

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

PRODUCTO 2



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

Contenido

“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”: PRODUCTO 2.	34
INTRODUCCIÓN.....	34
CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LA DÁRSENA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE TIBITOC.....	36
Datos históricos de la calidad del agua	38
Datos tomados <i>in situ</i>	39
Actividades de campo.....	39
Descripción y comparación de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos para los dos primeros muestreos.....	40
Grasas y Aceites.....	41
Alcalinidad	41
pH.....	42
Aluminio total.....	42
Calcio.....	43
Magnesio Total	43
Dureza Cálcica.....	44
Dureza total	44
Carbonatos	45
Carbono orgánico	45
Carbono inorgánico.....	46
DBO ₅	47
DQO.....	47
Cianuro libre	48
Cianuro total	48
Cloruros.....	48
Color Real.....	49
Fósforo total.....	49
Fosforo soluble	50
Hierro total	50
Manganeso.....	51
Nitratos	52
Nitritos	52

Nitrógeno Amoniacal.....	53
Nitrógeno Kjeldahl	53
Nitrógeno total.....	53
Sodio.....	54
Sílice	54
Sulfatos	55
Turbiedad.....	55
Sólidos Sedimentables	56
Temperatura ambiente y del agua.....	56
Parámetros Microbiológicos.....	57
Comunidades Hidrobiológicas.....	57
Fitoplancton	57
Zooplancton.....	58
Macroinvertebrados.....	59
Macrófitas	60
CONCLUSIONES.....	61
CAPÍTULO 2. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	
<i>(Procambarus clarkii)</i>	
INTRODUCCIÓN.....	62
MÉTODOS.....	62
DENSIDAD POBLACIONAL.....	62
Diferenciación sexual.....	67
Estructura de Tallas	76
DISCUSIÓN.....	78
ASPECTOS REPRODUCTIVOS	79
Índice gonadosomático:.....	80
Índice hepatosomático IHS:	81
Resultados.....	82
Conteo de huevos	83
Índice de maduración.....	83
Resultados.....	84
DISCUSIÓN.....	87
CONCLUSIONES.....	88

DIETA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO	88
Coeficiente de vacuidad (CV)	91
Frecuencia de ocurrencia (FO)	91
Frecuencia numérica (FN)	92
Índice de Importancia Relativa (IIR)	94
Resultados.....	96
DISCUSIÓN.....	101
CONCLUSIONES.....	102
RELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS CON EL CANGREJO ROJO AMERICANO.	103
DISCUSIÓN.....	105
CONCLUSIONES.....	106
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL SELECCIONADOS PARA EL CANGREJO ROJO AMERICANO.	107
INTRODUCCIÓN.....	107
Diferencias morfométricas por muestreo.....	110
Diferencias morfométricas por tipo de trampa	112
Eficiencia de los Métodos de Captura.....	116
Organismos en Captura Incidental	118
Análisis estadísticos.....	122
DISCUSIÓN.....	123
CONCLUSIONES.....	124
CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”	125
Relación del Personal en el Proyecto	125
Formación y Capacitación.....	126
Inducción General	128
Entrega de Dotación y Elementos de Protección Personal (Epp)	128
Caracterización de Accidentalidad	130
Por Accidentes e Incidentes de Trabajo	130
Por otras causas de origen no laboral	130
Protocolos de Bioseguridad para Mitigar la Pandemia COVID-19	130
Atención a Emergencias.....	131

Comité Paritario De Seguridad Y Salud En El Trabajo	133
Comité de Convivencia Laboral	134
Campamento, Suministro de Agua y Saneamiento Básico	134
Inspección de Seguridad.....	135
Plan de Manejo de Transito	137
Seguimiento Matriz de Riesgos.....	137
CONCLUSIONES.....	139
CAPÍTULO 5. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”	140
Permiso de Recolección.....	140
Plan de Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos	140
LITERATURA CITADA	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc. Distribución del diseño metodológico para la captura del cangrejo rojo americano en los polígonos de monitoreo; (polígono 1: cerca a zona de succión; Polígono 2: Bocatoma norte entrada del río Bogotá; Polígono 3: zona de cosechadora).....	37
Figura 2. Comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos del año 2011 al 2021. Fuente: EAAB-ESP.	38
Figura 3. Toma de datos Fisicoquímicos in situ.	39
Figura 4. Medición del parámetro grasas y aceites durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	41
Figura 5. Medición del parámetro Alcalinidad durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	42
Figura 6. Medición del parámetro pH durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	42
Figura 7. Medición del parámetro Aluminio total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	43
Figura 8. Medición del parámetro Calcio durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	43
Figura 9. Medición del parámetro Magnesio total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	44
Figura 10. Medición del parámetro Dureza cálcica durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc	44
Figura 11. Medición del parámetro Dureza total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc	45
Figura 12. Medición del parámetro Carbonatos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	45

Figura 13. Medición del parámetro Carbono orgánico durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	46
Figura 14. Medición del parámetro Carbono inorgánico durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	46
Figura 15. Medición del parámetro DBO ₅ durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	47
Figura 16. Medición del parámetro DQO durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	47
Figura 17. Medición del parámetro Cianuro libre durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	48
Figura 18. Medición del parámetro Cianuro total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	48
Figura 19. Medición del parámetro Cloruro durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	49
Figura 20. Medición del parámetro Color real durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	49
Figura 21. Medición del parámetro Fósforo total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	50
Figura 22. Medición del parámetro Fósforo soluble durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	50
Figura 23. Medición del parámetro Hierro durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	51
Figura 24. Medición del parámetro Manganeseo durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	51
Figura 25. Medición del parámetro Nitrato durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	52
Figura 26. Medición del parámetro Nitritos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	52
Figura 27. Medición del parámetro Nitrógeno amoniacal durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	53
Figura 28. Medición del parámetro Nitrógeno Kjeldahl durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	53
Figura 29. Medición del parámetro Nitrógeno total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	54
Figura 30. Medición del parámetro Sodio durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	54
Figura 31. Medición del parámetro Sílice durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	55
Figura 32. Medición del parámetro Sulfatos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	55
Figura 33. Medición del parámetro turbiedad durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	56
Figura 34. Medición del parámetro Sólidos sedimentales durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	56
Figura 35. Medición del parámetro Temperatura del ambiente y del agua durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	57

Figura 36. Fitoplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Ceratium sp.; B: Desmodesmus sp. C: Eudorina sp. D: Eunotia sp. E: Melosira sp. F: Aulacoseira sp. Fuente: ANASCOL 2022.....	58
Figura 37. Zooplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Arcella sp.; B: Brachionus sp. C: Keratella sp. D: Euglypha sp. E: Philodina sp. F: Bullinularia sp. Fuente: ANASCOL 2022.....	59
Figura 38. Macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas colectados durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Chironomus sp.; B: Physa sp. Fuente: ANASCOL 2022.	60
Figura 39. Macrófitas registradas durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: Juncus effusus; B: Ludwigia sp. Fuente: ANASCOL 2022.	61
Figura 40. Detalle del cebo usado para la captura del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	63
Figura 41. 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, útiles en el proceso de transferencia de espermátóforos a las hembras, en el círculo azul se observan los ganchos copuladores.....	67
Figura 42. Registro fotográfico de cada uno de los estados de madurez de las hembras de <i>P. clarkii</i> colectados en la Dársena Tibitoc. (a) hembras inmaduras. (b) Cavidad vacía, hembra sin huevos. (c) Hembra con huevos internos presentes (área señalada). (d) Hembra con huevos externos.	68
Figura 43. Registro fotográfico de la presencia de ganchos en los machos de <i>P. clarkii</i> , categoría de madurez F2.....	69
Figura 44. Número de individuos de <i>P. clarkii</i> por categoría de madurez colectados en la Dársena Tibitoc. (a) resultados del muestreo N°1 (43 individuos). (b) resultados del muestreo N°2 (88 individuos). Pol_1: Polígono cerca al área de succión; Pol_2: Polígono cerca al área de Bocatoma; Pol_3: Polígono cerca al área de Cosechadora.	70
Figura 45. 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).	71
Figura 46. 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-Muestreo 1, M2-Muestreo 2) y en la parte inferior los individuos se compararon por polígono de muestreo (P1-Polígono 1, P2-Polígono 2, P3-Polígono 3).....	72
Figura 47. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso del cangrejo rojo americano sin tenazas: a: Primer muestreo, b. Segundo muestreo.....	74
Figura 48. Relación de la longitud del cefalotórax Vs el peso del cangrejo sin tenazas: a: Hembras y machos del primer muestreo, b. Hembras y machos del segundo muestreo.	75
Figura 49. Histograma de intervalos de tallas de <i>Procambarus clarkii</i> en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, por campaña de muestreo.....	77
Figura 50. Proceso de disección y extracción de gónadas y hepatopáncreas de <i>P. clarkii</i> en el laboratorio de la UPTC. Fuente: Mabel Pimiento.....	80
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.	80

Figura 52. IGS (índice gonadosomático) de <i>Procambarus clarkii</i> por muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. (a) Hembras. (b) Machos. M 1: Muestreo N°1; M 2: Muestreo N°2.....	81
Figura 53. Proceso de disección y extracción de hepatopáncreas de <i>P. clarkii</i> colectados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.	82
Figura 54. Coloración de las gónadas de las hembras de <i>P. clarkii</i> colectadas en Dársena de Tibitoc. (a.) K1 – Gónadas blancas; (b.) K2 – Gónadas amarillas; (c.) K3 – Gónadas naranjas. (d.) K4 – Gónadas cafés.....	84
Figura 55. 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 1 y 2.	85
Figura 56. Promedio de huevos internos, de las hembras colectadas en Dársena de Tibitoc durante los dos muestreos.	86
Figura 57. Número de hembras de <i>Procambarus clarkii</i> por estado K de maduración de los huevos internos por cada polígono.	86
Figura 58. Cebo (alimento procesado para felino) empleados en la captura de cangrejos para el análisis de contenidos estomacales y trampas Accesotech.	89
Figura 59. Principales ítems alimentarios A. Tejido Vegetal, B. Detritos, C. Tejido Animal	91
Figura 60. Presas más abundantes identificadas en los estómagos del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc: A: <i>Ankistrodesmus</i> sp.; B: <i>Aphanothece</i> sp.; C: <i>Eunotia</i> sp.; y D: <i>Chironomidae</i> sp. Fuente: F. Mesa.	93
Figura 61. Frecuencia numérica y total de presas identificadas en los dos muestreos; a: Muestreo N° 1, b: Muestreo N° 2 y c: Total.....	98
Figura 62. Representación gráfica del análisis de componentes principales aplicado a los 14 parámetros fisicoquímicos y cuatro variables biológicas del cangrejo rojo americano. Total_ind: total de individuos, Mach: machos, Hem: hembras y Den: densidad por cada muestreo, Alc: Alcalinidad; DBO: Demanda Biológica de Oxígeno; DQO: Demanda Química de Oxígeno; T°_Amb: temperatura ambiente; Turb: Turbiedad; Na: Sodio total; COT: Carbono Orgánico total; Ca: Calcio total; Dur_Ca: Dureza cálcica; Cl: Cloro total; Dur_Tot: Dureza total; T°_Mue: Temperatura de la Muestra; Cond: Conductividad, Sulfatos.....	105
Figura 63. a: Trampa Accesotech cangrejo b: Trampa Zreal.....	108
Figura 64. Diseño de muestreo en campo con trampas Zreal y Accesotech para realizar control poblacional de la especie de cangrejo rojo americano <i>Procambarus clarkii</i> . Fuente: Elaboración propia.....	109
Figura 65. 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.	110
Figura 66. 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.	110
Figura 67. Mediciones morfométricas de individuos <i>P. clarkii</i> colectados en trampas de control para los dos muestreos. a Valores de peso de los organismos completos, b : Valores de longitud del cefalotórax, y c : Valores de longitud total de los organismos....	112
Figura 68. Mediciones morfométricas de individuos <i>P.clarkii</i> por tipo de trampa en muestreo 1: a : Valores de peso de los organismos completos, b : Valores de longitud del cefalotórax, y c : Valores de longitud total de los organismos.....	113

Figura 69. Mediciones morfométricas de individuos <i>P. clarkii</i> por tipo de trampa en muestreo 2: a Valores de peso de los organismos completos, b : Valores de longitud del cefalotórax, y c : Valores de longitud total de los organismos.....	115
Figura 70. 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.	118
Figura 71. Número de organismos en captura incidental en 120 trampas según tipo de trampa de los dos muestreos realizados.....	119
Figura 72. Número de organismos colectados en captura incidental en las 60 trampas de control según tipo de trampa en cada uno de los polígonos y muestreos realizados	120
Figura 73. Número de organismos colectados en captura incidental en trampas efectivas para captura de cangrejo en primer y segundo muestreo.	121
Figura 74. 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: <i>Oreochromis</i> sp. (Tilapia), f: <i>Cyprinus carpio</i> (Carpa).....	122
Figura 75. Charlas y capacitaciones durante las jornadas de campo.....	128
Figura 76. Entrega de Dotación y EPP's al personal del Proyecto.	130
Figura 77. Señalización referente al Protocolo de Bioseguridad	131
Figura 78. Elementos de atención de emergencias y personal de la Brigada de Emergencias.....	132
Figura 79. Simulacro de emergencia realizado durante la tercera salida de campo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.....	133
Figura 80. Campamento, elementos de emergencia y saneamiento básico.....	135
Figura 81. Inspecciones de seguridad.	136
Figura 82. Estado de Gestión del riesgo	137
Figura 83. Entrega de residuos sólidos y peligrosos producidos en el laboratorio de la UPTC.....	142

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de variables in situ, medidas en los polígonos por muestreo; P1: Polígono 1, P2: Polígono 2 y P3: Polígono 3; M1 primer muestreo diciembre de 2021, M2: segundo muestreo enero de 2022.	40
Tabla 2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y densidad poblacional por muestreo, polígono y trampa. Datos obtenidos a partir de N° cangrejos/trampa y N° cangrejos colectados/polígono.	64
Tabla 3. Número de individuos de <i>Procambarus clarkii</i> colectados por muestreo y por objetivo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Los datos con \pm reflejan el promedio con la desviación estándar. ACC: Trampa Accesotech, ZRE: Trampa Zreal.....	65
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.	73
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.....	82

Tabla 6. Promedios de longitud y numero de machos y hembras a las cuales se les realizó análisis de contenidos estomacales.....	90
Tabla 7. Coeficiente de vacuidad para el primer y segundo muestreo.....	91
Tabla 8. Porcentaje de frecuencia de ocurrencia para cada ítem alimentario, determinados en los dos muestreos.....	92
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.	93
Tabla 10. Índice de Importancia Relativa para los dos muestreos.....	95
Tabla 11. Estadística descriptiva para los principales ítems alimentarios para los dos muestreos.	96
Tabla 12. Índice de Shanon-Weiner para comparar la riqueza de presas consumidas por P. clarkii entre los dos muestreos y entre machos y hembras.....	97
Tabla 13. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los dos muestreos.	99
Tabla 14. 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.	100
Tabla 15. Presas compartidas entre el análisis de comunidades hidrobiológicas y morfoespecies identificadas en los contenidos estomacales. M1: muestreo 1; M2: muestreo 2; CE: contenido estomacal; CH: comunidades hidrobiológicas.....	101
Tabla 16. Eigenvalores aplicados a las variables fisicoquímicas en los dos muestreos ..	103
Tabla 17. Valores y porcentaje de varianza de los datos fisicoquímicos y poblacionales de cangrejo rojo americano para los dos muestreos.	104
Tabla 18. Número de trampas efectivas y % de eficiencia de captura de P. clarkii en todos y cada uno de los polígonos del segundo muestreo.....	116
Tabla 19. Número de trampas efectivas y % de eficiencia de captura de P. clarkii en todos y cada uno de los polígonos del segundo muestreo.....	117
Tabla 20. Lista de Personal, cargo y Seguridad social	125
Tabla 21. Lista de capacitaciones realizadas a los empleados del Proyecto.....	126
Tabla 22. Inducciones en SGI y SST, realizadas durante el Producto 2.....	128
Tabla 23. Relación de la Dotación entregada durante el Producto 2.	129
Tabla 24. Relación de los elementos de protección personal (EPP's) entregados durante el Producto 2.	129

“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”: PRODUCTO 2.

INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene los resultados del Producto 2, 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 2 se presentan en cinco capítulos, En el capítulo 1 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 2, 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, y 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, 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 3, se evaluó la efectividad de los métodos propuestos para el control del cangrejo rojo en la Dársena; posteriormente en el capítulo 4, encontramos un informe detallado con todas las actividades relacionadas con el área SST del Proyecto y Finalmente, en el capítulo 5 se describen las actividades enmarcadas en los aspectos ambientales del Proyecto.

CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN 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 posee diques de tierra que funcionan como baffles en su interior y permiten direccionar el flujo del agua hacia las estaciones de bombeo (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 1).

La caracterización del agua de la Dársena cuenta con tres tipos de datos, los datos históricos que fueron suministrados por la EAAB-ESP, estos nos permiten visualizar el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos durante los últimos 10 años. El segundo conjunto de datos corresponde a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos pertenecientes a la Norma NS013 y algunos parámetros hidrobiológicos adicionales tomados por el laboratorio ANASCOL, el cual fue contratado por la Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S (OLFRS), esta información fue tomada durante los muestreos del cangrejo rojo y servirán tanto para caracterizar el agua de la Dársena como para relacionarlos con algunos de los aspectos de la biología del cangrejo rojo americano.

Finalmente, el tercer conjunto de datos son los parámetros fisicoquímicos *in situ* tomados por la OLFRS durante todos los muestreos, esta información nos sirve para darnos una idea de las condiciones del agua de la Dársena en el momento de realizar los muestreos, identificar posibles cambios entre los polígonos de muestreo y corroborar algunos de los parámetros tomados por el laboratorio contratado.

