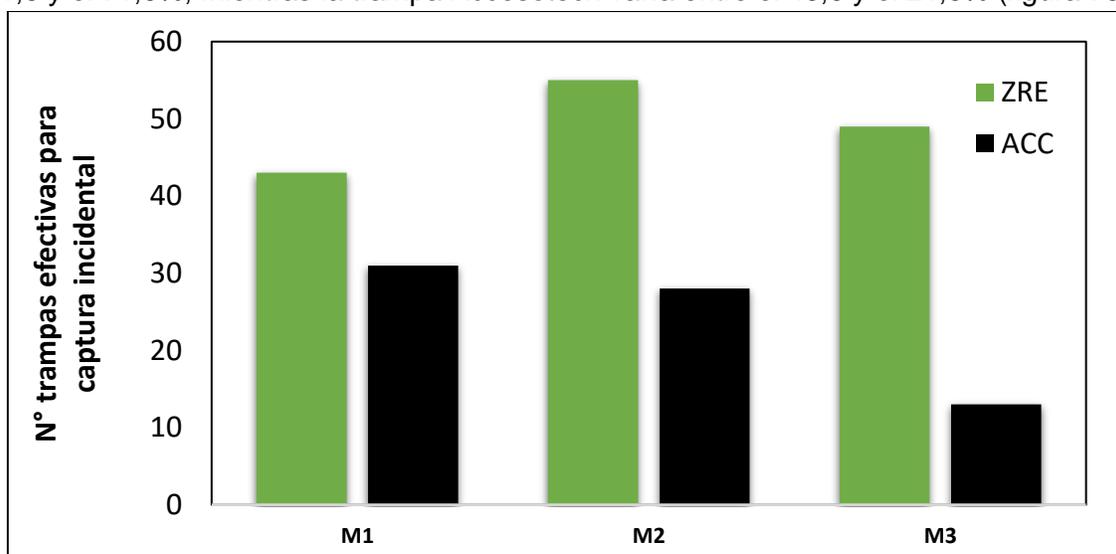


Figura 75. Número de trampas efectivas según tipo de trampa para captura incidental en los tres muestreos realizados

Discusión

Dadas las características fisicoquímicas que debe conservar el cuerpo de agua de la Dársena Tibitoc, no es conveniente emplear otros métodos de control como los químicos o

biológicos, por ende, se ha escogido como el método más adecuado para el proceso de control del cangrejo rojo americano el retiro mecánico de ejemplares, empleando métodos pasivos como las trampas especializadas para la captura de cangrejos.

Los resultados obtenidos en los muestreos, nos muestran la trampa Accesotech o trampa cangrejera común, es el tipo de trampa más conveniente para un proceso de control de la especie invasora *P. clarkii* en la Dársena de la Planta de Tibitoc. Esta trampa capturó el mayor número de cangrejos y obtuvo el mayor porcentaje de efectividad y de densidad de cangrejos frente a la trampa tipo Zreal. Por otra parte, respecto a los tamaños de cangrejos, esta trampa permitió la captura de algunos ejemplares juveniles y de adultos, adicionalmente, esta trampa parece impactar en menor medida la fauna acuática debido a que, en ella se presentó el menor registro de organismos en captura incidental.

La captura de organismos juveniles fue reducida, por lo cual es necesario contemplar las siguientes medidas:

- Según lo menciona Loureiro et al., (2018) el método de extracción puede ejercer una selección de tamaño. En nuestro caso los individuos capturados son considerados adultos, razón por la cual al retirarlos pueden reducir la competitividad intraespecífica existente en el hábitat, favoreciendo las condiciones para el desarrollo de nuevas y más abundantes cohortes.
- Para evitar que lleguen a suceder estos fenómenos poblacionales, es necesario implementar métodos adicionales y complementarios como instalación de trampas en zonas litorales y métodos activos como captura manual y uso de trasmallos, que permitan la captura y extracción de los individuos juveniles de cangrejo rojo americano. También, es necesario controlar la propagación de coberturas vegetales de macrófitas, ya que estas pueden brindar la disponibilidad de hábitat, microhábitats, refugio de los posibles depredadores y recursos alimenticios que puede aprovechar y favorecer la especie.
- Por otro lado, la construcción de una barrera física siguiendo las recomendaciones de Dana et al., 2011 especialmente en los puntos de captación de agua o bocatomas que limiten el acceso de nuevos organismos de *P. clarkii* y de igual forma de peces u otros organismos a la Dársena.

En cuanto a la proporción de machos y hembras colectados en las trampas de control, fue mayor el porcentaje de machos. Esto puede estar influenciado a los comportamientos reproductivos de aislamiento en madrigueras por el que transcurren las hembras durante el desarrollo e incubación de los huevos (Gherardi *et al.*, 2002; Barbaresi et al., 2004). Sumado a esto, el estudio desarrollado por Gherardi *et al.*, 2000, encontró que los machos de *P. clarkii* son más nómadas que las hembras llegando a presentar comportamientos errantes y patrones de movimiento más variados, que van desde picos cortos de locomoción muy activa, cambiar a una velocidad lenta o sin movimiento alguno.

Por otra parte, debido a que hacer la extracción de las hembras en las madrigueras es prácticamente imposible por la profundidad que logran alcanzar (> 60 cm), según lo descrito por Huner & Barr, 1984 y Haubrock et al., 2019. Esto nos indica que se debe dar prioridad a un monitoreo poblacional anual en el que se permita identificar los momentos en que las hembras abandonan las madrigueras para desovar y poder ejercer capturas más intensivas en estas fechas, evitando la liberación de nuevas cohortes poblacionales.

En cuanto a la evaluación de los polígonos muestreados, en el polígono de la cosechadora y polígono del área de bombeo se obtuvo la mayor cantidad de individuos capturados por las trampas de control. Por esta razón, son lugares en donde se deben intensificar los esfuerzos para realizar un proceso de control del cangrejo rojo dentro de la Dársena. Posiblemente factores como la corriente, que han sido identificada como un factor clave para la permanencia de la especie según Kerby et al., 2005, sumado a otras variables como el tipo de locomoción, el proceso de sedimentación y la presencia de macrófitas que les brindan refugio y materia orgánica para su alimentación, pueden ser en conjunto factores que induzca a que en lugares como el polígono de la cosechadora se halle el mayor número de cangrejos y por lo tanto, donde se deba realizar con mayor prioridad el proceso de control.

La trampa Accesotech o trampa cangrejera común, generó el menor registro de organismos en captura incidental en comparación a la Zreal, dado que cuenta con dos entradas, y sus dimensiones pueden facilitar el escape de especies ícticas. Evento que contrasta con lo sucedido con la trampa Zreal, presentando seis entradas y una menor selectividad, y su estructura suele evitar el escape o liberación de otros organismos no objetivo.

Finalmente, respecto a la manipulación e instalación de las trampas en los cuerpos de agua, la trampa Accesotech tienen una mayor practicidad para ser empleada y facilitar el procedimiento de instalación en el cuerpo de agua y la posterior captura de *P. clarkii*, en comparación con la trampa Zreal, puesto que se presentaron dificultades en el proceso de instalación dado que su tamaño y la presencia de macrófitas próximas a las orillas no permitían sumergirla completamente y exigía un mayor esfuerzo durante el muestreo, y aquellas que se cubrían por la vegetación acuática que llegaban por deriva o por el movimiento natural del agua, sufrían serias afectaciones estructurales y funcionales.

Conclusiones

- Se recomienda implementar la trampa Accesotech, como método de captura pasiva, debido a que fue la trampa que presentó la mayor efectividad y el mayor número de organismos capturados de *P. clarkii*, sumado a esto es la trampa que presentó menor número de capturas incidentales, lo que se traduce en un menor impacto en la fauna presente en la Dársena.
- Los esfuerzos para un proceso de control de la especie *P. clarkii* en la Dársena de Tibitoc, deben centrarse en polígono de la cosechadora y polígono del área de

bombeo. Estas zonas se identificaron como las áreas de mayor abundancia de organismos de cangrejo.

- Es necesario el uso de otros métodos de control, como la remoción de macrófitas presentes en la Dársena, ya que estas son utilizadas como refugio y como fuente de alimento por el cangrejo rojo americano en diferentes momentos de su ciclo de desarrollo.
- A partir del retiro o control requerido de las plantas acuáticas se puede coordinar para que los organismos que salgan adheridos a ellas se les realice su respectiva captura y disposición final para que no vuelvan a ingresar al agua.
- El número de trampas es adecuado, pero se puede optimizar su eficiencia al realizar su instalación en las zonas de mayor densidad de *P. clarkii*.
- El tiempo de exposición de 24 horas para las trampas permitió la captura de cangrejos, sin embargo, es recomendable que los periodos de revisión sean más frecuentes entre 6 a 8 horas, para evitar el escape, canibalismo entre los mismos organismos y depredación o muerte de las especies que puedan ser capturadas incidentalmente y que se encuentran en algún grado de amenaza, como la especie registrada *E. mutisii* (Capitán de la sabana) en la Dársena de Tibitoc.