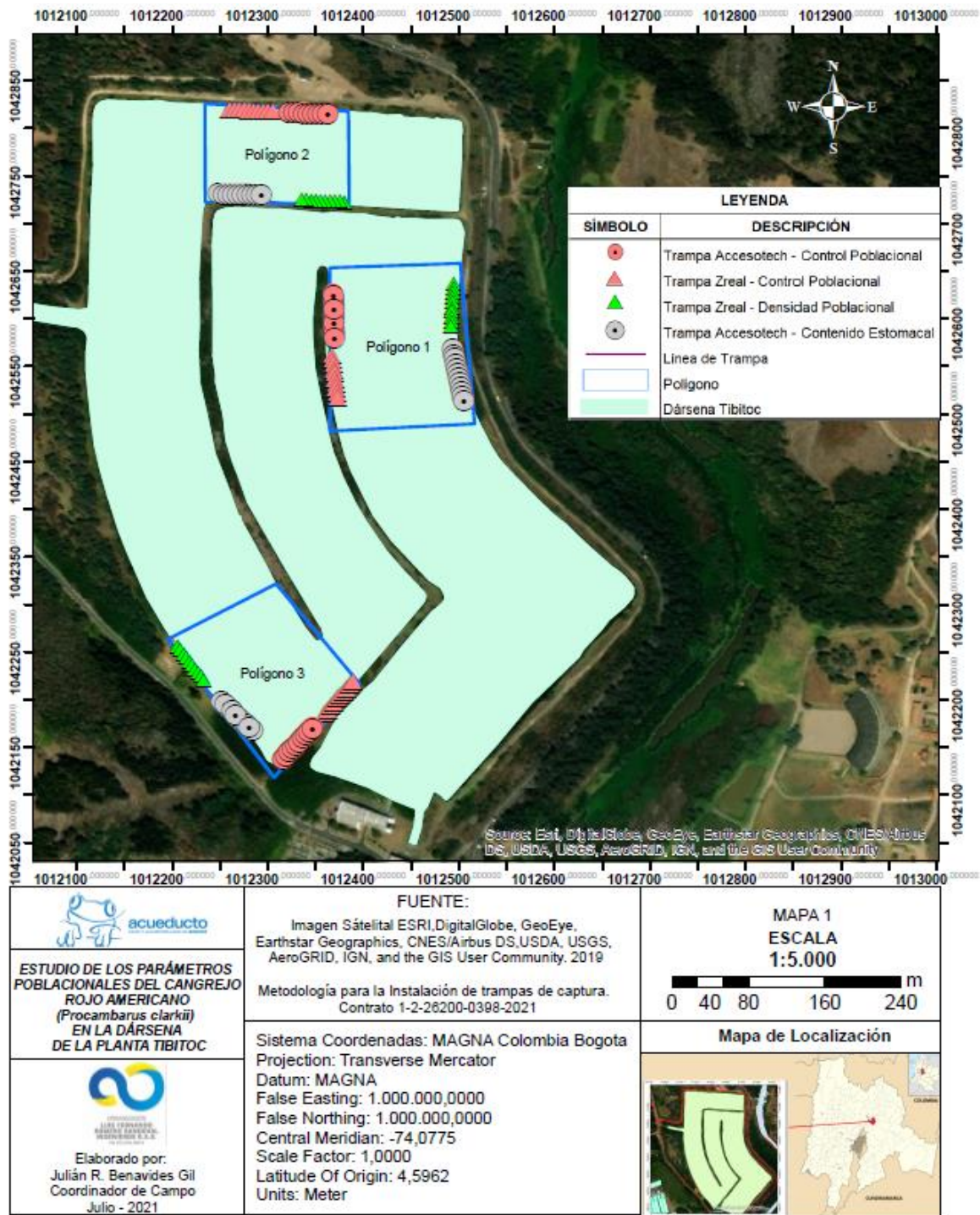


Figura 1. Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc. Distribución del diseño metodológico para la captura del cangrejo rojo americano en los polígonos de monitoreo; (polígono 1: cerca a zona de succión; Polígono 2: Bocatoma norte entrada del río Bogotá; Polígono 3: zona de cosechadora).

Datos históricos de la calidad del agua

Se realizó un análisis descriptivo para historial de variables fisicoquímicas, registradas en la bocatoma norte de la Dársena de Tibitoc en una ventana de tiempo de 10 años (desde el año 2011 hasta el año 2021), ya que este rango de tiempo incluye el año (2018) en el que por primera vez fue observado el cangrejo rojo americano en la Dársena.

En la figura 2, podemos observar que todos los parámetros presentan un comportamiento fluctuante a través del tiempo dentro de unos rangos que son los esperados para este tipo de agua, sin embargo, se observa que entre el 2018 y 2019, algunos parámetros presentaron su mayor variabilidad, donde el oxígeno disuelto paso de 1,5 mg/L a 6,4 mg/L en noviembre de 2018, la alcalinidad presentaba valores de 22 mg CaCO₃/L y luego una reducción de 5 mg CaCO₃/L, sin embargo, para finales del 2020 y principio de 2021 presento sus máximos valores, 78 mg CaCO₃/L y 76 mg CaCO₃/L respectivamente, y el Nitrógeno total presento valores altos en el 2018, donde paso de 2,4 mg/L a 5,9 mg/L. Por otro lado, podemos ver cambios en el oxígeno disuelto el cual después del 2018 no ha vuelto a presentar valores cercanos a 5 mg/L.

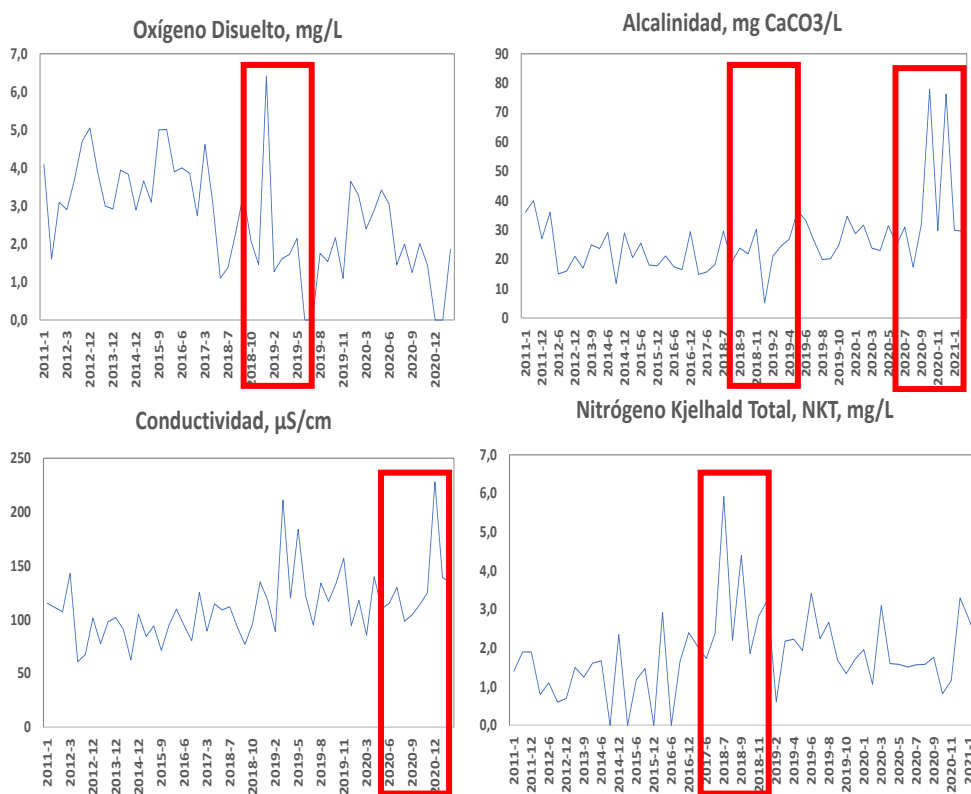


Figura 2. Comportamiento histórico de los parámetros fisicoquímicos del año 2011 al 2021. Fuente: EAAB-ESP.

Datos tomados *in situ*

Para cada una de las salidas de campo realizadas 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 1), 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). 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 3).



Figura 3. Toma de datos Fisicoquímicos *in situ*.

En la tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones *in situ* obtenidas en los tres polígonos durante los dos primeros muestreos, como observaciones generales podemos ver que los parámetros no presentan grandes variaciones entre polígonos, este patrón ya lo habíamos observado con las mediciones de los parámetros fisicoquímicos tomados durante las dos primeras visitas de reconocimiento. Por otro lado, el pH presenta valores que oscila entre 5,08 y 6,93 lo cual caracteriza el agua como ligeramente acida, la temperatura varía entre 15,9°C y 27,5°C, presentando valores normales de cuerpos de aguas naturales que se encuentran a esta altura, sin embargo, el valor de esta variable depende de la profundidad a la cual es medida, la hora del día, la radiación solar, la temperatura ambiente en el momento de la medición, etc. El oxígeno disuelto (OD) varió entre 0,55 y 1,27 mg/l, lo que indica que el agua de la Dársena tiene poca disponibilidad de oxígeno, mientras que la conductividad estuvo entre 128,6 y 172,7(μs/cm).

Tabla 1. Datos de variables in situ, medidas en los polígonos por muestreo; P1: Polígono 1, P2: Polígono 2 y P3: Polígono 3; M1 primer muestreo diciembre de 2021, M2: segundo muestreo enero de 2022.

	Temperatura °C			pH			Oxígeno Disuelto (mg/l)			Conductividad (μs/cm)		
	M1 Dic	M1 Dic.	M 2 Ene	M 1 Dic	M 1 Dic.	M 2 Ene	M 1 Dic	M 1 Dic.	M 2 Ene	M 1 Dic	M 1 Dic.	M 2 Ene
P 1	23,4	24,3	20,8	6,64	6,2	6,42	0,55	0,83	1,13	162,7	168,5	139,5
P 2	24,2	27,6	20,6	6,8	6,93	6,13	0,66	0,93	1,27	148,9	181,9	139,2
P 3	26,9	27,5	15,9	6,74	5,85	5,08	1,06	0,7	0,68	172,7	182,4	153,3

Descripción y comparación de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos para los dos primeros muestreos.

La OLFRS contrató los servicios de ANASCOL, laboratorio certificado por el IDEAM, para la recolección y análisis de las muestras de agua 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.

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 nos permitieron evidenciar que dentro de la Dársena las variables no presentaban grandes cambios entre los polígonos del diseño del muestreo. Para este producto se cuenta con información de los polígonos dos y tres.

La metodología utilizada por el laboratorio está descrita en el Estándar método (2018), para el caso de los parámetros fisicoquímicos, 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, 2005; V.E & Reid, 1995). Todos estos aprobados por el IDEAM.

A continuación, se describe cada parámetro medido y su resultado:

Grasas y Aceites

Es importante aclarar que para este parámetro se tomaron dos muestras por cada muestreo, para el primer muestreo de diciembre se tomaron muestras en los polígonos dos y tres, y para el segundo muestreo de enero se tomaron las muestras en los polígonos tres y uno.

El comportamiento de las grasas y aceites son similares en los dos polígonos para el primer muestreo, mientras que, para el segundo muestreo, se ve un aumento en el resultado para el polígono uno, lo anterior, pudo ser producto de la presencia de una mayor cantidad de macrófitas en el polígono uno a diferencia de los otros polígonos, no obstante, en la literatura no se encuentra información de relación de este parámetro con estas plantas acuáticas (figura 4).

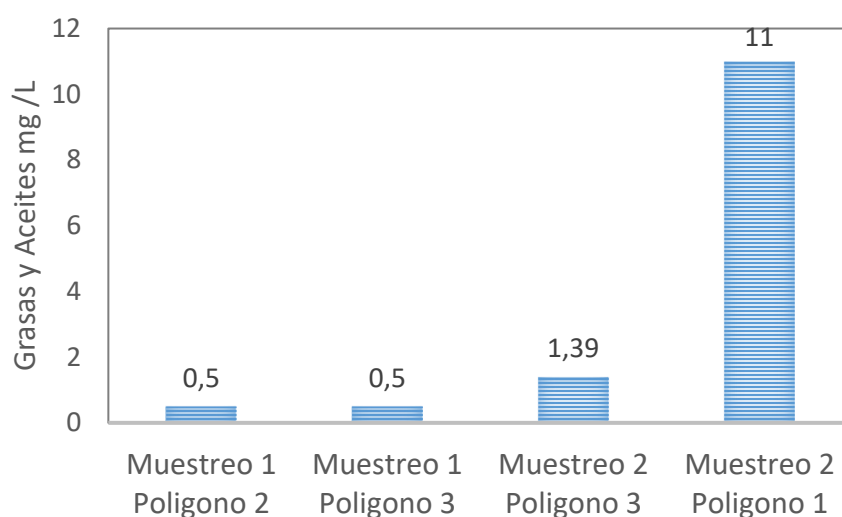


Figura 4. Medición del parámetro grasas y aceites durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Alcalinidad

El comportamiento de la alcalinidad en la Dársena es variable para los dos muestreos, se ve un aumento para el segundo muestreo, esta situación coincide con los valores obtenidos en el pH el cual disminuyó del primer al segundo muestreo (6,65 a 6,51), lo que aumenta la alcalinidad, no obstante, la muestra mantiene un comportamiento básico para los dos polígonos (figura 5).

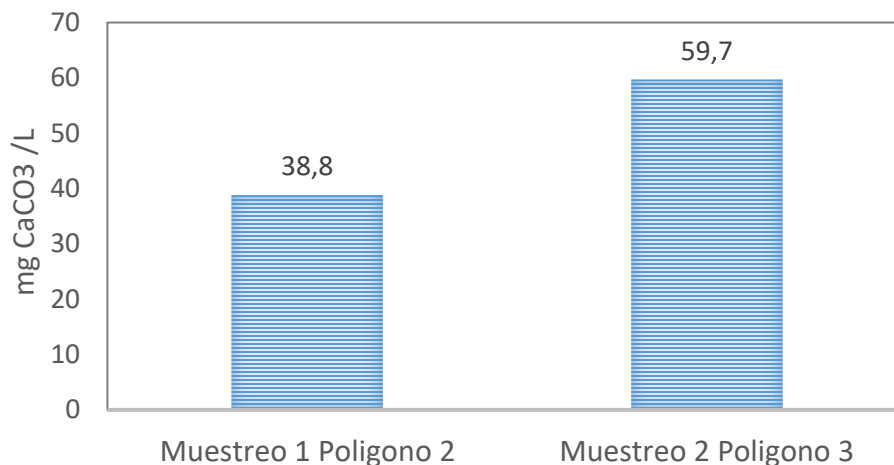


Figura 5. Medición del parámetro Alcalinidad durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

pH

El comportamiento de la muestra es de carácter básico para los dos polígonos, por lo que las aguas en la Dársena no varían de manera representativa, no obstante, y de acuerdo con lo evidenciado en la alcalinidad este pequeño cambio en el resultado del pH, se ve reflejado en la diferencia de valores de la alcalinidad (figura 6).

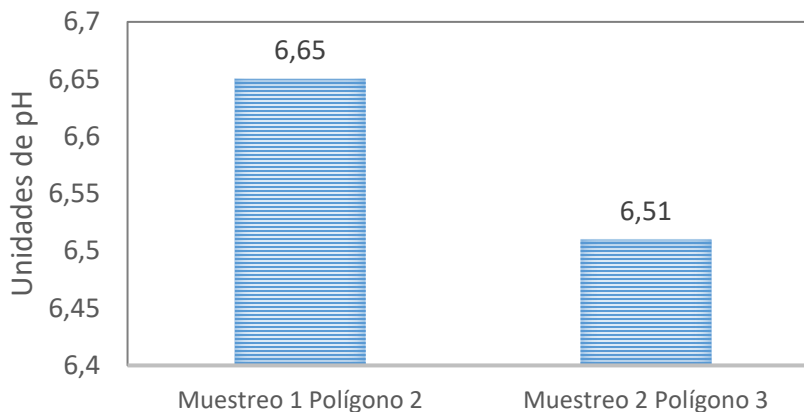


Figura 6. Medición del parámetro pH durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Aluminio total

El comportamiento del aluminio en la muestra es similar entre los dos muestreos y en concentraciones bajas, lo cual es normal para el tipo de agua (agua servidas) que hay en la Dársena, este resultado está en concordancia a lo que se pudo evidenciar con la alcalinidad y el pH (figura 7).

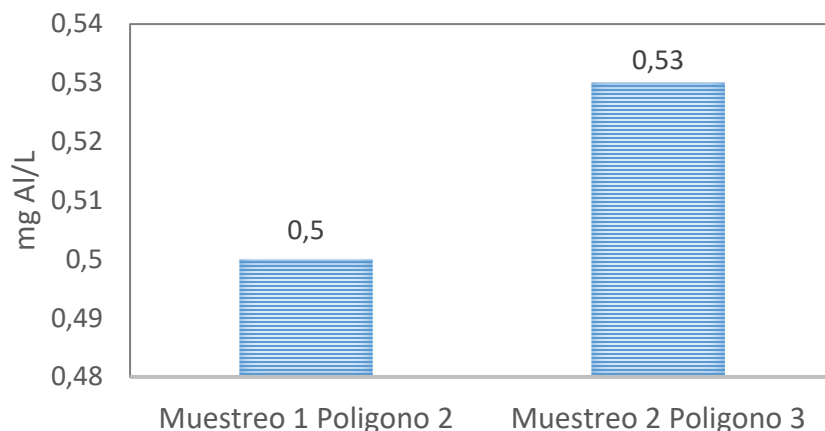


Figura 7. Medición del parámetro Aluminio total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Calcio

Los valores que se muestran en la gráfica son similares para los dos muestreos, con concentraciones bajas de calcio, lo que es normal para este tipo de aguas, el calcio en grandes cantidades y al contacto con los tensoactivos generan espuma en el agua, situación que no se evidencia en la Dársena de la PTAP de Tibitoc (figura 8).

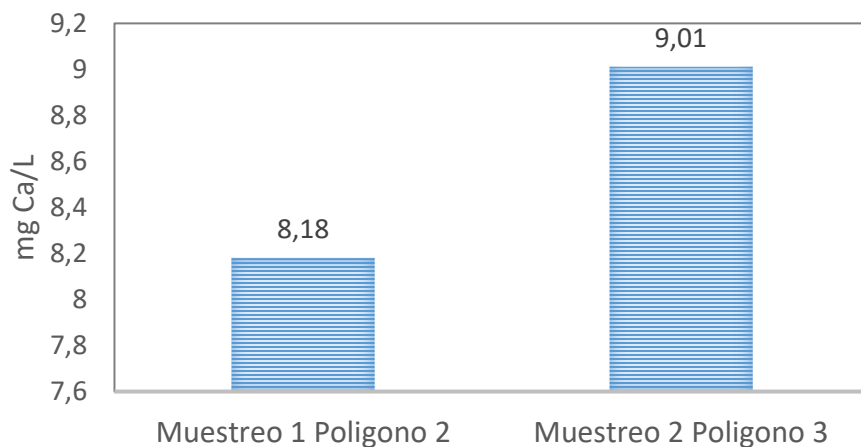


Figura 8. Medición del parámetro Calcio durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Magnesio Total

El comportamiento de los dos muestreos es similar y esto va acorde con los valores de la Dureza que se muestra a continuación, donde el valor que aporta este mineral es bajo para la muestra de agua que hay en la Dársena (figura 9).

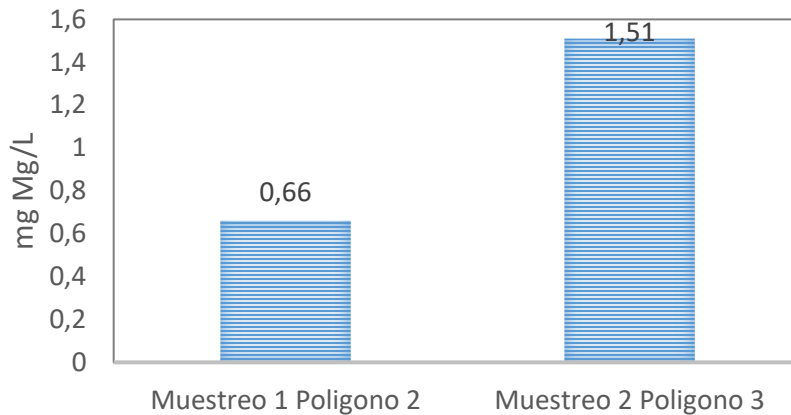


Figura 9. Medición del parámetro Magnesio total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Dureza Cálctica

Este parámetro es directamente proporcional a la concentración de minerales como el calcio y el magnesio en el agua, por lo que el resultado es coherente a los resultados presentados para esos parámetros, por tal motivo el resultado es bajo en cuanto a su concentración para el tipo de agua (aguas servidas) de la Dársena (figura 10).

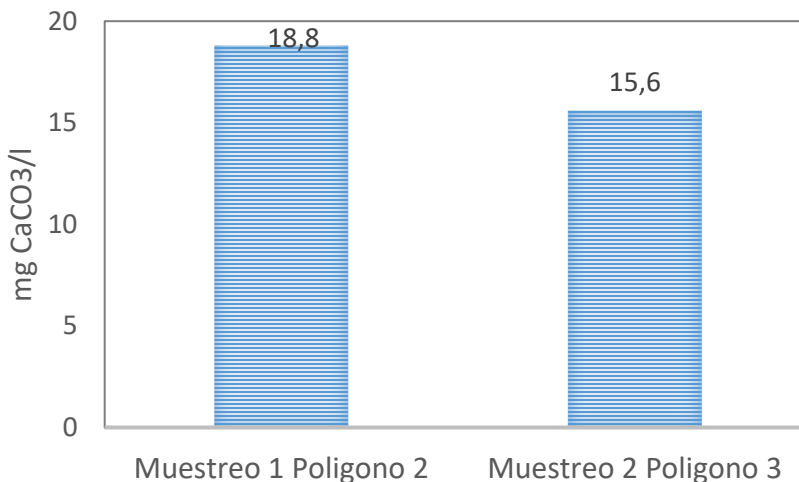


Figura 10. Medición del parámetro Dureza cálcica durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc

Dureza total

El comportamiento de este parámetro es un poco mayor para el primer muestreo, la dureza total tiene en cuenta la concentración de calcio y magnesio en la muestra de agua por lo que el valor está acorde a lo presentado en esos dos parámetros, siendo un valor bajo para el tipo de agua que está presente en la Dársena (figura 11).