CAPÍTULO 5. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DURANTE EL DESARROLLO DEL PRODUCTO 3.

A continuación, se describen los diferentes aspectos del área de seguridad y salud en el trabajo (SST) relacionados con el personal, formación y capacitación, dotación y Elementos de Protección Personal (EPP), plan de manejo de tránsito, seguimiento a la matriz de riesgos del Proyecto entre otros aspectos, desarrollados durante el periodo comprendido entre el 17 de marzo del 2022 al 17 de junio del 2022 correspondientes con los meses 7, 8, y 9 del contrato durante los cuales se trabajó el Producto tres.

RELACIÓN PERSONAL EN EL PROYECTO

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 un total de 11 personas para los cuales se realiza el pago oportuno y verificación del pago de planillas por parte de contratistas.

Tabla 17. Personal y Seguridad social del proyecto

Rol	Empleado	Anexo
Directora de proyecto	Elisabeth Jiménez Carmona	Ver anexo 4.1
Coordinadora de proyecto	Gina Alexandra Romero Galindo	Ver anexo 4.1
Coordinador de campo	Julián Ricardo Benavides Gil	Ver anexo 4.1
Ingeniero ambiental	Julián David Wilches Moreno	Ver anexo 4.1
Auxiliar tecnóloga de campo	Rosaneth Angarita Gómez	Ver anexo 4.1.
Auxiliar tecnóloga de campo	Valentina Romero González	Ver anexo 4.1
Bióloga	Andrea Catalina Sarmiento Toro	Ver anexo 4.1
Bióloga	Isabella González Gamboa	Ver anexo 4.1
Biólogo	Fabian Leonardo Mesa Roberto	Ver anexo 4.1
Auxiliar SST	Yenny Patricia Silva Uribe	Ver anexo 4.1
Bioóloga	Mabel Giovana Pimiento	Ver anexo 4.1

El desarrollo de las actividades del contrato se dividieron en dos tipos: actividades de oficina y salidas de campo; las actividades administrativas o de oficina fueron desarrolladas por cada uno de los colaboradores desde casa incluyendo las reuniones que fueron realizadas de manera virtual tanto las internas como las de seguimiento por parte de la Empresa de Acueducto de Bogotá y las salidas de campo que son desarrolladas en la planta Tibitoc ya

fueron ejecutadas para un total de tres salidas de campo, durante el periodo del 17 de marzo al 17 de junio de 2022 no se realizaron salidas de campo, sin embargo se desarrollaron por parte de los Biólogos análisis de muestras tomadas en campo hasta el día 01 de junio en laboratorio; posteriormente se continua con actividades netamente administrativas en la elaboración de productos a entregar de acuerdo al plan de trabajo del contrato.

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 (Ver Anexo 4.2. Registro de formación y capacitación):

Tabla 18. Capacitaciones realizadas desde el área de Seguridad y Salud en el Trabajo

No .	Fecha	Temas	Dr (ha)	Asistentes	Responsable
1	30/03/2022	Control del Fuego (Brigadistas)	1 hora	5	Patricia Silva Uribe
2	22/04/2022	Trabajo en Equipo	1 hora	10	Patricia Silva Uribe
3.	13/05/2022	Comunicación Asertiva y Resolución de Conflictos	1 hora	10	Patricia Silva Uribe
4	23/05/2022	Pausas Activas y Calistenia	1 hora	10	Patricia Silva Uribe
5	17/06/2022	Riesgo Cardiovascular	1 hora	8	Patricia Silva Uribe

Entrega de Dotación y Elementos de Protección Personal

Teniendo en cuenta que a la fecha del periodo se finalizó salidas de campo y se continuó con actividades de análisis de muestras tomadas en el laboratorio, se realiza la entrega de tapabocas N95 al personal que se encuentra en esta actividad finalizada el 01 de junio de 2022.

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

Tabla 19. Relación entrega de elementos de protección personal (EPP).

DESCRIPCIÓN DE EPP	CANTIDAD
Tapabocas N95	32

El soporte de entrega de dotación se realiza en su respectivo formato establecido por la compañía. (Ver Anexo 4.3. Entrega de EPP).

CARACTERIZACIÓN DE ACCIDENTALIDAD

Por accidentes e incidentes de trabajo

A la fecha, el proyecto no se reportó 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 4.4. Certificado AT y EL

Por otras causas de origen no laboral

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

Protocolos de bioseguridad para mitigar pandemia Covid-19

Se realizó seguimiento a condiciones de salud del personal (Ver. Anexo 4.5. SEGUIMIENTO A SINTOMAS COVID19) y entrega del tapabocas N95 para el personal que trabajó en laboratorio, teniendo en cuenta que ya finalizó actividades de campo.