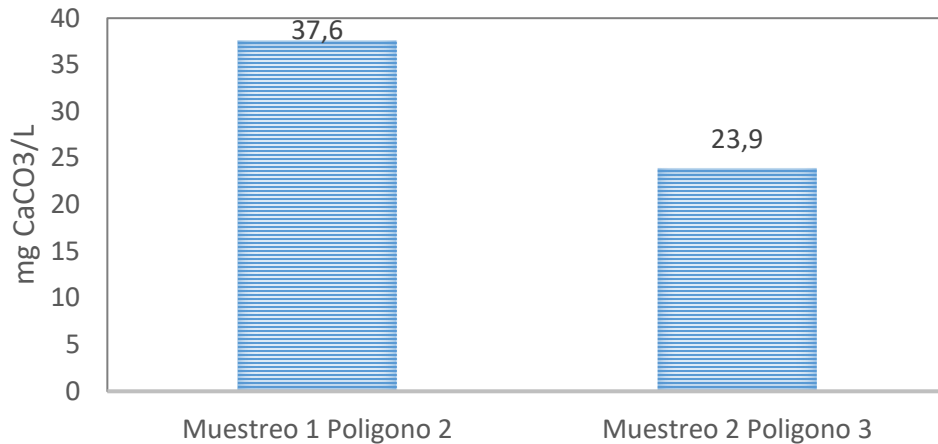


Figura 11. Medición del parámetro Dureza total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc

Carbonatos

La presencia de carbonatos en el agua es un factor directo del comportamiento del pH y la alcalinidad, por tal motivo al encontrarse una muestra de agua básica es normal que la concentración de carbonatos sea baja (figura 12).

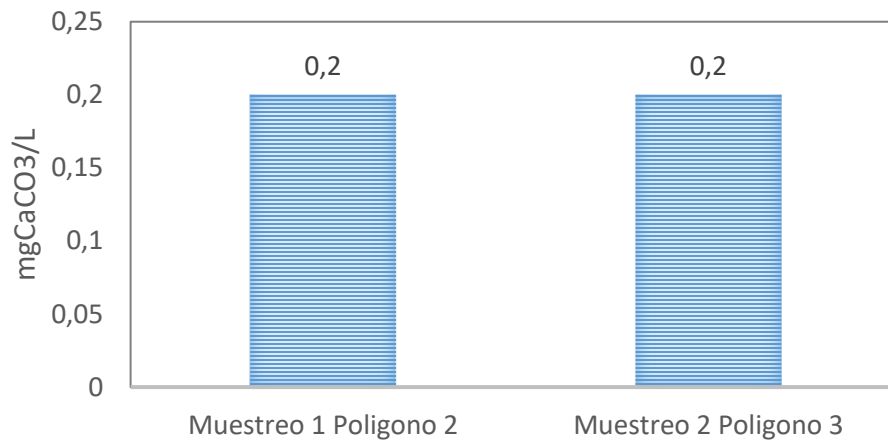


Figura 12. Medición del parámetro Carbonatos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Carbono orgánico

El comportamiento del parámetro para los dos muestreos es similar, lo que significa que el agua en la Dársena no cambia mucho en sus condiciones generales, la presencia de este compuesto se debe principalmente a la materia orgánica que producen plantas y animales y que entran en contacto directo con el agua, al ser esta proveniente del Río Bogotá, es normal que haya presencia de este parámetro, de igual manera este se relaciona

directamente con Demanda Química de Oxígeno - DQO y Demanda Biológica de Oxígeno - DBO en el agua (figura 13).

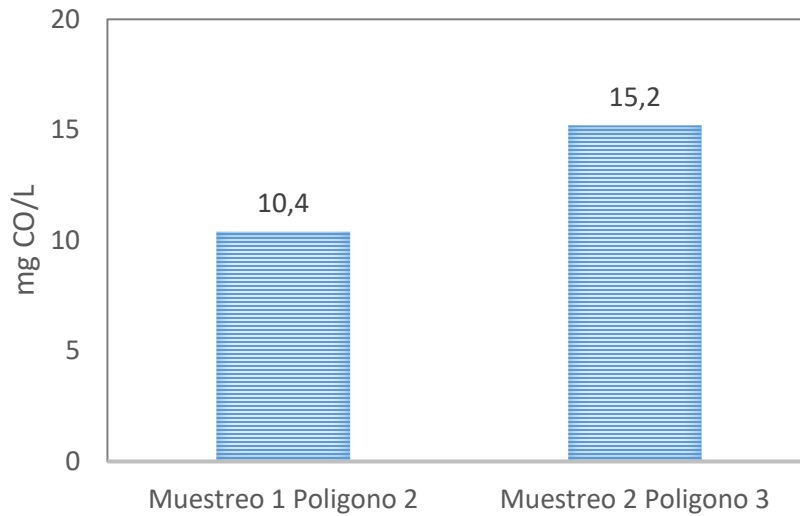


Figura 13. Medición del parámetro Carbono orgánico durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Carbono inorgánico

El comportamiento del parámetro es diferente entre los muestreos, aunque no son valores elevados que pueda representar una situación anómala en la muestra de agua, muy posiblemente aguas arriba del Río Bogotá hubo una situación especial para el mes de diciembre lo que generó una mayor presencia de elementos inorgánicos como el CO_2 que triplicó el valor del primer muestreo en comparación con el segundo muestreo (figura 14).

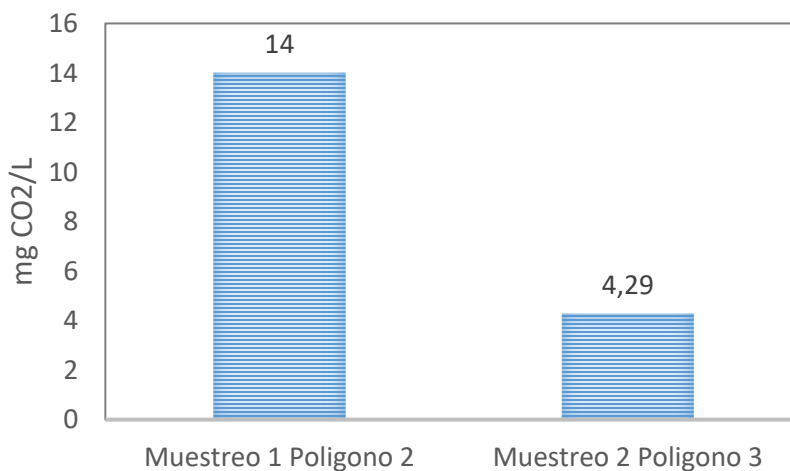


Figura 14. Medición del parámetro Carbono inorgánico durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

DBO₅

El comportamiento de este parámetro es similar para los dos muestreos, este parámetro determina la cantidad de oxígeno disponible para los microorganismos que hay en el agua, por ende, es directamente proporcional a los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos en la Dársena, esto significa que el agua cuenta con buenas condiciones para la actividad microbiana dentro del sistema (figura 15).

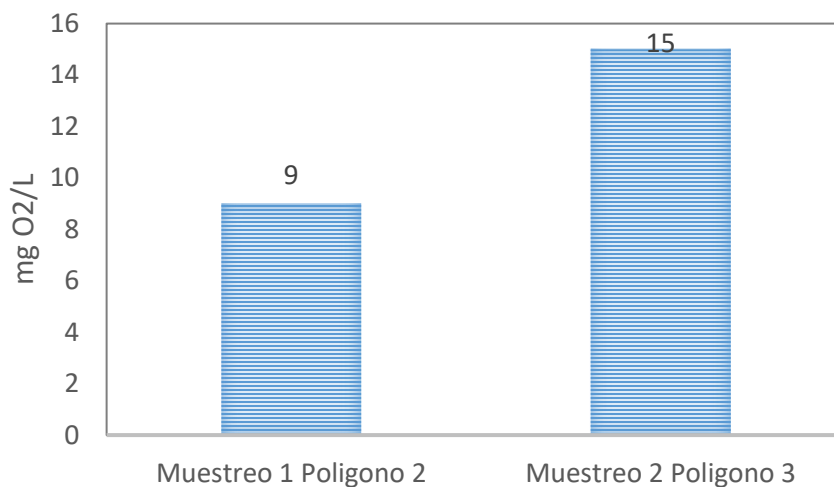


Figura 15. Medición del parámetro DBO₅ durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

DQO

El valor de DQO en la muestra es similar para los dos muestreos, este parámetro es uno de los principales que determina qué tan contaminada está el agua, si tenemos en cuenta que una muestra de agua contaminada con residuos industriales tiene valores de concentración de 50 a 2000 mg O₂/L, el agua en la Dársena tiene valores cercanos por lo que muestra un grado de contaminación importante en el sistema, esto es producto de todos los vertimientos que se hacen al Río Bogotá antes de llegar a la Dársena (figura 16).

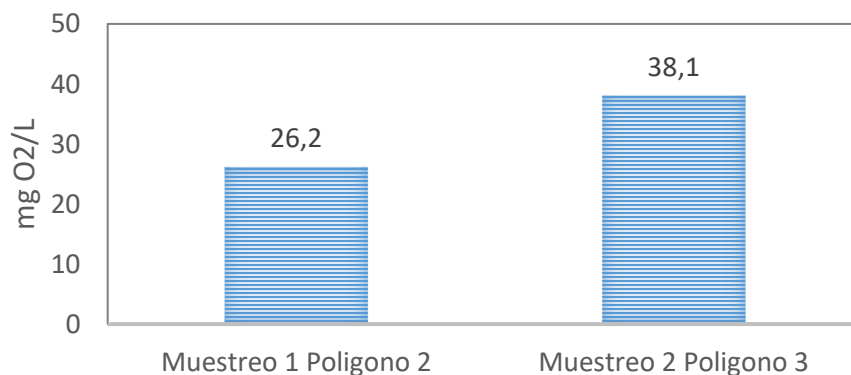


Figura 16. Medición del parámetro DQO durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Cianuro libre

Para los dos muestreos se puede ver una presencia mínima de cianuro en el agua lo que no representa un peligro en general para la fauna acuática (figura 17).

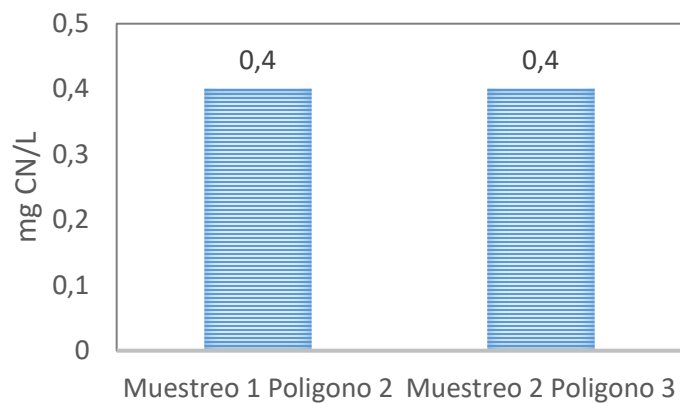


Figura 17. Medición del parámetro Cianuro libre durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Cianuro total

Este parámetro es directamente proporcional al cianuro libre, por lo que la situación es la misma que en el parámetro anterior (figura 18).

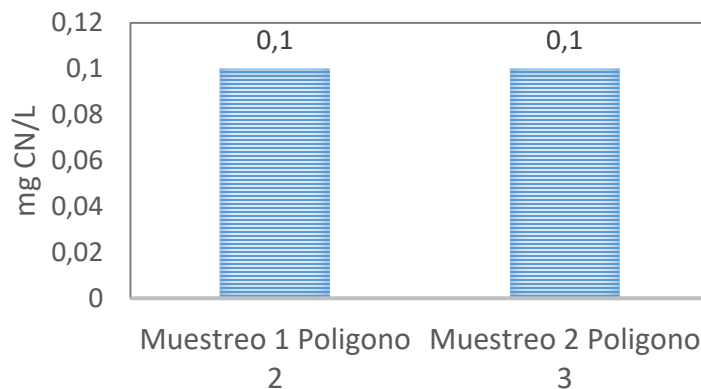


Figura 18. Medición del parámetro Cianuro total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Cloruros

En comparación los resultados presentan una variabilidad importante entre los dos muestreos, al ser aguas contaminadas es normal encontrar valores como los obtenidos donde hay una cantidad de compuestos que aportan a este parámetro, como los procesos

de cloración en las industrias, como bien se mencionó anteriormente, estas aguas están contaminadas con vertimientos de procesos industriales de curtiembres (figura 19).

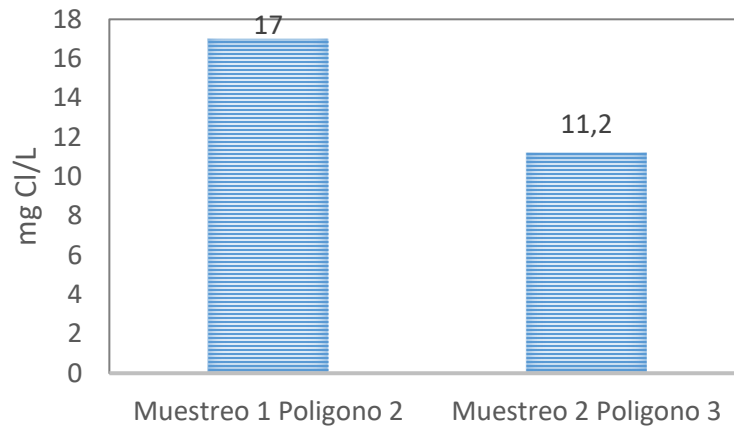


Figura 19. Medición del parámetro Cloruro durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Color Real

El color real es similar para los dos muestreos y es acorde a la apariencia de las muestras de agua en la Dársena. Los resultados en relación con la escala de colores UPC se encuentra en los valores bajos para esta medición, lo que puede indicar que el agua tiene muy poca presencia de sedimento suspendido (figura 20).

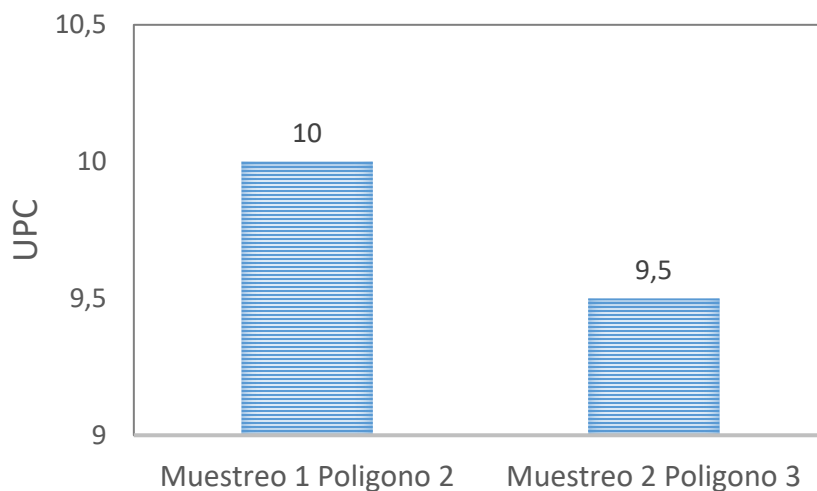


Figura 20. Medición del parámetro Color real durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Fósforo total

El fósforo es uno de los indicadores de presencias de tensoactivos en el agua, el resultado de este parámetro representa poca presencia de estos compuestos dentro de la Dársena, muy posiblemente este parámetro se disuelve al combinar las aguas del Río Bogotá con las descargas de los embalses (figura 21).

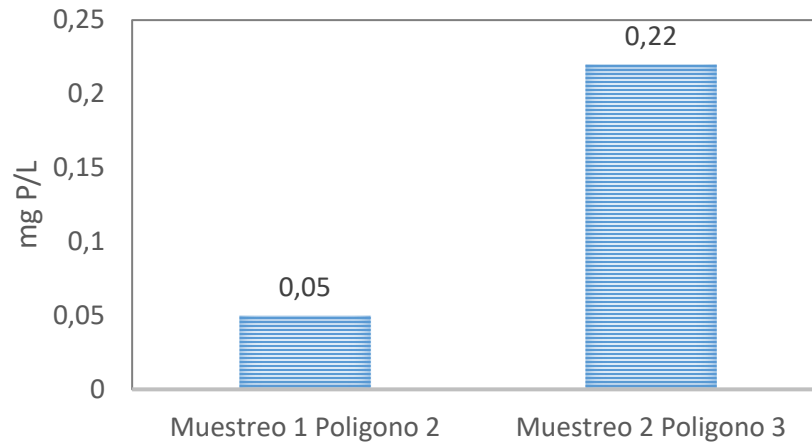


Figura 21. Medición del parámetro Fósforo total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Fósforo soluble

Se comporta de la misma manera que el parámetro anterior (figura 22).

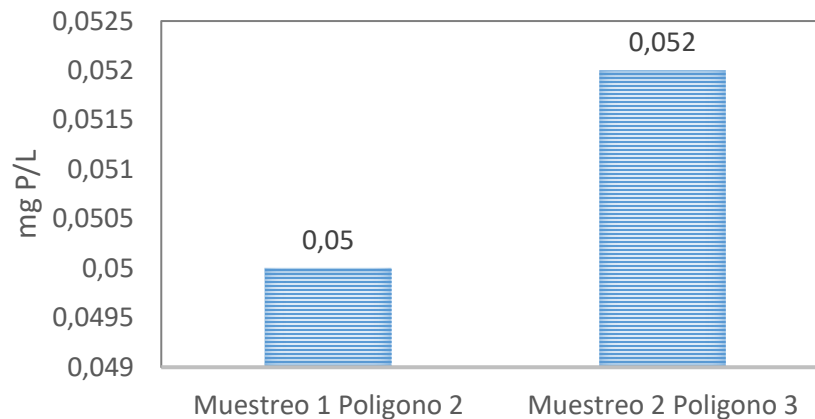


Figura 22. Medición del parámetro Fósforo soluble durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Hierro total

El comportamiento del Hierro en los dos muestreos fue similar y el resultado es bajo lo que representa una buena oxigenación del agua, a pesar de que el resultado del OD es bajo, el resultado se da por otras circunstancias que ya se han descrito anteriormente (figura 23).

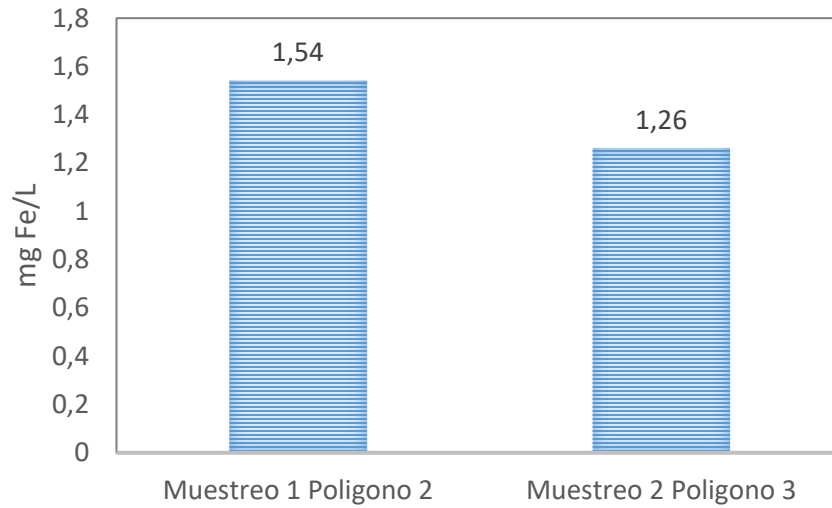


Figura 23. Medición del parámetro Hierro durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Manganeso

La concentración del Manganeso en el agua es baja para los dos muestreos y esto coincide con el comportamiento presentado para la concentración de hierro en la Dársena, estos parámetros normalmente se les asocia con muestras de agua contaminadas, alguna de las dos siempre es más elevada que otra, no obstante, para este caso los valores son bajos por lo que no representa un indicador importante en el muestreo (figura 24).

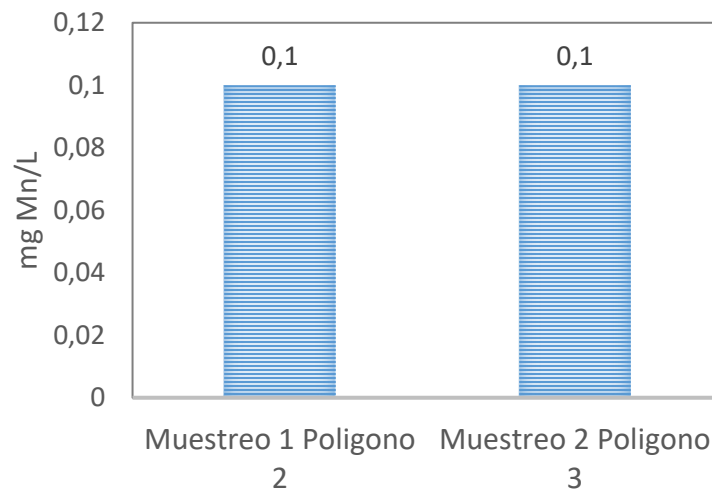


Figura 24. Medición del parámetro Manganeso durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Nitratos

Los Nitratos en el agua son uno de los parámetros que indican que tan contaminada esta una fuente de agua superficial, para este caso los valores son muy bajos, por lo que la calidad del agua no se ve comprometida, este comportamiento puede darse por la mezcla de aguas del Río Bogotá con las aguas de los embalses, lo que puede ayudar a diluir los contaminantes presentes en las aguas del Río Bogotá (figura 25).

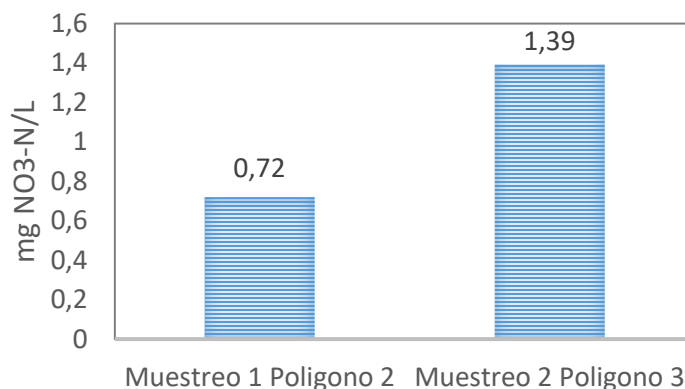


Figura 25. Medición del parámetro Nitrato durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Nitritos

Los Nitritos son un indicador de la cantidad de materia orgánica de carácter fecal en las muestras de agua, las concentraciones generalmente no superan los 0,1 mg/l, para el caso de la Dársena y el valor presentado para el primer muestreo supera un poco este valor, lo cual se puede entender por la procedencia del agua del Río Bogotá, el cual viene con una carga contaminante importante (figura 26).

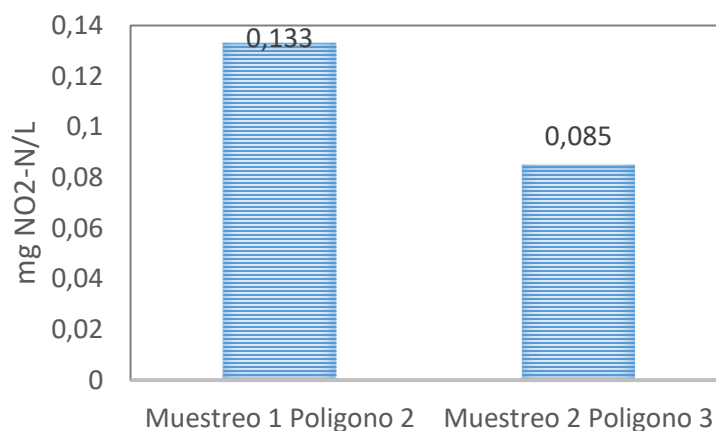


Figura 26. Medición del parámetro Nitritos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Nitrógeno Amoniacal

El comportamiento del Nitrógeno amoniacal es igual para los dos muestreos lo que representa una estabilidad de este parámetro en la Dársena, este parámetro está asociado con los nitratos y nitritos por lo que el comportamiento es lo esperado (figura 27).

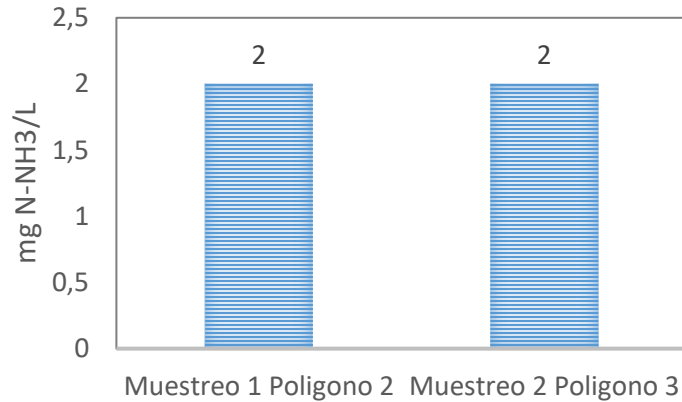


Figura 27. Medición del parámetro Nitrógeno amoniacal durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Nitrógeno Kjeldahl

Este parámetro es un indicador de la cantidad de Nitrógeno en todas sus presentaciones dentro de la Dársena, el comportamiento es el mismo para los dos muestreos, lo que muestra una homogeneidad en el tiempo, para este caso los valores presentados son bajos lo que no altera de manera significativa la calidad del agua (figura 28).

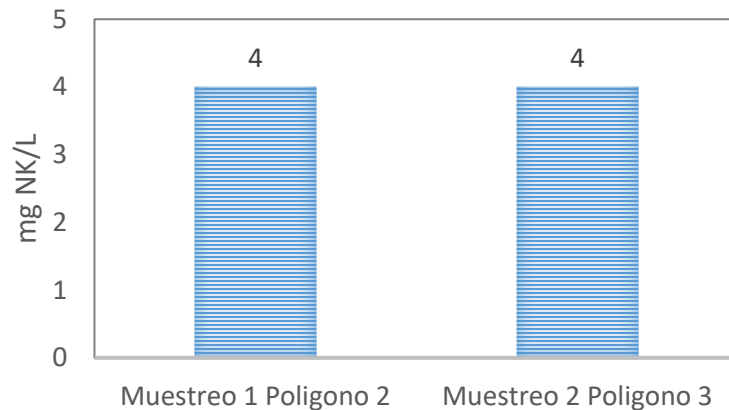


Figura 28. Medición del parámetro Nitrógeno Kjeldahl durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Nitrógeno total

El comportamiento del parámetro es igual y estable para los dos muestreos, este parámetro se comporta de acuerdo con lo evidenciado en los anteriores resultados (figura 29).

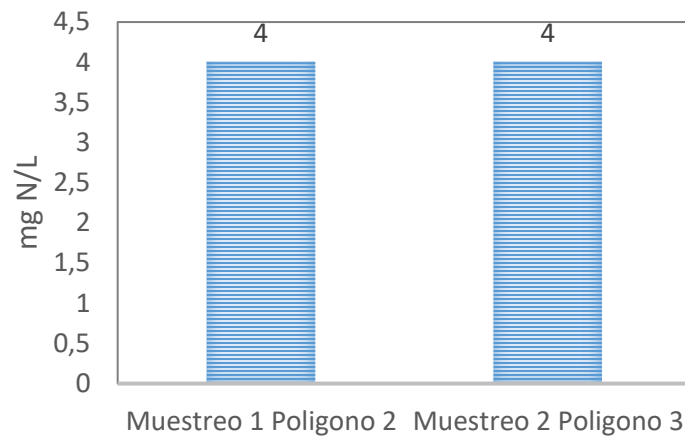


Figura 29. Medición del parámetro Nitrógeno total durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Sodio

El comportamiento del sodio es diferente para los dos muestreos, aunque en el segundo muestreo el sodio fue el doble de lo encontrado en el primer muestreo, los valores se encuentran entre los datos normales de fuentes superficiales de agua; este es un indicador para los valores obtenidos en la conductividad lo cual está representada en las sales presentes en el agua de la Dársena y que es medible a través de este parámetro (figura 30).

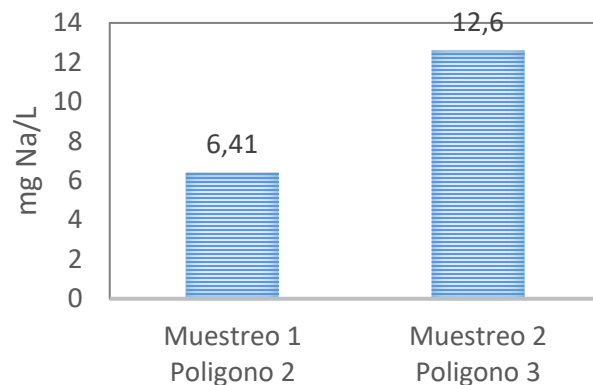


Figura 30. Medición del parámetro Sodio durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Sílice

La presencia de este parámetro en la Dársena puede darse por situaciones aguas arriba del Río Bogotá principalmente, este puede provenir de minerales o por procesos

industriales donde se haga uso de vapor de agua como proceso de combustión, por ende, al tener cerca la termoeléctrica se le puede asociar esta situación a la presencia de este elemento (figura 31).

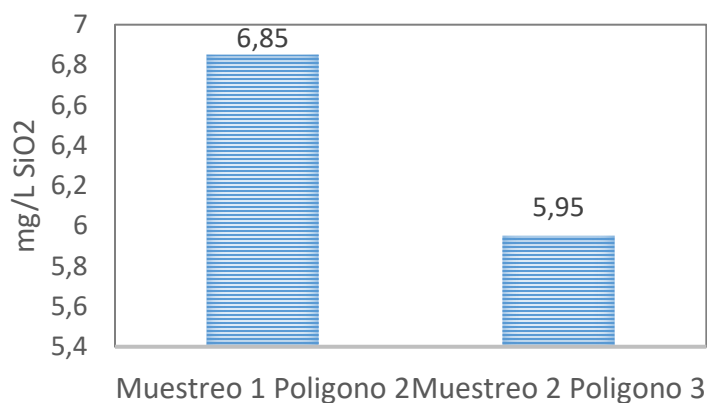


Figura 31. Medición del parámetro Sílice durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Sulfatos

El comportamiento de los sulfatos para los dos muestreos es similar y los valores no son representativos para generar un cambio dentro de las condiciones del agua en la Dársena. La presencia puede ser por fenómenos normales como la lluvia que generalmente contiene sulfatos (figura 32).

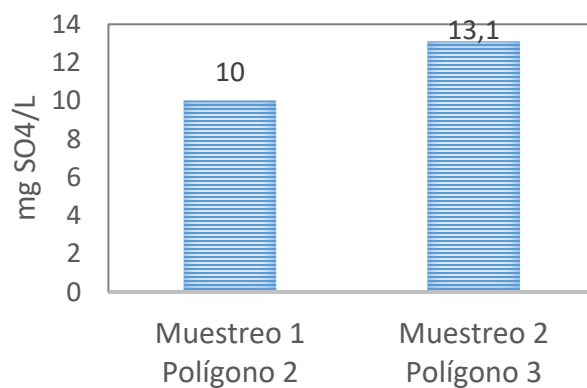


Figura 32. Medición del parámetro Sulfatos durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Turbiedad

El comportamiento del parámetro es significativo, no obstante, puede ser por la metodología de muestreo, donde para el segundo sitio era una zona donde había macrófitas las cuales fue necesario remover para hacer el muestreo, lo que pudo generar un movimiento de

sólidos suspendidos y sedimentados, lo que llevó al resultado a ser mucho más alto en comparación (figura 33).

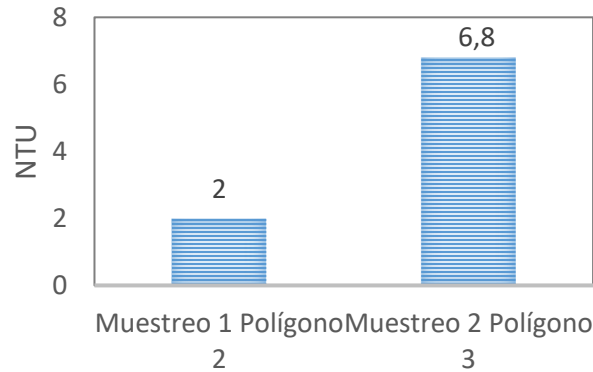


Figura 33. Medición del parámetro turbiedad durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Sólidos Sedimentables

El resultado de los sólidos sedimentables es bajo y el comportamiento es el mismo para los dos muestreos, lo que significa que en la Dársena hay poco sólido suspendido propenso a sedimentarse con el tiempo (figura 34).

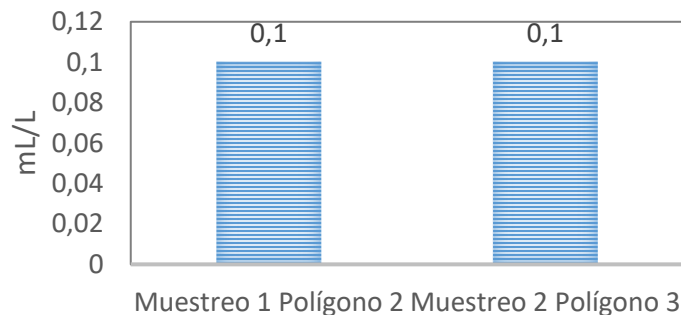


Figura 34. Medición del parámetro Sólidos sedimentales durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Temperatura ambiente y del agua

El comportamiento de la temperatura ambiente, se debe a las condiciones generales que se presentaron durante cada uno de los muestreos, donde para diciembre se presentaron lluvias previas a la visita, en cambio para enero el tiempo estuvo más seco y/o cálido por lo que se ve reflejado el aumento del valor de la temperatura para el segundo muestreo (figura 35).

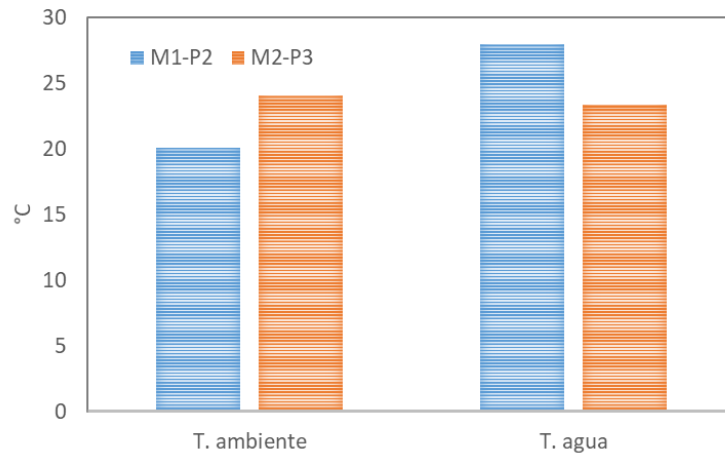


Figura 35. Medición del parámetro Temperatura del ambiente y del agua durante el primer y segundo muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Parámetros Microbiológicos

Con respecto a los parámetros microbiológicos, aún están en revisión por el laboratorio ANASCOL, esperamos contar con esta información a finales del mes de abril.

Comunidades Hidrobiológicas

Fitoplancton

La comunidad fitoplanctónica corresponde a los productores primarios de los ecosistemas acuáticos, los cuales se encuentran suspendidos en la columna de agua (Roldan y Ramírez, 2008).

Para la Dársena de Tibitoc se han identificado 23 géneros de algas planctónicas, siendo Bacillariophyta la clase más representativa con 14 morfoespecies, seguida de Charophyta con cinco géneros, Cyanobacteria con tres morfotipos y Dinophyta con un morfotipo, el género *Ceratium*. Para el primer muestreo, el género más abundante *Microcystis* y *Oscillatoria* con densidad de 714 cel/L, seguida por *Melosira* y *Eunotia*. En el segundo muestro los morfotipos más abundantes corresponden a los géneros de *Eunotia*, *Aulacoseira* y *Melosira*, con densidades de 500 cel/L, 205 Cel/L y 110 Cel/L respectivamente (figura 36).

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).

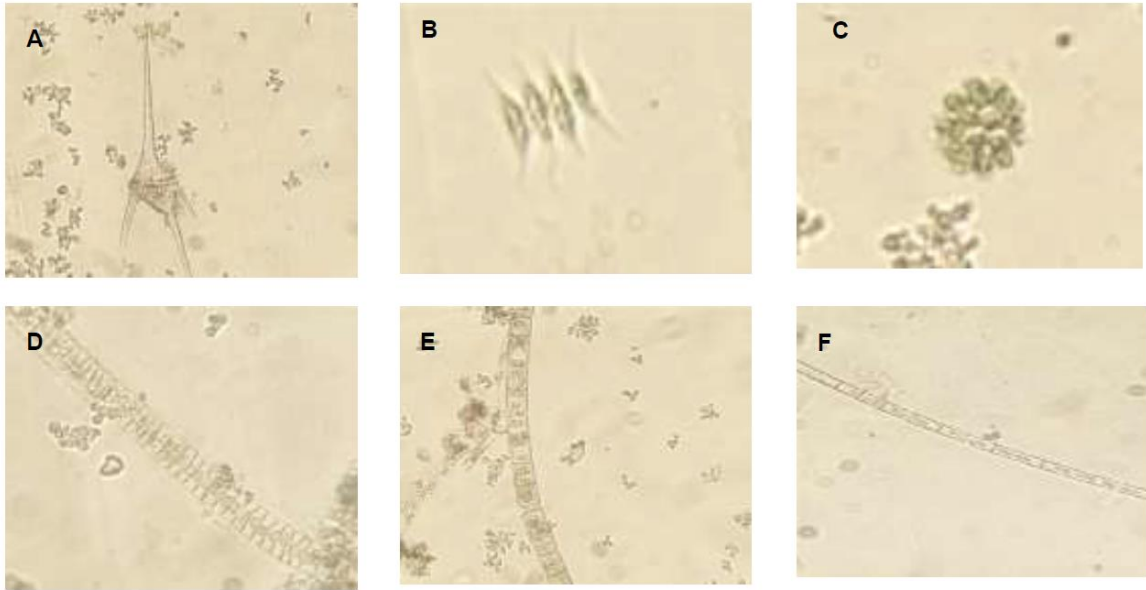


Figura 36. Fitoplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Ceratium* sp.; B: *Desmodesmus* sp. C: *Eudorina* sp. D: *Eunotia* sp. E: *Melosira* sp. F: *Aulacoseira* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

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 cadenas (además es uno de los más abundantes), transfiriendo la energía de los productores primarios a los organismos de los niveles superiores (Roldan y Ramírez, 2008).