Para el desarrollo de actividades en laboratorio se hace uso del tapabocas N95 y cumplimiento al protocolo de Bioseguridad establecido por el laboratorio.

Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S. realizó reuniones ordinarias en los meses marzo, abril y mayo del COPASST

Ver Anexo 4.6. COPASST

Comité de Convivencia Laboral

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S. en el mes de mayo realizó reunión ordinaria del comité de convivencia laboral

Ver Anexo 4.7. COCOLA

SEGUIMIENTO MATRIZ DE RIESGOS

Para el periodo del 24 de marzo al 17 de junio de 2022 el seguimiento y gestión de riesgos del Proyecto muestra que de los (87) riesgos establecidos en la matriz, (63) se encuentran en seguimiento (Correspondiente a los relacionados con la ejecución y etapas postcontractuales), (22) se encuentran cerrados (correspondientes a la parte contratación,

ejecución y planeación) y dos materializados cerrados de mayor incidencia en la ejecución del contrato

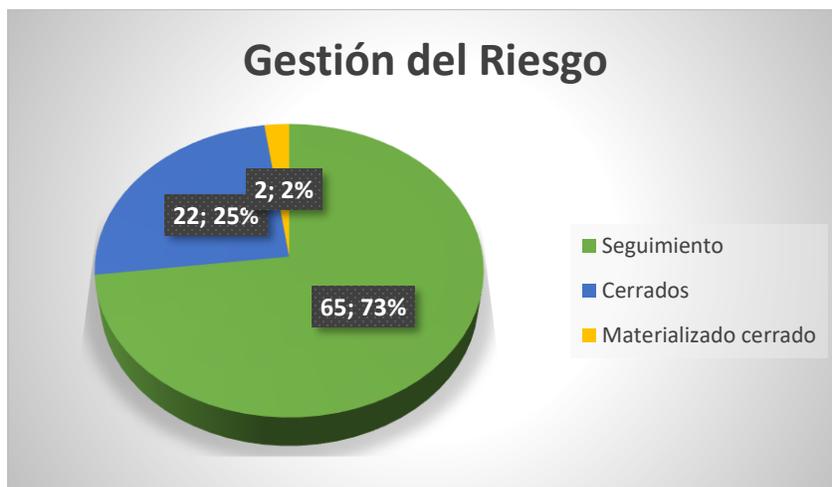


Figura 76. Estado de Gestión del riesgo

A continuación, se presentan los riesgos materializados durante la ejecución del contrato:

-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 se materializó en el mes de mayo con un caso positivo y en el mes de enero de 2022 por un contacto estrecho fuera del sitio de trabajo.

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S continúa realizando Trabajo desde casa, para el periodo del presente informe teniendo en cuenta que para la fecha ya se han realizado las salidas de campo; sin embargo, al personal técnico (Biólogos) se realiza la entrega de los elementos de protección personal (Mascarilla N95) para hacer uso de este dentro del laboratorio, actividad finalizada el 01 de junio de 2022.

Fila 96, riesgo 62. Atraso en la ejecución de las actividades de acuerdo con el cronograma de actividades y al Project. Este riesgo se materializó 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 salió a tiempo y por lo tanto antes de incurrir en atrasos en la ejecución del proyecto, se tomó la decisión de suspender el contrato como medida preventiva.

Se hace aclaración que la CAR hizo una actualización de su página web el 3 de mayo del 2021 (tres meses después de haber iniciado el trámite de solicitud del permiso). En esta aclaración modifican los tiempos para otorgar los permisos de recolección, los cuales pueden tardar hasta 330 días.

Finalmente, la CAR responde el día 3 de noviembre de 2021 (ocho meses después de haber iniciado el trámite de solicitud del permiso); en dicha respuesta indican que no se

requiere el permiso por ser el cangrejo rojo americano una especie exótica, por lo que se reactiva contrato.

Ver Anexo 4.8. Matriz de riesgos del contrato

Conclusiones

- Se realizó capacitación al personal como medidas de prevención y control de accidentes y enfermedades laborales
- Se hace entrega de tapabocas N95 en cumplimiento de protocolo de Bioseguridad asegurando su respectiva entrega
- Durante el desarrollo del contrato no se presentaron accidentes o enfermedades laborales generadas de las actividades objeto de contrato.
- Se evidencia receptividad de los colaboradores en las 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.

CAPÍTULO 6. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”.