Para el primer y segundo muestreo realizados en la Dársena de Tibitoc, el componente zooplanctónico está principalmente representados por organismos del Phylum Rotífera, con nueve morfotipos; la dominancia de los rotíferos, puede estar relacionado con los hábitos alimentarios de estos organismos, que incluyen la ingesta de bacterias y restos orgánicos (Conde-Porcuna et al., 2014), los cuales están presentes en la Dársena de Tibitoc.

Para el caso de cladóceros y copépodos, no representan de forma cualitativa a la comunidad zooplanctónica, sólo se verificaron cuatro morfotipos en el segundo muestreo, 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 elevada presión de depredación por 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 37).

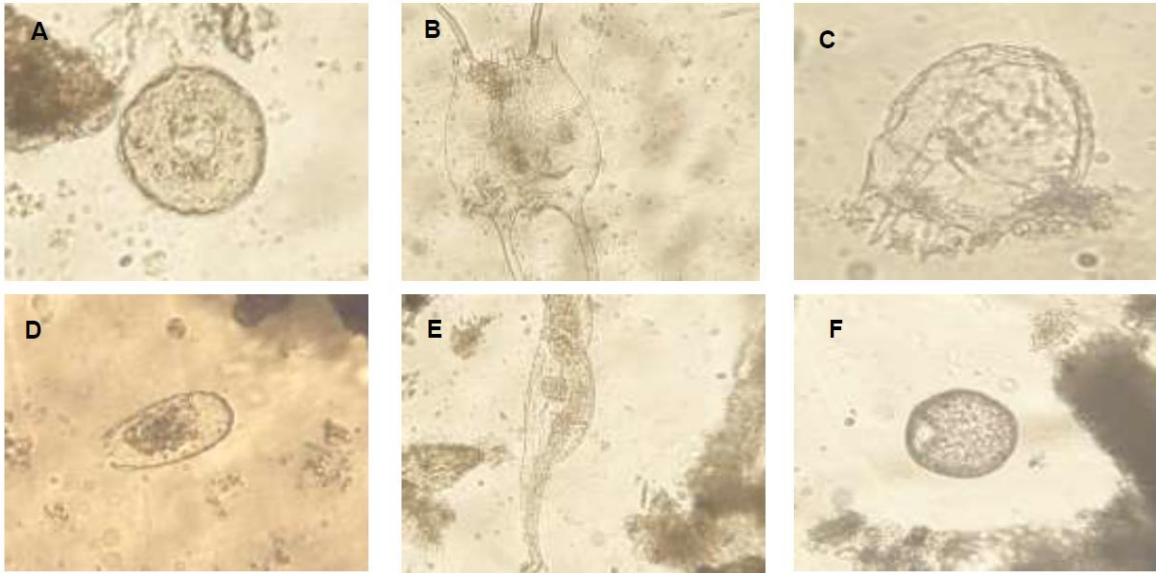


Figura 37. Zooplancton colectado durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Arcella* sp.; B: *Brachionus* sp. C: *Keratella* sp. D: *Euglypha* sp. E: *Philodina* sp. F: *Bullinularia* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

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 resultados preliminares de los dos muestreos en la Dársena de Tibitoc, indican una dominancia de la Familia Chironomidae; para el primer muestreo, los datos reflejan una abundancia relativa de un 87%, mientras que en el segundo muestreo representa el 100% de los organismos colectados, esta familia de macroinvertebrados suele ser el grupo más representativo, en especial en aguas con cierto grado de contaminación. La abundante presencia del género *Chironomus* sp. puede estar relacionada con la baja disponibilidad de oxígeno en la Dársena de Tibitoc (figura 38). Autores como Silva (2012) afirman que, las larvas del género *Chironomus* dominan la fauna en lagos con fondo anóxico y con alta productividad fitoplanctónica.

El 13% de la abundancia relativa restante en el primer muestreo, corresponde a organismos de la familia Physidae, la presencia de estos organismos en particular, 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).

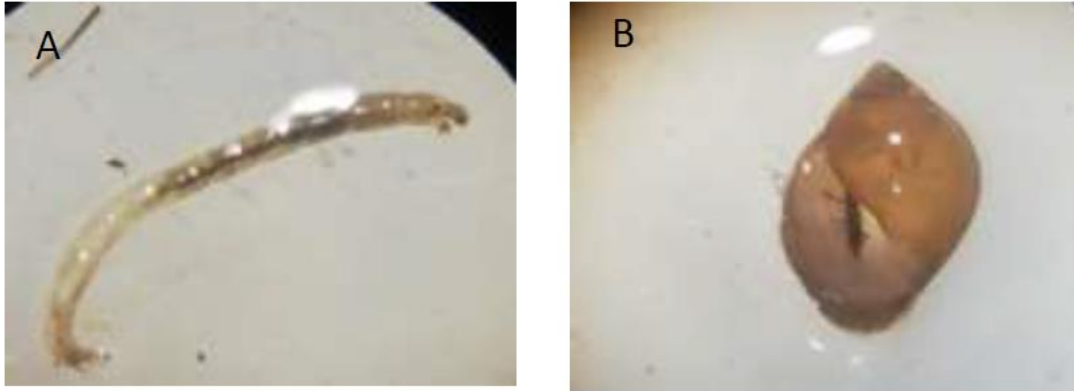


Figura 38. Macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas colectados durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Chironomus* sp.; B: *Physa* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

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, zooplancton, perifiton y desove de peces.

Para los dos primeros muestreos se ha identificado tres especies de plantas acuáticas *Juncus effusus*, *Lemna minor* y *Ludwigia* sp. Siendo *Ludwigia* la más abundante con una cobertura vegetal del 80 al 98 %, seguida por *Juncus effusus* con cobertura del 2 al 13%, mientras que *Lemna minor* presento cobertura del 7 % en el segundo muestreo (figura 39).

Respecto a *Ludwigia* 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 y Íñigo., 2014). Estas condiciones que ofrece *Ludwigia* son favorables para el establecimiento del cangrejo rojo americano en la Dársena de la planta Tibitoc.



Figura 39. Macrófitas registradas durante los muestreos en la Dársena de Tibitoc. A: *Juncus effusus*; B: *Ludwigia* sp. Fuente: ANASCOL 2022.

CONCLUSIONES

- En conclusión, la mayoría de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos arrojan concentraciones bajas, lo que muestra una calidad de agua aceptable para la supervivencia de fauna y flora acuática en la Dársena y acorde con los estándares para ser potabilizada.
- Si bien el Río Bogotá es una fuente de agua superficial que previo a la llegada a la Dársena recibe una gran cantidad de contaminantes producto de vertimientos de industrias, al mezclar estas aguas con la proveniente de los embalses (Neusa, Sisga y Tominé), puede diluir una gran cantidad de compuestos por lo que mejora la calidad del agua en la Dársena.
- En cuanto a la calidad del agua en la Dársena y que puede afectar el tratamiento en la Planta de Tibitoc, se puede considerar que al sistema están ingresando aguas en condiciones aceptables para realizar el tratamiento, lo anterior en términos de costos es representativo en comparación a un tratamiento de aguas contaminadas con altos valores de carga contaminante.
- Con respecto a las comunidades hidrobiológicas el fitoplacton es una de las más diversas con 23 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.

CAPÍTULO 2. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*).

INTRODUCCIÓN

Gran parte del éxito en la colonización y establecimiento del cangrejo rojo americano en los diferentes lugares donde ha sido introducido se debe principalmente a sus características biológicas y ecológicas, entre ellas, 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).

En el presente capítulo se abordan 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 en la Dársena.

MÉTODOS

DENSIDAD POBLACIONAL

La densidad poblacional, la proporción de sexos, la estructura de tallas y la morfometría son parámetros poblacionales 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 (Rodriguez, 2011); todo esto con el fin de identificar cuando y sobre cuales grupos demográficos pueden ser más efectivas las acciones de control. A continuación, se describen las actividades de campo y laboratorio y los principales resultados obtenidos de la evaluación de la densidad poblacional del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Actividades de campo

Para medir la densidad poblacional del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc se implementó la metodología propuesta en el Producto 1 en dos jornadas de muestreo, la primera tuvo lugar los días 14, 15 y 16 de diciembre del 2021 y la segunda se realizó los días 26 y 27 de enero del 2022, conforme con la programación de actividades del Project.

La instalación de las trampas se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta en el Producto 1, la cual consistió en instalar 30 trampas Zreal en toda la Dársena repartidas en tres polígonos o estaciones de muestreo (figura 1). En cada polígono, se instaló una línea de 10 trampas aseguradas a un marcador afuera en la orilla, 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 visitas de reconocimiento el cual fue el más atrayente para el cangrejo rojo (ver figura 40). Esta actividad contó con un esfuerzo de muestreo de veinticuatro (24) horas, después de las cuales se retiraron las trampas.

Todos los especímenes colectados durante esta investigación fueron sacrificados por descenso de la actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura. Para ello, todos los cangrejos capturados fueron codificados y almacenados en neveras portátiles con pilas de gel. 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 (*Procambarus clarkii*), (CAR, 2016, Manual de Buenas Prácticas para la conservación del Cangrejo de Río Común Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, 2010, Protocolo para el control de cangrejo rojo en Extremadura - España, 2019).



Figura 40. Detalle del cebo usado para la captura del cangrejo rojo americano en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Actividades de Laboratorio

Para el trabajo en el laboratorio, todos los especímenes colectados de *P. clarkii* fueron extraídos por trampa de manera gradual y descongelados a temperatura ambiente, antes de iniciar los análisis, este procedimiento fue igual para todos los cangrejos analizados durante esta investigación.

Para el análisis de la densidad poblacional se capturaron 53 individuos de *P. clarkii* en los dos muestreos, para lo cual se usaron 60 trampas en total, las capturas se distribuyeron de la siguiente manera: 19 individuos en el primer muestreo y 34 individuos en el segundo muestreo.

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. N° cangrejos / trampa y 2. N° cangrejos / Polígono, a continuación, se presentan los resultados obtenidos:

En la tabla 2, muestra la CPUE de los muestreos realizados. Como resultados preliminares se obtiene que el polígono 1, (el cual está más cerca al área de succión) obtuvo más captura por unidad de esfuerzo, seguido del polígono 3 (área de la cosechadora) y por último el polígono 2 (área de bocATOMA).

Tabla 2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y densidad poblacional por muestreo, polígono y trampa. Datos obtenidos a partir de N° cangrejos/trampa y N° cangrejos colectados/polígono.

Muestreo/ Polígono	Fórmula	N° trampas	N° organismos colectados	CPUE	Densid ad (ind/m ²)
Muestreo 1	N cangrejos/trampa	30	19	0,63	0,02
Polígono 1	N cangrejos/polígono	10	9	0,9	0,036
Polígono 2	N cangrejos/polígono	10	0	0,0	0
Polígono 3	N cangrejos/polígono	10	10	1,0	0,04
Muestreo 2	N cangrejos/trampa	30	34	1,13	0,045
Polígono 1	N cangrejos/polígono	10	20	2,0	0,08
Polígono 2	N cangrejos/polígono	10	9	0,9	0,036
Polígono 3	N cangrejos/polígono	10	5	0,5	0,02

Polígono 1: Polígono cerca al área de succión; Polígono 2: Polígono cerca al área de BocATOMA; Polígono 3: Polígono cerca al área de Cosechadora.

Con respecto a la densidad de *P. clarkii* en la Dársena de la PTAP de Tibitoc podemos observar una densidad promedio de 0,03 ind/m² ó 353,3 ind/ha. En este estudio, cada transecto tuvo un área de 250 m² (50m x 5m). Se instalaron un total de seis transectos para los dos muestreos (tres en el primer muestreo y tres en el segundo muestreo), para un total de 1500 m².

$$\text{Densidad total Darsena} = \frac{N^{\circ} \text{ ind} \times \text{ArD}}{\text{ArT}} = \frac{53 \text{ ind} \times 25,5 \text{ ha}}{0,15 \text{ ha}} = 9010 \text{ ind}$$

N° ind: Número de individuos colectados en transectos de densidad: 53

ArT: Área de los transectos: 1500 m² ó 0,15 ha

ArD: Área de la Dársena: 25,5 ha

En hectáreas, la densidad de individuos fue de 353,3 ind/ha; si esto se extrapola a las 25,5 ha que tiene la Dársena, podríamos suponer que existe una población aproximada de 9010 cangrejos.

En un análisis general de los dos muestreos incluyendo todos los objetivos evaluados en este estudio, podemos observar que con un total de 120 trampas instaladas por muestreo (240 trampas en total), se colectaron 131 individuos de *P. clarkii*, distribuidos así: 43 individuos en el primer muestreo y 88 individuos en el segundo muestreo, este último, duplicó el número de capturas del primer muestreo en la Dársena de PTAP de Tibitoc.

En la tabla 3, se relacionan los organismos colectados por cada uno de los objetivos de esta investigación, por trampa y por sexo. En general, se observa una ligera tendencia a que los organismos más grandes y pesados se colectaron en las trampas Accesotech, mientras que, los más pequeños fueron colectados en trampas Zreal.

Tabla 3. Número de individuos de Procambarus clarkii colectados por muestreo y por objetivo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Los datos con ± reflejan el promedio con la desviación estándar. ACC: Trampa Accesotech, ZRE: Trampa Zreal

Descripción	N° de trampas	N° de indiv. colectados	Peso promedio (g)	Longitud Total promedio (mm)
Muestreo 1	120	43	16,58±7,7	88,58±15,6
C. estomacal*	30	2	28,82±4,2	102,75±7,9
ACC**		2	28,8	102,7
Hembra		1	31,8	108,3
Macho		1	25,8	97,2
Control	60	22	18,18±7,4	91,72±12
ACC**		5	17,9	90,3
Hembra		3	14,8	88,0
Macho		2	22,6	93,8
ZRE***		17	18,3	92,1

Hembra		11	19,9	94,6
Macho		6	14,8	87,5
Densidad	30	19	13,52±6,7	83,46±18,3
ZRE***		19	13,5	83,5
Hembra		8	13,7	82,5
Macho		11	13,4	84,2
Muestreo 2	120	88	19,8±10,2	83,9±25,8
C. estomacal*	30	1	25,60	102,25
ACC**		1	25,6	102,3
Macho		1	25,6	102,3
Control	60	53	18,77±10,7	83,40±27,1
ACC**		38	19,6	85,9
Hembra		11	20,5	88,5
Macho		27	19,2	84,9
ZRE***		15	16,7	77,0
Hembra		3	12,4	71,4
Macho		12	17,7	78,4
Densidad	30	34	21,15±9,4	84,18±24,4
ZRE		34	21,1	84,2
Hembra		12	18,5	74,4
Macho		22	22,6	89,5
Total general	240	131	18,7	85,4

*C. estomacal: contenido estomacal; **ACC: trampa Accesotech; ***ZRE: trampa Zreal

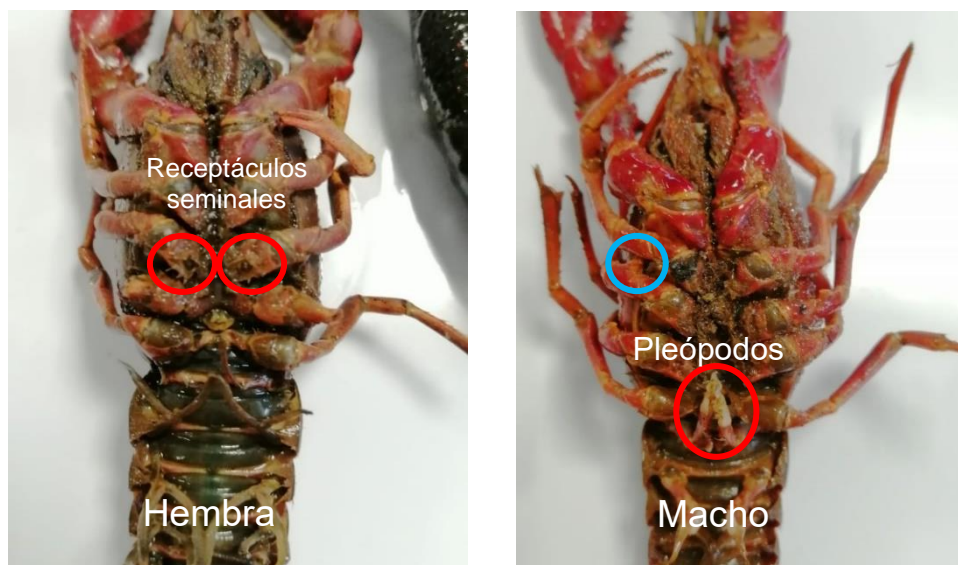
En conclusión, los resultados preliminares evidencian una baja densidad poblacional de cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. Comparando los dos muestreos realizados, hubo un aumento de capturas de cangrejo en el segundo muestreo, sin embargo, la densidad sigue siendo baja. Una posible explicación a esta diferencia entre los dos muestreos puede estar relacionada con la constante precipitación que se presentó a lo largo del año y que para el segundo muestreo tuvo una ligera disminución de lluvias, favoreciendo la actividad del cangrejo rojo.

El polígono uno, es una de las zonas con mayor captura de organismos como lo refleja el CPUE, esto puede estar relacionado con procesos de deriva de cangrejos, que son arrastrados o desplazan a favor del caudal. Por otra parte, la entrada del agua a la Dársena se da por el polígono dos, 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 tres y luego al polígono uno.

Por otro lado, se resalta que los organismos colectados en todas las trampas son adultos con una longitud total y peso parecido, esto puede deberse a que los individuos que forrajean activamente en busca de alimento son los adultos, por lo cual pueden ser más fácilmente atraídos a las trampas que los juveniles que permanecen más tiempo refugiados en las macrófitas.

Diferenciación sexual

Con el fin de diferenciar el sexo del organismo, cada individuo se dispuso en posición ventral para diferenciar sus estructuras reproductivas, identificando los poros genitales y otras estructuras (figura 41). Las hembras poseen aberturas genitales en el tercer par de pereiópodos y los apéndices abdominales del primer y segundo par de pleópodos son vestigiales o inexistentes. Los machos tienen un órgano copulador formado por la modificación del primer y segundo par de pleópodos (gonopodios), la presencia de ganchos copuladores está en el tercer y cuarto par de pereiópodos y las aberturas genitales se encuentran en el quinto par de pereiópodos (Delsinne et al., 2013; Pedroza-Martínez, 2017).



Fuente: Mabel Pimiento

Figura 41. 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, útiles en el proceso de transferencia de espermatozoides a las hembras, en el círculo azul se observan los ganchos copuladores.

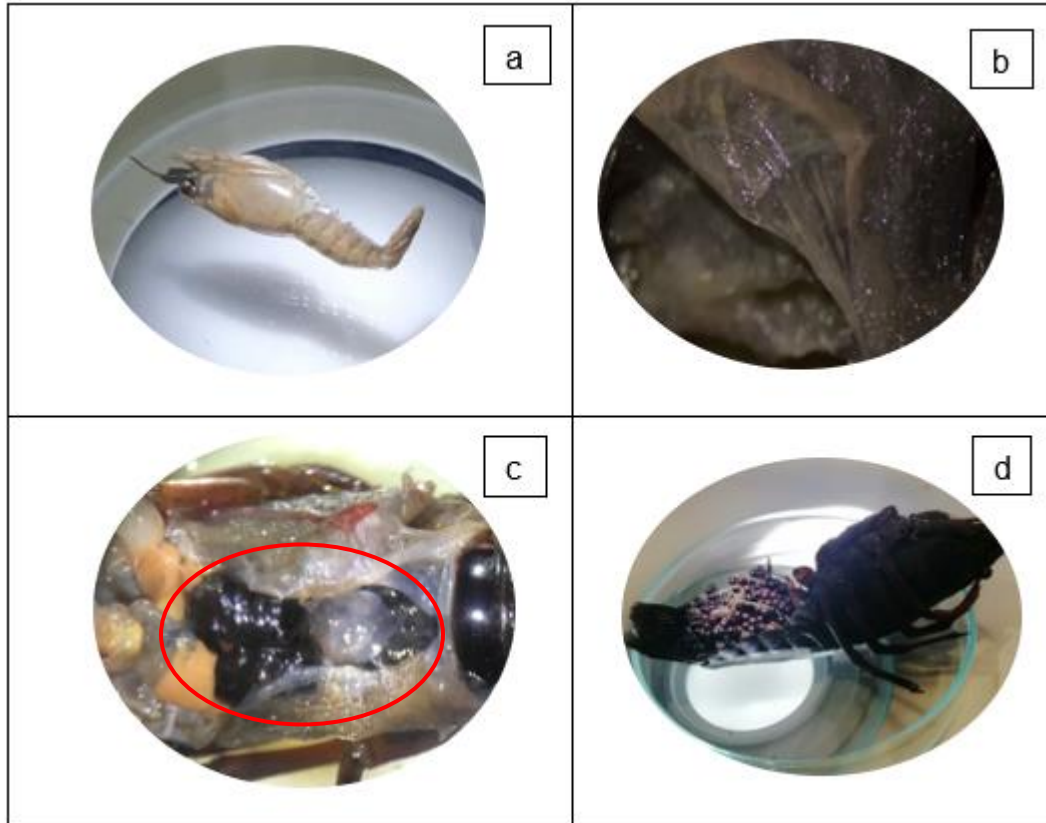
Hembras

Las hembras se dividieron en cuatro categorías principales para determinar su estado de madurez (figura 42).

- **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.



Fuente: Mabel Pimiento

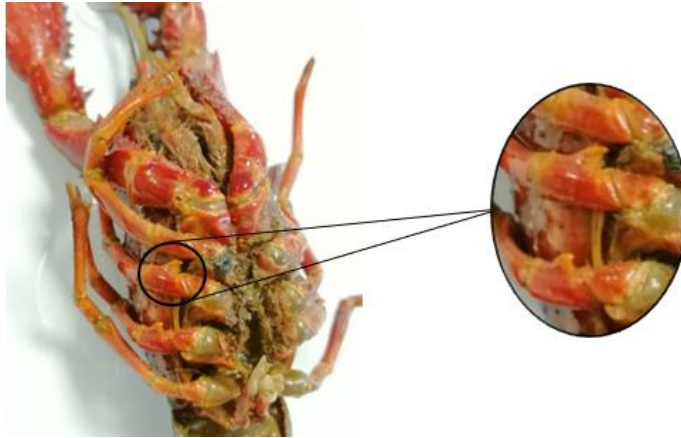
Figura 42. Registro fotográfico de cada uno de los estados de madurez de las hembras de P. clarkii colectados en la Dársena Tibitoc. (a) hembras inmaduras. (b) Cavidad vacía, hembra sin huevos. (c) Hembra con huevos internos presentes (área señalada). (d) Hembra con huevos externos.

Machos

Los machos de acuerdo a 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 43).



Fuente: Mabel Pimiento

Figura 43. Registro fotográfico de la presencia de ganchos en los machos de P. clarkii, categoría de madurez F2.

En total se colectaron 131 individuos de *P. clarkii* en los dos primeros muestreos realizados en la Dársena de Tibitoc; de los cangrejos colectados el 62.6% fueron machos y un 37,4% fueron hembras (tabla 3). Sin embargo, 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), mientras que para el segundo muestreo la relación fue de dos (2) machos por cada 1,37 hembras colectadas (2:1,37).

En la figura 44, podemos observar la distribución de los 131 de 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 uno y tres; para el caso del polígono dos, no se capturaron hembras. En el segundo muestreo, encontramos un cambio en los estadios de madurez de los machos, principalmente en el polígono uno, 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.

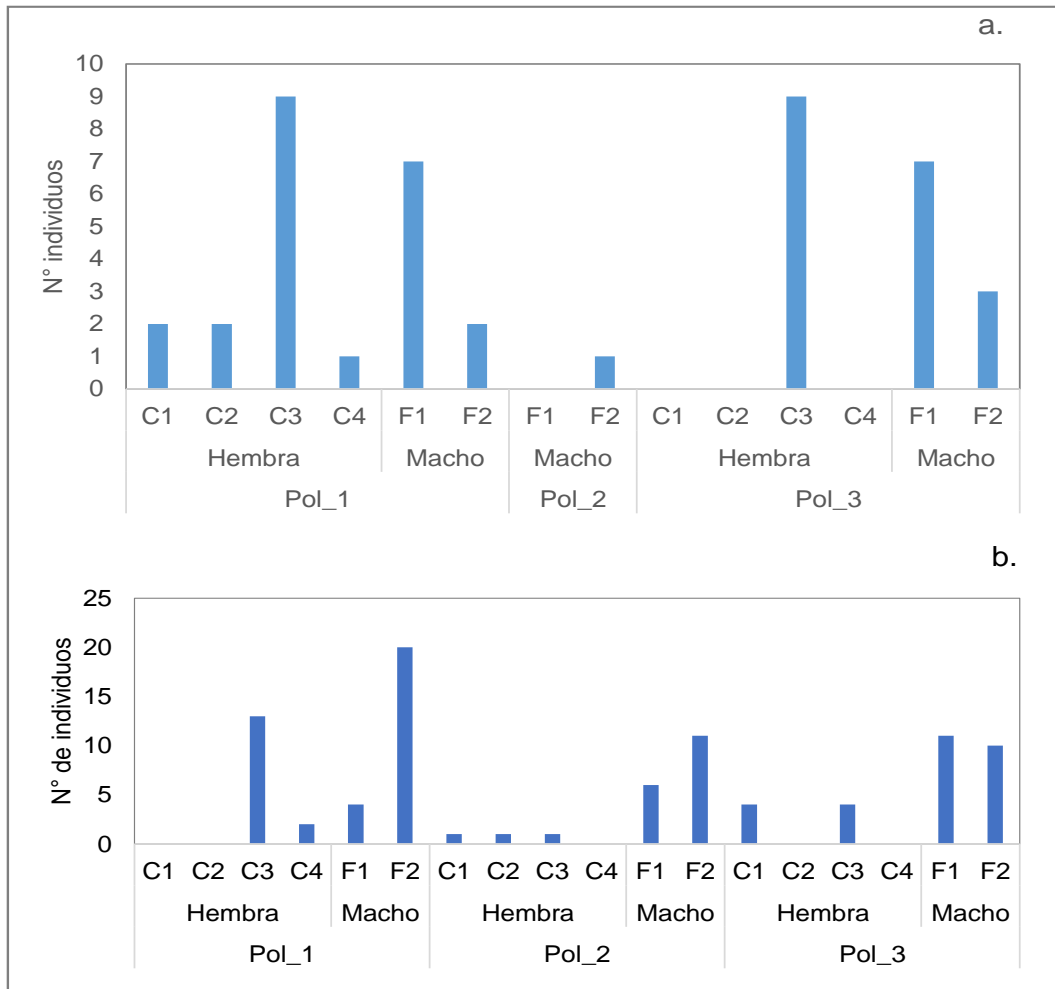
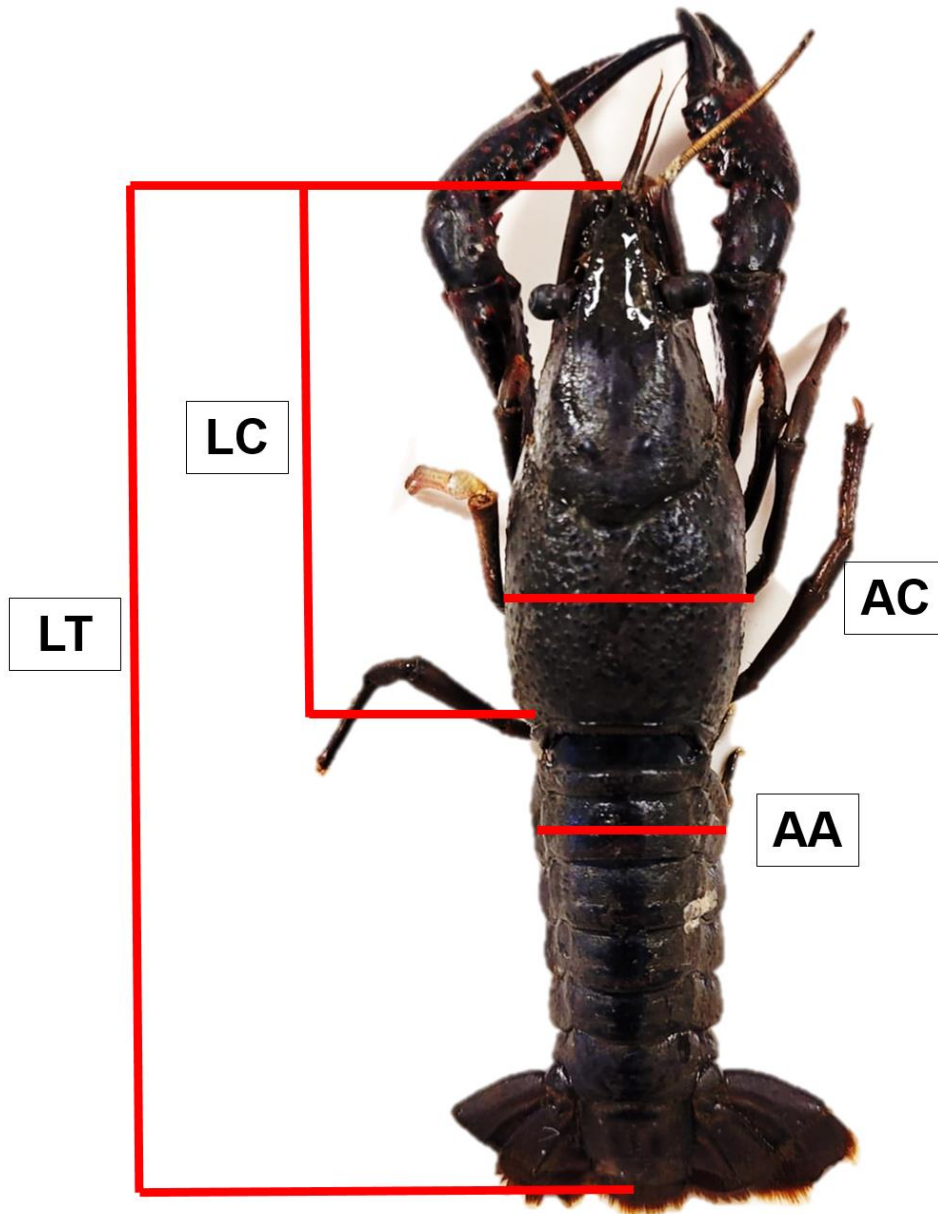


Figura 44. Número de individuos de *P. clarkii* por categoría de madurez colectados en la Dársena Tibitoc. (a) resultados del muestreo N°1 (43 individuos). (b) resultados del muestreo N°2 (88 individuos). Pol_1: Polígono cerca al área de succión; Pol_2: Polígono cerca al área de Bocatoma; Pol_3: Polígono cerca al área de Cosechadora.

En paralelo a la revisión del estado de madurez, se realizaron las medidas morfométricas y el pesaje a los cangrejos recolectados. Las medidas fueron:

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

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



Fuente: Catalina Sarmiento

Figura 45. 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).

En los anexos 1.1 y 1.2, se evidencian las medidas morfométricas de los cangrejos colectados por muestreo, polígono y por objetivo de muestreo, encontrando que los intervalos de tamaño de 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.

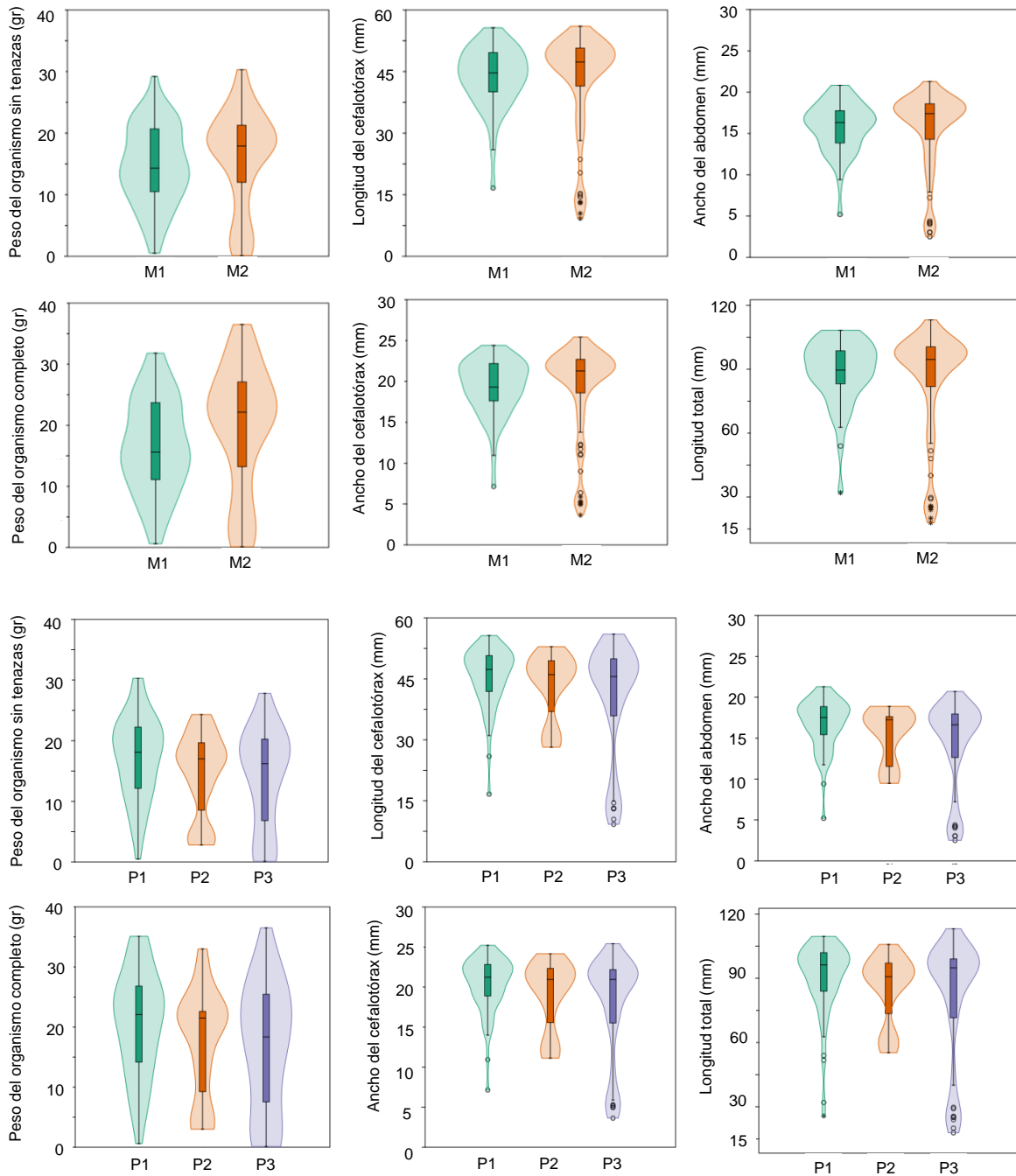


Figura 46. Diagrama de violín con cajas y bigotes de las medidas morfométricas y peso de los individuos de *P. clarkii* colectados en la Dársena de Tibitoc. En la parte superior las comparaciones de todos los cangrejos por muestreos (M1-Muestreo 1, M2-Muestreo 2) y

en la parte inferior los individuos se compararon por polígono de muestreo (P1-Polígono 1, P2-Polígono 2, P3-Polígono 3).

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, mientras que, en el segundo muestreo, los organismos colectados fueron ligeramente más pesados. Este comportamiento también se apreció en las medidas morfométricas, donde se concentró la mayor proporción de organismos grandes en el segundo muestreo (figura 46).

Comparando las medidas morfométricas de los organismos por polígonos, se nota ligeras diferencias entre los polígonos, donde el polígono 1, tiene organismos ligeramente más anchos, pero no los más largos. La mayoría de los organismos pesan entre 20 y 25 g de peso completo. Respecto al cefalotórax, los organismos tuvieron medidas similares con pocos organismos por fuera de la media.

Por otro lado, se analizaron las diferencias estadísticas del total de los organismos colectados (131), por peso y longitud total, comparándolos por muestreo y por polígono. Para esto se usó la prueba de Mann-Whitney para establecer diferencias entre muestreos y la prueba de Kruskal-Wallis para comparaciones por polígono. Con base en los resultados podemos decir que por polígono los organismos colectados no tuvieron diferencias estadísticas ni en el peso ni en la longitud total. Los organismos colectados fueron en promedio muy parecido en su tamaño. Sin embargo, por muestreo el peso de los organismos si fue diferente estadísticamente, encontrándose organismos más pesados en el segundo muestreo. 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.

Item	Peso de los organismos	Longitud total	Longitud del cefalotorax	Ancho del cefalotorax	Ancho del abdomen
Muestreo	$p < 0,03^*$	$p = 0,089$	$p = 0,88$	$p = 0,969$	$p = 0,8742$
Polígono	$p = 0,1158$	$p = 0,3913$	$p = 0,2809$	$p = 0,1905$	$p = 0,0467$ (Pol 1 y pol 3)

El individuo más pesado fue colectado en el polígono tres con 36,5 g; al igual que el más liviano (0,1 g) ambos durante el segundo muestreo.

El crecimiento de los crustáceos cambia conforme ellos crecen, por tal motivo, se evidencia que variables morfométricas cambian su ritmo de aumento dependiendo del sexo y 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 a su ciclo reproductivo entre otros. La alometría permite identificar los cambios sustanciales de una variable como la longitud total frente al peso de una población, en comparación con otra, o de una población a lo largo del tiempo. El crecimiento ha sido clasificado como alométrico negativo ($b < 3$) y alométrico positivo ($b > 3$) y es dada por la fórmula matemática $Y = a \times b$ de Huxley (Gayon, 2000), en las figuras 47 y 48 podemos observar cómo cambia el peso sin tenazas con respecto a la longitud del individuo.