PERMISO DE RECOLECCIÓN

Como parte del seguimiento al permiso para el producto tres, a organización radico bajo No 20221020362 del 15 de marzo de 2022, ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, oficio de solicitud de cierre al expediente No 86292 el cual fue abierto en el proceso de solicitud del permiso de recolecta, el cual fue negado por la entidad por las razones expuestas en el considerando de la Resolución DJUR No 50217001210 de 3 de noviembre de 2021.

Respuesta a este comunicado el 4 de abril de 2022, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, por medio del Auto DRSC No 09226001035 remitió a la Organización el cierre del expediente abierto en el trámite del permiso, con lo anterior, se subsana todo proceso ante la autoridad ambiental respecto al proyecto.

El auto se adjunta a este documento como Anexo 5.1 Cierre de Expediente.

PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

De acuerdo con lo establecido en el plan de gestión, los residuos peligrosos que se generaron fueron principalmente residuos biológicos producto del trabajo en laboratorio por las disecciones realizadas a los cangrejos capturados, junto con material contaminado como wypall y guantes de nitrilo.

La gestión de los residuos biológicos se realizó a través de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia -UPTC, donde por medio del gestor autorizado por la universidad hace la recolección de los residuos proveniente de los laboratorios y otras zonas de la institución académica. Es por lo anterior, que para el proyecto se va a contar con el certificado total de los residuos peligrosos generados y no se podrá contar con un certificado específico para la organización.

La empresa gestora de los residuos peligrosos que trabaja con la UPTC se llama Empresa Regional para el Manejo de Residuos – EMIR S.A. E.S.P., los documentos que avalan el cumplimiento legal ambiental de esta empresa fueron relacionados en el producto 2, por tal motivo no se relacionan en este documento. En cuanto a los certificados de disposición la Universidad hizo entrega de los documentos correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo, donde se puede verificar la gestión de los residuos peligrosos generados en las actividades realizadas en el laboratorio, estos certificados se relacionan en el Anexo 5.2 Certificados disposición.

Tabla 20. Relación de residuos peligrosos generados vs certificados Fuente. OLFRSI, 2022

Mes de Generación	Cantidad generada (Kg)	Fecha Recolección	Fecha Certificado	Cantidad certificada (Kg)	Número certificado
Diciembre y Enero	1	31 de enero de 2022	08 de febrero de 2022	12	8685
Febrero	2,5	28 de febrero de 2022	13 de mayo de 2022	85	9547
Marzo	2	31 de marzo de 2022	11 de abril de 2022	189	9314

Los residuos generados en las actividades de investigación en el laboratorio de la UPTC para los meses de diciembre y enero están incluidos dentro del certificado No 8685 (Tabla 20), esto se debe a que la empresa EMIR hizo la recolección después de las fechas de fin de año al no encontrarse personal de la universidad en las instalaciones.

Los certificados se generaron por parte de la empresa EMIR hacia la UPTC de manera total de la cantidad de los residuos peligrosos generados por la universidad, es decir, en estos certificados se ven reflejados los residuos de todas las áreas o dependencias de la universidad que generan residuos peligrosos, por tal motivo no se puede contar con un certificado específico para las actividades realizadas por el proyecto en el laboratorio. Respecto a los residuos peligrosos generados en los meses de abril y parte de mayo, la organización no va a poder contar con estos certificados, debido a que la empresa EMIR se encuentra sin contrato actualmente con la universidad y por el tema de elecciones y ley de garantías no han podido realizar la recolección de estos residuos, los cuales están almacenados en la universidad, para cuando reactiven el contrato el proyecto del cangrejo ya habría terminado por lo que no se puede acceder a esta información.

Por otro lado, se hace entrega de los formatos de seguimiento a los residuos generados el caso de los residuos sólidos, aprovechables y peligrosos durante marzo - abril y abril - mayo, esta información se encuentra en el Anexo 5.3 Formatos Residuos.

para el periodo evaluado que hace parte del producto 3, los residuos peligrosos generados fueron en total 3 kg de residuo biológico y material contaminado, esto respecto a los residuos generados en el laboratorio y de los cuales no se va a poder hacer trazabilidad.



Figura 77. Registro fotográfico de la recolección de residuos generados en el laboratorio de la UPTC.

LITERATURA CITADA

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

Alcorlo, P., Geiger, W. y 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. y 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.

Álvarez-León, R. y 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.

Aly, W., El-Far, A., Fetouh, M.A. (2020). Some Fisheries and Biological Aspects of the Crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in the River Nile, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 24(4): 33 – 42

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. y 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>.