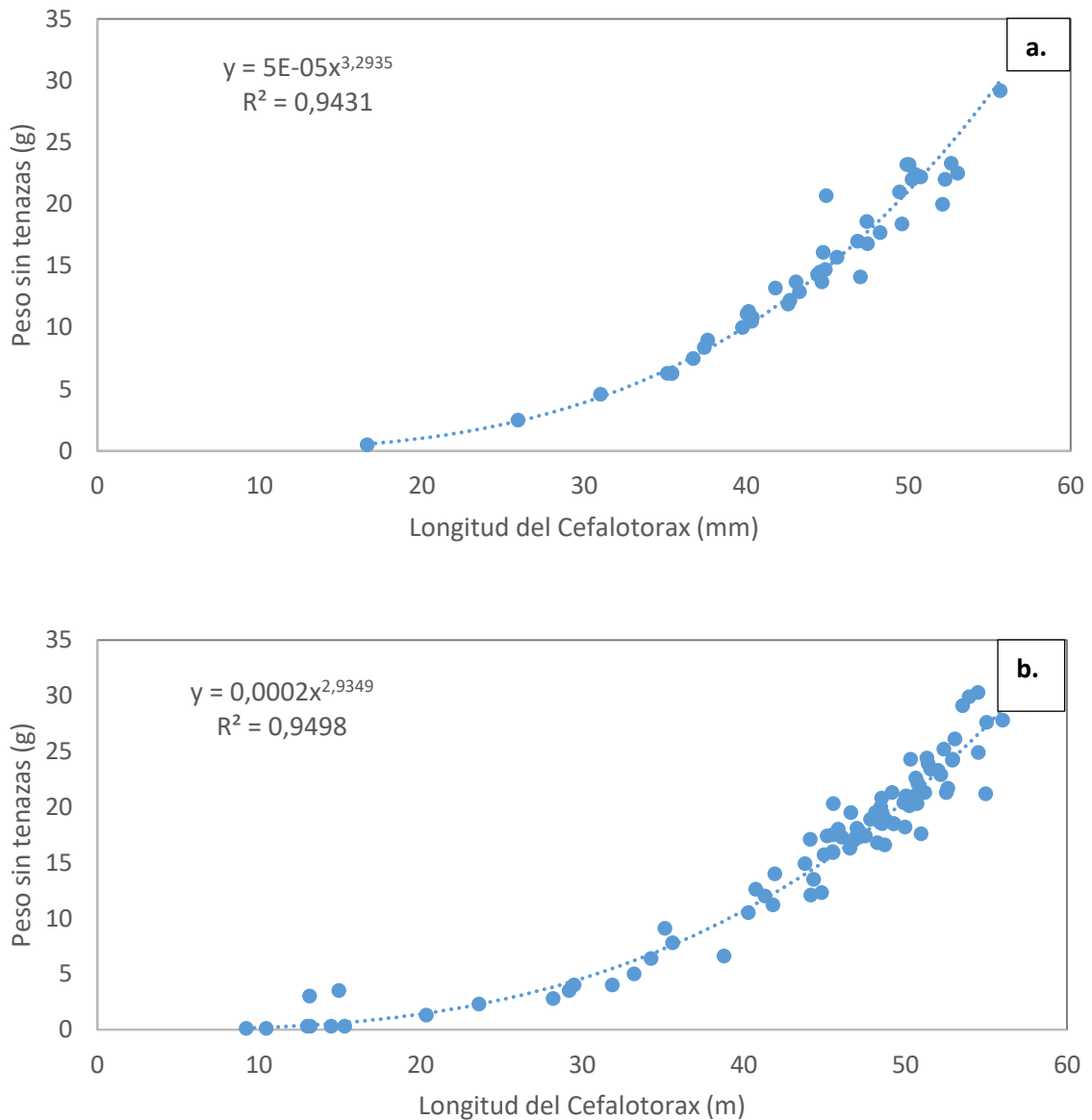


Figura 47. Relación entre la longitud del cefalotórax y el peso del cangrejo rojo americano sin tenazas: a: Primer muestreo, b. Segundo muestreo.

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, contrastan entre los dos muestreos. Al analizar el primer muestreo se observa un crecimiento alométrico positivo $b = 3,29$ con $p < 0,0001$ $r = 0,9431$, lo que quiere decir que toda la población está aumentando el peso en mayor proporción que la longitud. Por el contrario, durante el segundo muestreo se encontró una alometría negativa $b = 2,93$ con $p < 0,0001$ $r = 0,9498$ en donde la longitud esta aumentado en mayor proporción que el peso.

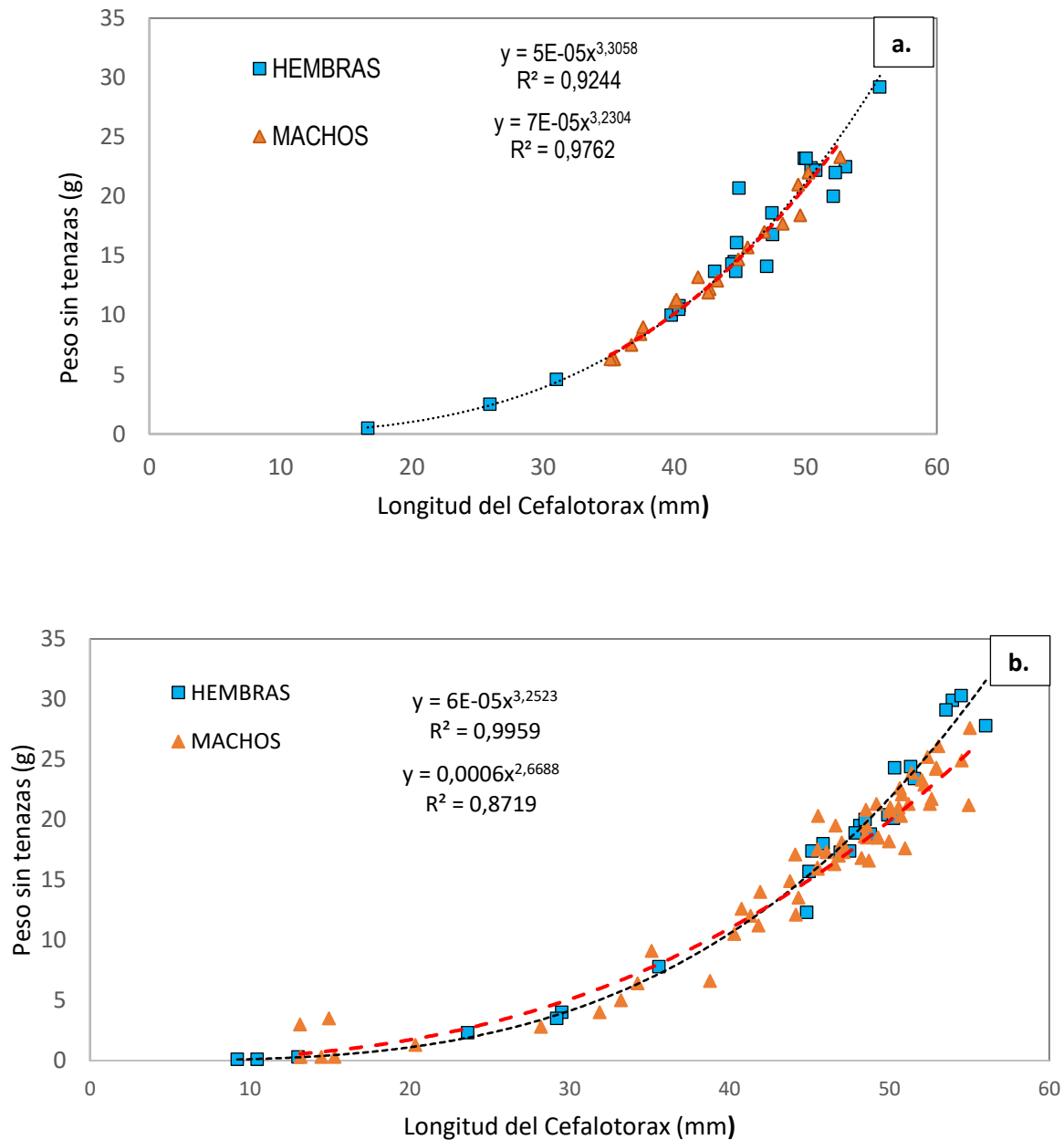


Figura 48. Relación de la longitud del cefalotórax Vs el peso del cangrejo sin tenazas: a: Hembras y machos del primer muestreo, b. Hembras y machos del segundo muestreo.

Al analizar el tipo de crecimiento de los individuos de *P. clarkii* en la dársena entre sexos en el primer y segundo muestreo se encuentra que, en el primer muestreo los dos sexos presentan un crecimiento alométrico positivo, hembras $b = 3,30$ con $p < 0,0001$ $r = 0,924$ y machos $b = 3,23$ con $p < 0,000$ $r = 0,976$.

En el segundo muestreo las hembras continuaron con un crecimiento alométrico positivo, $b = 3,25$ con $p < 0,0001$ $r = 0,977$, pero los machos presentaron un crecimiento alométrico negativo $b = 2,66$ con $p < 0,0001$ $r = 0,942$, 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 en un evento reproductivo, que podría ser verificado en los datos del último muestreo.

Estructura de Tallas

En varios de los organismos que son de interés comercial y acuícola, la evaluación de las tallas de la especie es un factor biológico importante. 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. En el área de la acuicultura, el conocimiento de la talla permite hacer capturas responsables de los organismos para el mantenimiento de la densidad poblacional de la especie en un lugar en particular. 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, tener conocimiento sobre la estructura de las tallas de *P. clarkii* en la Dársena permite evaluar su longevidad, sus tamaño ideal, tiempos reproductivos y talla objetivo para control poblacional.

Actividades de campo

Para la estructura de tallas se usaron todos individuos capturados durante los dos muestreos, los detalles de las actividades de campo están explicados en cada uno los objetivos de la investigación.

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 49), donde en 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 dos 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.

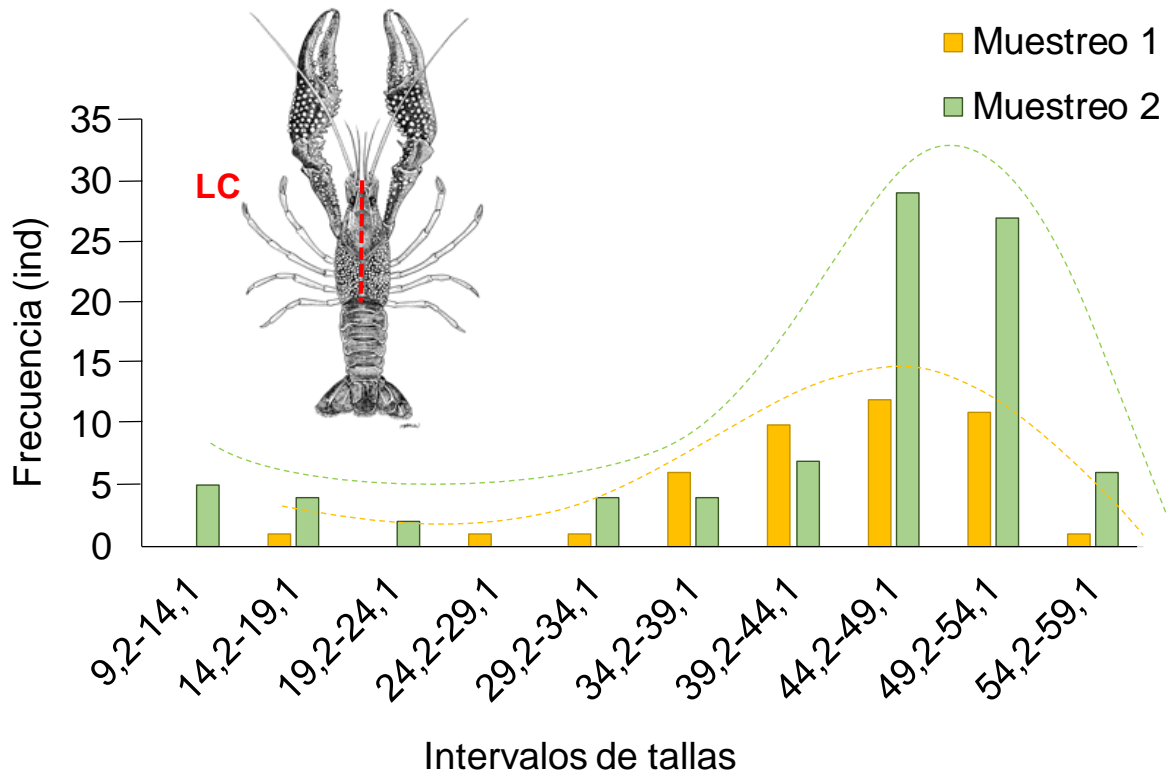


Figura 49. Histograma de intervalos de tallas de *Procambarus clarkii* en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, por campaña de muestreo.

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

t_0 : 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

t_0 : 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 de la Dársena de la PTAP de Tibitoc tienen un K de 1,6 y L_{∞} de 51,7; esto significa que, la longevidad esperada para el cangrejo rojo americano en la Dársena es $t_{max} = 1,875$; lo cual nos da como resultado preliminar que los cangrejos pueden tener un tiempo estimado de vida de 1,9 años aproximadamente y una longitud media de 51,7 mm.

DISCUSIÓN

Respecto a densidad poblacional, en el polígono uno y el polígono y tres, se realizaron las capturas más abundantes respecto al total preliminar de los dos muestreos, lo que indica que existe una posible preferencia del cangrejo rojo por esas zonas, especialmente el polígono uno. Sin embargo, la densidad de cangrejo ($0,08 \text{ ind/m}^2$) es baja respecto a otros estudios hechos en el país. Por ejemplo, Flórez-Brand y Espinosa-Beltrán, (2011), en el Valle del Cauca, reportaron una densidad en promedio de $1,4 \text{ ind/m}^2$ y otros estudios hechos en el lugar de origen del cangrejo su densidad puede ser de 11 ind/m^2 (Huner, 1978).

En los resultados obtenidos de manera preliminar para la población de *P. clarkii*, que habita la Dársena de Tibitoc, se observa un tamaño mínimo de longitud del cefalotórax de 9,2 mm y un máximo registrado de 56 mm. La mayor frecuencia de tallas se encontró en los intervalos de 44,2 a 54,1 mm, lo que corresponden a individuos 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). Respecto al peso, la población tiene un peso promedio de 18,42 g, este peso es menor comparado con otra población exótica, como la de España, cuyo peso promedio fue de 22,2 (Dörr et al., 2006).

Cabe resaltar que la abundante cantidad de macrófitas presentes en la Dársena proveen refugio y alimento a los juveniles y que, por tanto, la necesidad de buscar alimento en otro tipo de recurso como el que ofrecen las trampas, puede no ser atractivo para los juveniles, y esto se refleja en la baja captura de individuos de tamaños pequeños.

A partir de los resultados obtenidos, también se encontró que el tiempo máximo de vida o longevidad de los organismos es de aproximadamente 1,9 años. Esta información concuerda con Franco-Sustaita (2014); el cual reporta que los organismos como *P. clarkii* viven hasta dos años o menos.

En cuanto a la morfometría, se encontraron organismos ligeramente más grandes en el segundo muestreo, especialmente en el polígono uno. Aunque, las pruebas estadísticas reflejaron solo diferencias significativas en el peso de los cangrejos por polígono.

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).

Actividades de Laboratorio

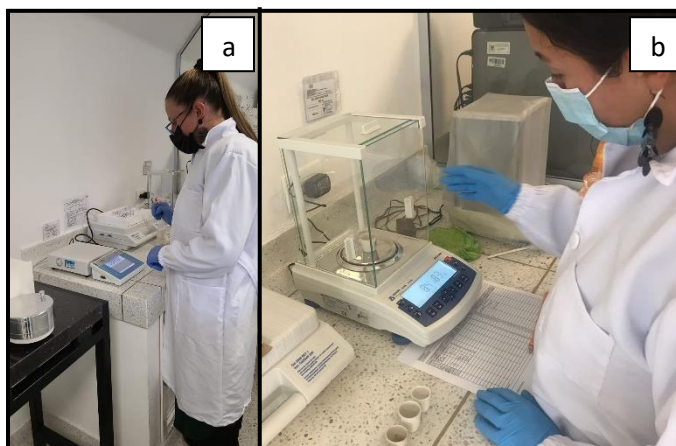
Los aspectos reproductivos de *P. clarkii* se midieron a través del índice gonadosomático (IGS) y el índice hepatosomático (IHS). Estos dos índices son indicadores del paso de reservas energéticas desde el hepatopáncreas hacia las gónadas, adicional a estos índices se midió el índice de maduración a 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, y finalmente, otro aspecto evaluado fue la producción de huevos la cual se midió a través del conteo de huevos internos en las hembras; los análisis se obtuvieron a partir de 128 individuos (47 hembras y 81 machos).

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 (figura 50). Cabe resaltar que, de los 131 cangrejos recolectados, tres individuos eran muy pequeños, por lo cual no fueron procesados para este aspecto.



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 respectivo 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). El proceso de pesaje, fue realizado en la balanzas analítica y ultra-analítica según el caso.



Fuente: Mabel Pimiento

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.

Índice gonadosomático: se analizaron 36 hembras, las cuales se encontraban en categoría tres de madurez sexual (C3: Hembras Ovíferas: Hembras que presentan huevos en estado de desarrollo interno) y 47 machos en categoría dos (C2: 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):

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

Donde IGS= índice gonadosomático

PG= Peso de las gónadas

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.

Resultados

A partir de los cálculos realizados para cada uno de los muestreos, se obtuvo: Un IGS con un valor medio de $1,36 \pm 2,62$ para el primer muestreo, con un mínimo de 0,034 en el Polígono tres y un máximo de 8,6 registrado en el Polígono uno. En el segundo muestreo, el IGS alcanzó un valor medio de $0,51 \pm 0,79$, con un valor mínimo de 0,02 registrado en el Polígono uno, y un máximo de 3,36 en el mismo polígono. Los resultados muestran que la mayoría de las hembras se encuentran en un estado inmaduro de los ovarios y en una etapa temprana del ciclo reproductivo.

En la figura 52 se observa el IGS para hembras y machos durante los dos muestreos. La mitad de las hembras colectadas para los dos muestreos presentan un IGS inferior a uno, mostrando en un alto porcentaje hembras con ovarios inmaduros. Sin embargo, algunas hembras alcanzan IGS superiores a cuatro, lo que significa que presentan un estado gonadal óptimo, previo a la etapa de desove. En cuanto a los machos, las medianas en los dos 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.

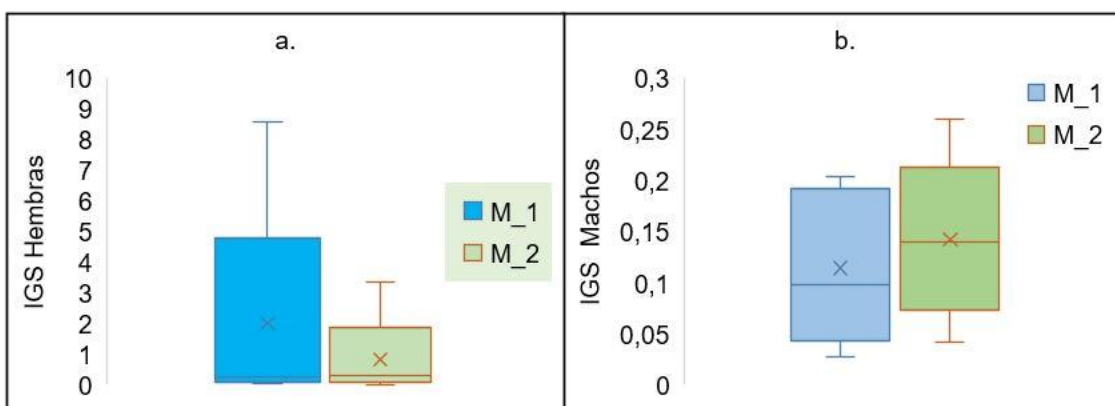


Figura 52. IGS (índice gonadosomático) de *Procambarus clarkii* por muestreo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc. (a) Hembras. (b) Machos. M 1: Muestreo N°1; M 2: Muestreo N°2.

Adicional al cálculo del IGS, 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 polígonos y se utilizó la prueba de correlación Lineal de Pearson, que refleja que no existe una correlación entre la longitud del cefalotórax y el IGS, Pearson ($p=0,657$).

Índice hepatosomático IHS: Para el cálculo del índice IHS se tomaron los 128 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 53). Los datos obtenidos fueron registrados en el respectivo formato para su posterior

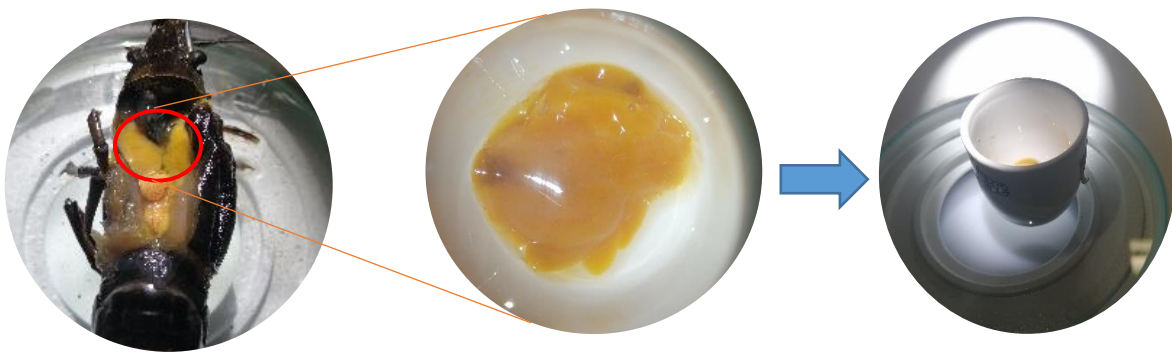
análisis. Con la información obtenida se calculó el índice hepatosomático así (Ferré et al., 2012):

$$IHS = PH / PHsT * 100$$

Donde IHS= Índice hepatosomático

PH= Peso del hepatopáncreas.