APHA, 2018. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, DC.

Arias-Pineda, J. Y. A., y 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., 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. y Castillo, N.S. (2020). Diferencias morfológicas entre dos poblaciones de cangrejo rojo *Procambarus (Scapulicambarus) clarki* (Crustacea, Decapoda, Cambaridae). *The Biologist*, 18(2), 213-222.

Avecillas Arellano, L. A. (2013). *Caracterización físico químico del Estero Salado entre el puente de la avenida Kennedy y el Puente 5 de junio efectuado en el período agosto-octubre del año 2012* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).

Baird, RB, Eaton, AD y Clesceri, LS (2012). Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales (Vol. 10). Rice EW (Ed.). Washington, DC: Asociación Estadounidense de Salud Pública.

Balbontín, F., Llanos, A., & Valenzuela, V. (1997). Sobreposición trófica e incidencia alimentaria en larvas de peces de Chile central. *Rev. Chil. Hist. Nat*, 70, 381-390.

Baptiste, M. P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez F. P., Gil, D. L. y 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., 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.

Barriga-Rodriguez, J. A. (2019). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia. Trabajo de grado para optar por el título de Ecóloga. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y Rurales Carrera de Ecología Bogotá D.C. 2019. 136 pp.

Beroiz Remírez, B. (2004). Caracterización morfológica y genética de las poblaciones españolas de cangrejo de río "Austropotamobius pallipes" (Lereboullet, 1858) mediante el uso de marcadores moleculares. Tesis, Departamento de genética, Universidad Complutense de Madrid, España.

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

Bondar, C. A., Bottriell, 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.

Callejas Caraballo, J. P. y 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. y 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.

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

Carvalho, G. O. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, 23(12), 15-21.

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.

Castro, D., & Pinilla, G. (2017). 4.2. Índice de diatomeas perifíticas para evaluar la calidad del agua en los humedales distritales bogotanos (IDHB) Periphytic diatoms index to evaluate the water quality of the Bogotá District wetlands. *Estudios Ecológicos en Humedales de Bogotá*.

Chaves, M. L. D. L. M. (2014). Dinámica del macrozooplancton de una laguna temporaria subsalina del valle argentino (La Pampa, Argentina) en ausencia de depredación por peces. Tesis pregrado, Facultad de ciencias exactas y naturales, Universidad Nacional de la pampa, Argentina.

Chucholl, C. (2013). Feeding ecology and ecological impact of an alien "warm-water" omnivore in cold lakes. *Limnologia - 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-río>

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/nat2000news1/nat25_es.pdf

Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas*, 13(2): 23-29.

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

Correa, L. E. A. (2015). Alcalinidad del agua-río Tenguel. Asociación Comunitaria Minera Corralitos en el área de explotación. Caso de estudio Ecuador. *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*. ISSN, 1988, 5245.

Cruz, M. J, y Rebelo, R. (2007). 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. y Saavedra, G. (2009). Histología gonadal de la langosta *Panulirus argus*. *Revista de Investigaciones Marinas*, 30(3), 215-225.

Daza Buhezo, H. (2019). Estudio bacteriológico del agua en las unidades dentales durante los meses octubre-diciembre, Abancay, 2018.

Delsinne, T., Lafontaine, R.M., Beudels, R.C. y 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.

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_CONSERVACION_CANGREJO_RIO_COMUN_2010.pdf/972d525a-006c-a412-434d-4802571f5948

Diéguez-Uribeondo, J., Huang, T.S., Cerenius, L. y 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.

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.

Echenique, R.O., Núñez-Avellaneda, M. y Duque, S.R. 2004. Chlorococcales de la Amazonia colombiana I: Chlorellaceae y Scenedesmaceae. *Revista Caldasia* 26(1): 37-51.

Edwards, B. A., Jackson, D. A., & Somers, K. M. (2015). Evaluating the effect of lake calcium concentration on the acquisition of carapace calcium by freshwater crayfish. *Hydrobiologia*, 744(1), 91-100.

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

Fernández-Cardenete, J.R., Hernández-Gómez, J., Benavides, J. (2013). Un caso de depredación de *Procambarus clarkii* sobre *Pelophylax perezii* no larvaria. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 24 (2): 68-70.

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.

Flórez-Brand, P. E. y 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>

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

García, L. M. G., & Íñigo, I. L. (2014). Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras: *Ludwigia. Quercus*, (345).

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

Gayon, J. (2000). History of the concept of allometry. *American zoologist*, 40(5), 748-758.

Geiger, W., Alcorlo, P., Baltanás, A., y Montes, C. (2005). Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. *Biological Invasions* 7, 49–73.

Gherardi, F., y 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., y 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. (2006). Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39(3), 175-191.

Gherardi, F., Tricarico, E., y 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.

Gherardi, F., & Micheli, F. (1989). Relative growth and population structure of the freshwater crab, *Potamon potamios palestinesis*, in the Dead Sea area (Israel). *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 36(3-4), 133-145.

Gonçalves-Loureiro, T., Anastácio, P.M., Siqueira-Bueno, S.L., Wood, T., y 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.

González-Gamboa, I., González-Ruiz, Y. de los Ángeles, y Herrera-Martínez, Y. (2022). Primer reporte de *Ramphocorixa rontundocephala* como epibionte de cangrejo rojo

de río (*Procambarus clarkii*) en Colombia. *Ecosistemas*, 31(2), 2280.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2280>

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. and Niño A.E., 1996. Ecology of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) in the central meseta of Spain. *Freshw. Crayfish*, 8, 179-200.

Gutiérrez-Yurrita, P. J., Sancho, G., Bravo, M.A., Baltanas, A., y 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>.

Gutiérrez-Yurrita, P.J., M.A. Bravo-Utrera, J.R. Jordá, A. Baltanás y C. Montes. (1994). Análisis preliminar de la tasa metabólica estándar en el cangrejo rojo, *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae), en el Bajo Guadalquivir (S. España). *Limnetica* 10(1): 123-128.

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., Bendoni, 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. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09674-3>

Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58, 3-37.

He, M., Liu, F., & Wang, F. (2021). Quantitative analysis of density dependent resource utilization, cannibalism, and competition of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in rice-crayfish cocultures without supplementary food. *Aquaculture*, 543, 736966. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736966>

Hernandez-Vergara, P. (1996) efecto de dietas isoproteínicas en el crecimiento del cangrejo rojo de río, *Procambarus clarkii*. En condiciones experimentales, en Manzanillo, Colima, Mexico INP. SEMARNAP. *Ciencia pesquera No 12*.

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*. Editorial Oxford: Blackwell Science., pp. 125-138.

Huner, J. V. (1978). Crawfish population dynamics as they affect production in several small, open commercial crawfish ponds in Louisiana. In Proceedings of the annual meeting-World Mariculture Society (Vol. 9, No. 1-4, pp. 617-640). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

Huner, J. V., Barr, J. E., y 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. y 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>

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., y Edwards, D. H. (1999). Dominance hierarchy formation in juvenile crayfish *Procambarus clarkii*. Journal of Experimental Biology, 202(24), 3497-3506.

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. Departamento de Química Analítica. Universidad de Sevilla. España.

Kerby, J. L., Riley, S. P. D., Kats, L. B., y 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(3), 402-409.

Lange, S., y 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. R., y Olden, J. D. (2016). Field sampling techniques for crayfish En Longshaw, M y Stebbing, P (Eds.), Biology and ecology of crayfish (1 ed, 287, pp. 38). CRC Press.

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>.

Lodge, D. M., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D. C., Arcella, T., Baldrige, A. K., y 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.

López, L. S., & Rodríguez, E. M. (1999). Annual reproduction and growth of adult crabs *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Brachyura, Grapsidae). *Cahiers de Biologie Marine*, 40(2), 155–164.

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. *Limnologica* 79, 125717.

Loureiro, T. G., Anastácio, P. M., Bueno, S. L. de S., y Araujo, P. B. (2018). Management of invasive populations of the freshwater crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae): test of a population-control method and proposal of a standard monitoring approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 559. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6942-6>.

Manfrin, C., Souty-Grosset, C., Anastácio, P. M., Reynolds, J., y Giulianini, P. G. (2019, January 1). Detection and control of invasive freshwater crayfish: From traditional to innovative methods. *Diversity*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/d11010005>.

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.

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

Matute González, C. A. (2017). Evaluación de la calidad bacteriológica del agua potable en la parroquia urbana San Lorenzo en el Cantón Jipijapa (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas).

MEA, Millenium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and Human Well-being. Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington D.C. 100p.

Medina, M., Espinoza, Y., 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).

Mcneely, J. A. Mooney, H. A. Neville, L. E. Schei, P. & Waage J. K. (eds). 2001. A global strategy on invasive aline species. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, U.K., in collaboration with the Global Invasive Species Programme. X + 50pp.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015) Decreto 1076 de 2015 (MADS). Departamento administrativo de la función pública.

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

Mistri, M., Sfriso, A., Sfriso, A. A., y 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): 142-153

Morales, J. J., Lizana, M., y Acera, F. (2004). Ecología trófica de la nutria paleártica *Lutra lutra* en el río Francia (Cuenca del Tajo, Salamanca). *Galemys*, 16(2), 57-77.

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

Moyle, P. B., y 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.

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

Nyhlén, L., y 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.

Oliva Paterna, F. J. (2008). Biología y conservación de *Aphanius iberus* (Valenciennes, 1846) en la Región de Murcia. 168-266 pp.

Organización Mundial de la Salud (OMS), 2018, Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum], Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

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

Pachón, Y., y Valderrama, M. (2019). Anotaciones al estado, uso y gestión de la langostilla roja *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii*, especie invasora en la laguna de Fúquene (Cundinamarca, Colombia).

Palma, A., Figueroa, R., Ruiz, V. H., Araya, E., & Berríos, P. (2002). Composición de la dieta de *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) (Pisces: Salmonidae) en un sistema fluvial de baja intervención antrópica: Estero Nonguén, VIII Región, Chile. *Gayana (Concepción)*, 66(2), 129-139.

Patiño, Y. P., y 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.

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.

Peruzza, L., Piazza, F., Manfrin, C., Bonzi, L. C., Battistella, S., y Giulianini, P. G. (2015). Reproductive plasticity of a *Procambarus clarkii* population living 10 C below its thermal optimum. *Aquatic Invasions* 10(2): 199-208.

Peña, J. C. (1994). Morphometric relationships and yield in Costa Rican *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae). *Revista de biología tropical*, 743-744.

Pineda, J. Y. A. y 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

Pirela, R. & Rincón J., (2013). "Studies on Freshwater Decapods in Latin America" Ingo S. Wehrmann & Raymond T. Bauer (Guest Editors) DOI: 103856/vol41-issue4-fulltext-6

Pullés, M. R. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1), 25-36.

Ramírez, D. F., Talero, G. M., & López, R. H. (2013). Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. Cajicá-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 205-214.

Re-Araujo, A. D., y 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.

Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 191, 1-382.

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, C. F., Bécares, E., y 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.

Rodríguez-González, H., Hernández-Llamas, A., Villarreal, H., Saucedo, P. E., García-Ulloa, M., y 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. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.10.020

Roldan G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Vol. 15). Universidad de Antioquia.

Ryding, S., & Rast, W. (1989). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ed. Pirámide. Madrid, España. 1992.

Sánchez-Saavedra María del Pilar, Re-Araujo Ana Denise y Voltolina Domenico. (1993) Tasa de crecimiento y contenido estomacal en una población natural de *Procambarus clarkii* (Crustacea: Cambaridae) de Baja California, México 1993., Rev. Biol. Trop., 41 (3): S91-S97, 1993

Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., & Sánchez, M. (2004). *Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela.* Revista de la sociedad venezolana de microbiología, 24(1-2), 46-49.

Silva, J. S. D. (2012). *Estudo a longo prazo da assembleia de Chironomidae em lagos rasos.* Tesis de maestría. Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Universidade Federal do Rio Grande. Brasil.

Souty-Grosset, C., Reynolds, J., Gherardi, F., Aquiloni, L., Coignet, A., Pinet, F., y 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.

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.

UNGRD (15 de marzo de 2022). Inicia de manera oficial 1ª temporada de lluvias del 2022 en el país. Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2022/Inicia-de-manera-oficial-1a-temporada-de-lluvias-del-2022-en-el-pais.aspx>

Veroli, M., Martinoli, M., Caprioli, R., Angelici, C., Pulcini, D., Capoccioni, F. (2021). Population structure and dynamics of the invasive *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in a Tiber river Ramsar site, Central Italy. *International Journal of Aquatic Biology*, 9(1): 23-32.

Vesely, L., Ruokonen, T.J., y 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>.

Villafañe, V.E. & F.M.H. Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. Págs. 169-185 en: K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar. (ed). *Manual de métodos ficológicos.* Concepción, Chile.

Wang, Q., Yang, J. X., Zhou, G. Q., Zhu, Y. A., & Shan, H. (2011). Length–weight and chelae length–width relationships of the crayfish *Procambarus clarkii* under culture conditions. *Journal of Freshwater Ecology*, 26(2), 287-294.

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.

Yu, J., Xiong, M., Ye, S., Li, W., Xiong, F., Liu, J., & Zhang, T. (2020). Effects of stocking density and artificial macrophyte shelter on survival, growth and molting of juvenile

red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) under experimental conditions. *Aquaculture*, 521, 735001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735001>