PHsT= Peso húmedo del organismo sin tenazas.



Fuente: Mabel Pimiento

Figura 53. Proceso de disección y extracción de hepatopáncreas de P. clarkii colectados en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Resultados

El rango del índice hepatosomático calculado para las hembras, se encuentra entre 0,739 y 6,667, se observa, 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 las hembras, y en consecuencia se da la reducción del hepatopáncreas. 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.

Sexo	Estado de madurez	N	Máximo	Promedio	Mínimo	Desviación estándar	Coef. Variación
Hembras	C1	5	6,667	3,384	1,000	2,243	0,663

	C2	3	3,775	1,985	0,858	1,567	0,790
	C3	36	6,303	3,497	0,739	1,651	0,472
	C4	3	3,208	2,689	1,860	0,725	0,270
Machos	F1	34	7,300	3,062	0,150	1,546	0,505
	F2	47	7,239	3,398	0,110	1,454	0,428

Para el caso de los machos, los máximos y mínimos en las dos diferentes etapas de madurez, son casi constantes, 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).

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 36 hembras de categoría tres (C3: hembras ovígeras) usando un estereoscopio de 40 X de aumento. Los huevos externos se midieron con un calibrador digital en hembras de categoría cuatro (C4: Postovígeras, hembras con presencia de huevos externos adheridos en los pleópodos); los huevos externos no se contaron, 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).

A partir del proceso de disección y extracción de los huevos en laboratorio, se encontraron hembras con un mínimo de 34 huevos, así como un máximo de 855 huevos. El rango promedio de huevos de las hembras de cangrejo rojo colectadas en la Dársena de la PTAP de Tibitoc se encuentra entre los 340 y los 728 huevos.

Índice de maduración

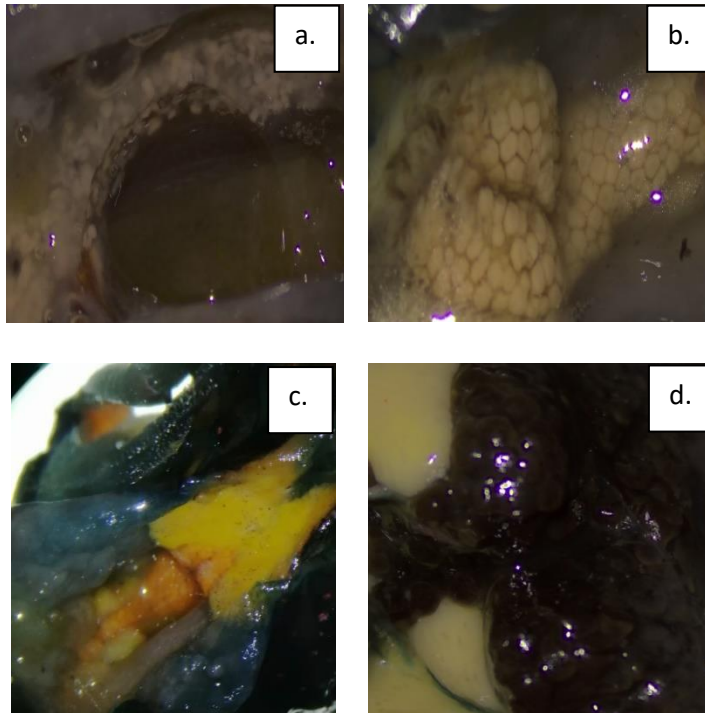
El índice de maduración es un valor que provee información sobre el grado de madurez de las gónadas de las hembras, a partir de su coloración. Para ello, se tomaron las gónadas extraídas de las hembras de cada muestreo, y se categorizaron por color de la siguiente manera siguiendo la metodología de (Guerra y Niño 1996, Anastacio et al., 2009), (ver figura 54).

Estado K- 1: gónadas blancas

Estado K – 2: gónadas amarillas

Estado K – 3: gónadas naranjas

Estado K - 4: gónadas cafés.



Fuente: Mabel Pimiento

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.

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 = Índice de madurez

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

Resultados

Se analizaron un total de 44 hembras, 18 hembras del primer muestreo y 26 hembras del segundo muestreo, según los datos obtenidos a partir de la disección de organismos y la verificación del estado K según la coloración de los huevos al momento de extraer las gónadas, se puede apreciar que en el primer muestreo (figura 55), la mayoría de las hembras colectadas 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) en su mayoría, en relación al total de las hembras colectadas en los tres polígonos.

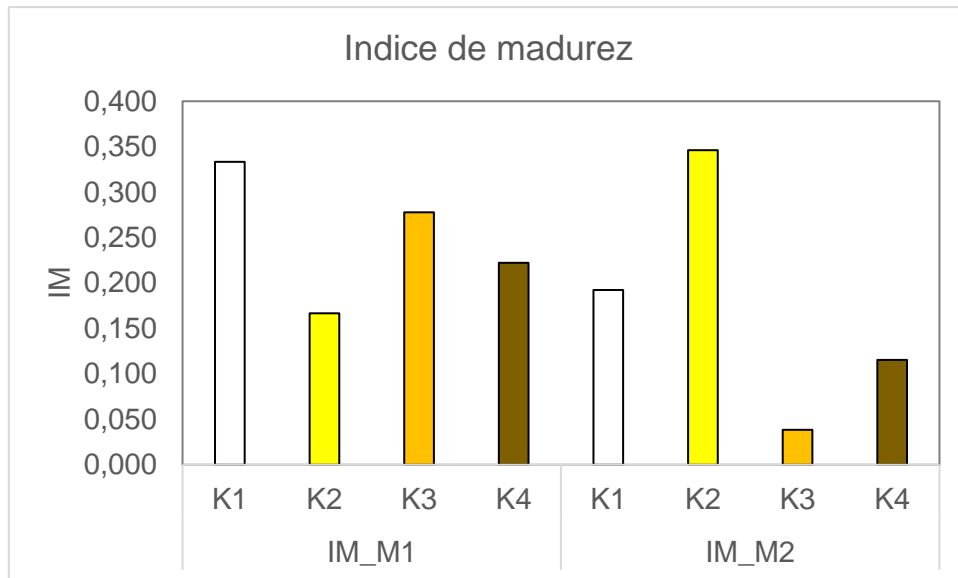


Figura 55. Índice de madurez (IM) de las gónadas de las hembras de *P. clarkii* colectadas en Dársena de la PTAP de Tibitoc durante los muestreos 1 y 2.

Los resultados preliminares, indican que, en promedio la producción de huevos por parte de las hembras de *P. clarkii*, es alto, sin embargo, existe una diferencia en el número de huevos según el estado de madurez (coloración). En el segundo 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 las hembras con tamaño superior a 90 mm LT, albergan en general un número superior de huevos, por ejemplo, en una hembra de 106,07 mm se contaron 835 huevos depositados en la parte superior del cefalotórax (figura 56).

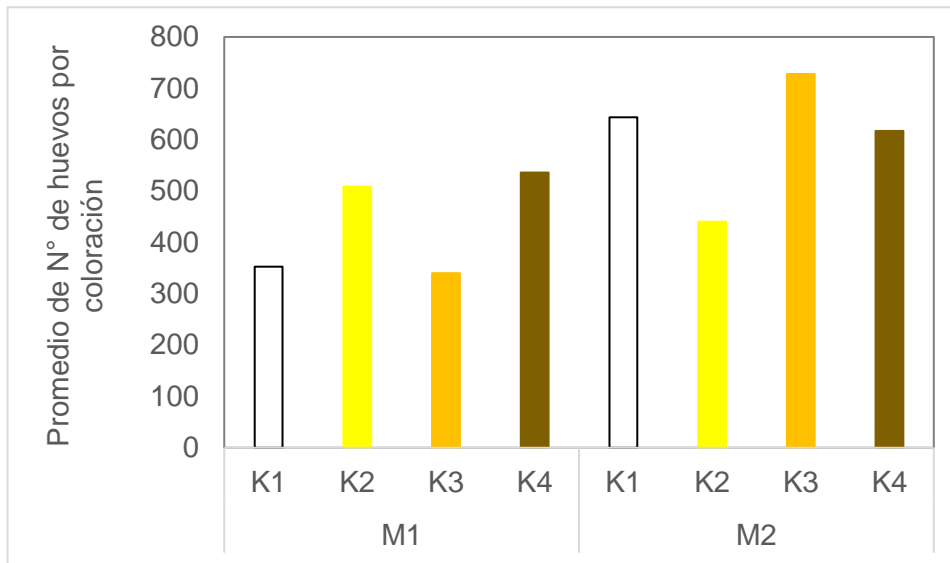


Figura 56. Promedio de huevos internos, de las hembras colectadas en Dársena de Tibitoc durante los dos muestreos.

Por otro lado, la distribución de cada uno de los estados K de maduración de las gónadas de hembras de *P. clarkii* para el primer muestreo, indica la presencia de hembras en los cuatro niveles K de maduración de los huevos para el caso de los polígonos uno y tres; el mismo patrón es presentado en las hembras colectadas en el polígono uno del segundo muestreo; sin embargo, existe ausencia de hembras con gónadas maduras en el polígono dos y tres (figura 57).

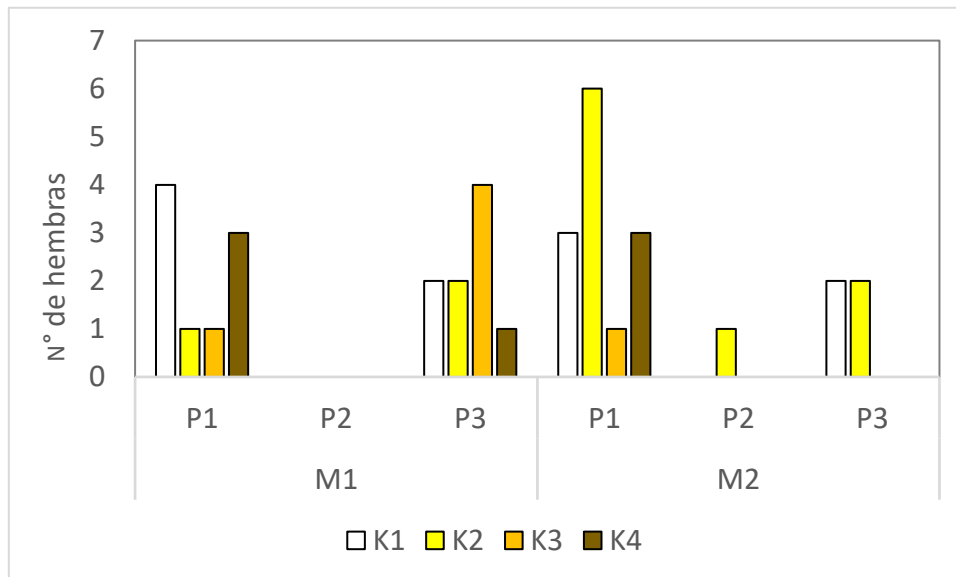


Figura 57. Número de hembras de *Procambarus clarkii* por estado K de maduración de los huevos internos por cada polígono.

DISCUSIÓN

Los resultados preliminares 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 presentaban gónadas en la etapa inicial de maduración, fase de maduración uno y dos; del total de hembras ovígeras colectadas (n=36), 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, los datos preliminares indican que la mayoría de las hembras colectadas, no presentan un estado óptimo para la reproducción.

Es importante mencionar que, según los datos preliminares los dos muestreos realizados, reflejan la presencia de diferentes estadios de desarrollo, según la valoración del IGS, coloración de los huevos en las hembras y el IHS; sin embargo, estos datos no referencian un patrón específico 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. El hecho de presentar 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 diferente estado 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)).

La ausencia de huevos en algunas de las hembras analizadas con tamaños superiores a 60 mm (hembras maduras), puede estar condicionada por factores como los cambios de muda, ya que durante el proceso de ecdisis, donde se elimina el exoesqueleto antiguo debido al aumento de tamaño y formación de un nuevo exoesqueleto, existe un gasto de energía adicional, el cual es requerido para otros procesos como la fase de vitelogénesis; la alta demanda energética durante el proceso de muda puede generar un fenómeno de reabsorción de las gónadas (Rodríguez-Almaraz, 1992).

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, como resultados preliminares se aprecia en promedio valores superiores en los estadios C1 y C3 de las hembras; y valores casi constantes en los machos, 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*, presentan diferentes estrategias de aprovechamiento de las reservas de energía donde, las hembras invierten más energía

para la vitelogénesis y crecimiento, mientras los machos invierten energía sólo en crecimiento y muda.

Con respecto al número de huevos internos, algunas hembras presentan cantidades considerables de huevos, con valores hasta de 855 huevos, sin embargo, 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).

CONCLUSIONES

- Los datos preliminares, que corresponden a los dos muestreos en la Dársena de Tibitoc, reflejan la presencia de hembras y machos de *P. clarkii*, con todos los estados gonadales presentes para ambos muestreos. 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.
- 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.
- 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

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. A continuación, se describen tanto las actividades de campo como de laboratorio y los principales resultados de la revisión y análisis de los contenidos estomacales del cangrejo rojo americano que nos permitieron identificar la dieta del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Actividades de campo

Los muestreos se realizaron en dos salidas de campo, correspondiente a los meses de diciembre del 2021 y enero del 2022 de acuerdo a lo programado en el Project.

La instalación de las trampas se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta en el Producto uno, la cual consistió en instalar 30 trampas Accesotech en toda la Dársena distribuidas en tres polígonos (ver figura 1). En cada una de las estaciones, se instaló una línea de 10 trampas aseguradas a un marcador afuera en la orilla, 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; en el interior de cada trampa se dispuso un recipiente plástico agujereado (cebador) el cual contenía 50 g de alimento procesado para felino como atrayente, este se utilizó por ser uno de los cebos probados en las visitas de reconocimiento como el más atrayente para el cangrejo rojo (figura 58). Esta actividad contó con un esfuerzo de muestreo de tres horas para evitar que el alimento que previamente había consumido el cangrejo fuera digerido por completo; después del tiempo de exposición de las trampas estas se retiraron de la Dársena.



Figura 58. Cebo (alimento procesado para felino) empleados en la captura de cangrejos para el análisis de contenidos estomacales y trampas Accesotech.

Los especímenes fueron sacrificados de la misma forma descrita con anterioridad para los análisis de la biología y ecología del cangrejo rojo.

Actividades de laboratorio

Los individuos capturados se separaron por estación de muestreo y por sexo (hembras, machos (>60 mm)) y juveniles, en total se colectaron dos individuos en los dos muestreos, por lo que se tuvo que analizar 59 cangrejos colectados para los objetivos de densidad poblacional y control, esto con el fin de tener una muestra representativa y robusta para hacer los análisis estadísticos.

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. A continuación, se presenta un resumen de estas medidas en la tabla 6, donde los organismos de mayor tamaño corresponden al

polígono uno para el primer muestreo y al polígono tres para el segundo muestreo. En total se analizaron los contenidos estomacales de 34 machos y 27 hembras, capturados en ambos muestreos. Cabe mencionar que en el primer muestreo se capturo solamente un organismo para el polígono dos el cual presento el estómago vacío.

Tabla 6. Promedios de longitud y numero de machos y hembras a las cuales se les realizó análisis de contenidos estomacales.

Muestreo 1 Polígono	Promedio de Longitud Total (mm)	Promedio de Peso húmedo del organismo completo (g)	Hembras	Machos
1	92,4	19,3	8	4
2	105,8	22,0		1
3	89,3	16,7	9	8
Total general	90,653	17,9	17	13
Muestreo 2 Polígono	Promedio de Longitud Total (mm)	Promedio de Peso húmedo del organismo completo (g)	Hembras	Machos
1	98,3	25,7	5	6
2	84,4	15,5	2	8
3	101,1	26,0	3	7
Total general	94,767	22,5	10	21

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 59).

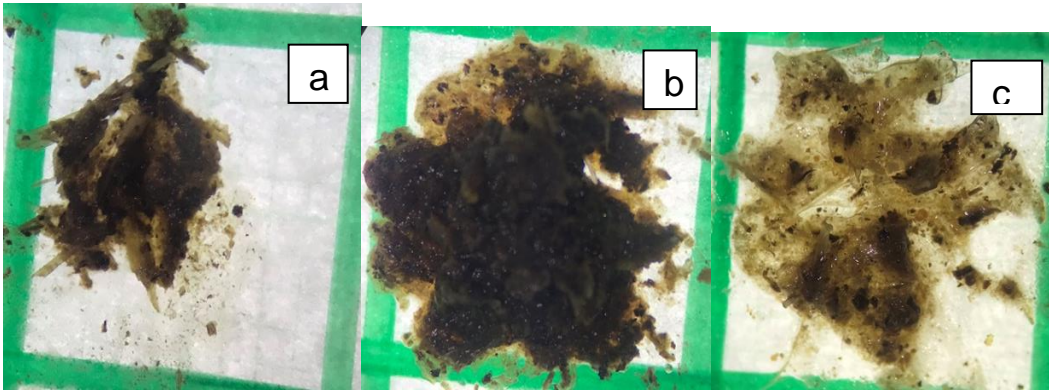


Figura 59. Principales ítems alimentarios A. Tejido Vegetal, B. Detritos, C. Tejido Animal

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:

Coefficiente de vacuidad (CV)

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

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

Para los dos primeros muestreos encontramos que 10 cangrejos tenían el estómago vacío de un total de 61, para un CV de 16,39% (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficiente de vacuidad para el primer y segundo muestreo.

Muestreo	Estómagos Vacíos	Total Estómagos	CV
1	5	30	16,6
2	5	31	16.1
1 y 2	10	61	16,39

Frecuencia de ocurrencia (FO)

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

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

Donde:

% FO_i: es la frecuencia de ocurrencia del ítem i

ni: es la cantidad de estómagos con el ítem i

N: es el número total de estómagos

Como resultado preliminar de los primeros dos muestreos (tabla 8), se observa que el detrito es ítem alimentario más representativo con presencia en el 96 %, seguido del tejido vegetal con el 86% y por último el tejido animal con el 64%.

Tabla 8. Porcentaje de frecuencia de ocurrencia para cada ítem alimentario, determinados en los dos muestreos.

Muestreo 1	Estómagos con ítem	Estómagos Con Alimento	%F O
Tejido Vegetal	21	25	87,5
Detritos	25	25	100
Tejido Animal	17	25	68
Muestreo 2			
Tejido Vegetal	22	25	88
Detritos	23	25	92
Tejido Animal	15	25	60
Muestreo 1 y 2			
Tejido Vegetal	43	50	86
Detritos	48	50	96
Tejido Animal	32	50	64

Frecuencia numérica (FN)

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

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

Durante el análisis de los estómagos de *P. clarkii*, se han identificado en total 35 presas (tabla 9), para el primer muestreo se obtienen 25 tipos de presas y para el segundo muestreo se observaron 24 presas.

Con respecto a la frecuencia numérica de presas se observa que *Ankistrodesmus* sp., *Aphanothece* sp., *Navicula* sp., *Fragillaria* sp. y *Nitzschia* sp., son los géneros de microalgas más frecuentes presentes en 50 estómagos de los 59 analizados; por otro lado, los

individuos de la familia Chironomidae (Diptero) fueron los más representativos de los macroinvertebrados bentónicos (figura 60).

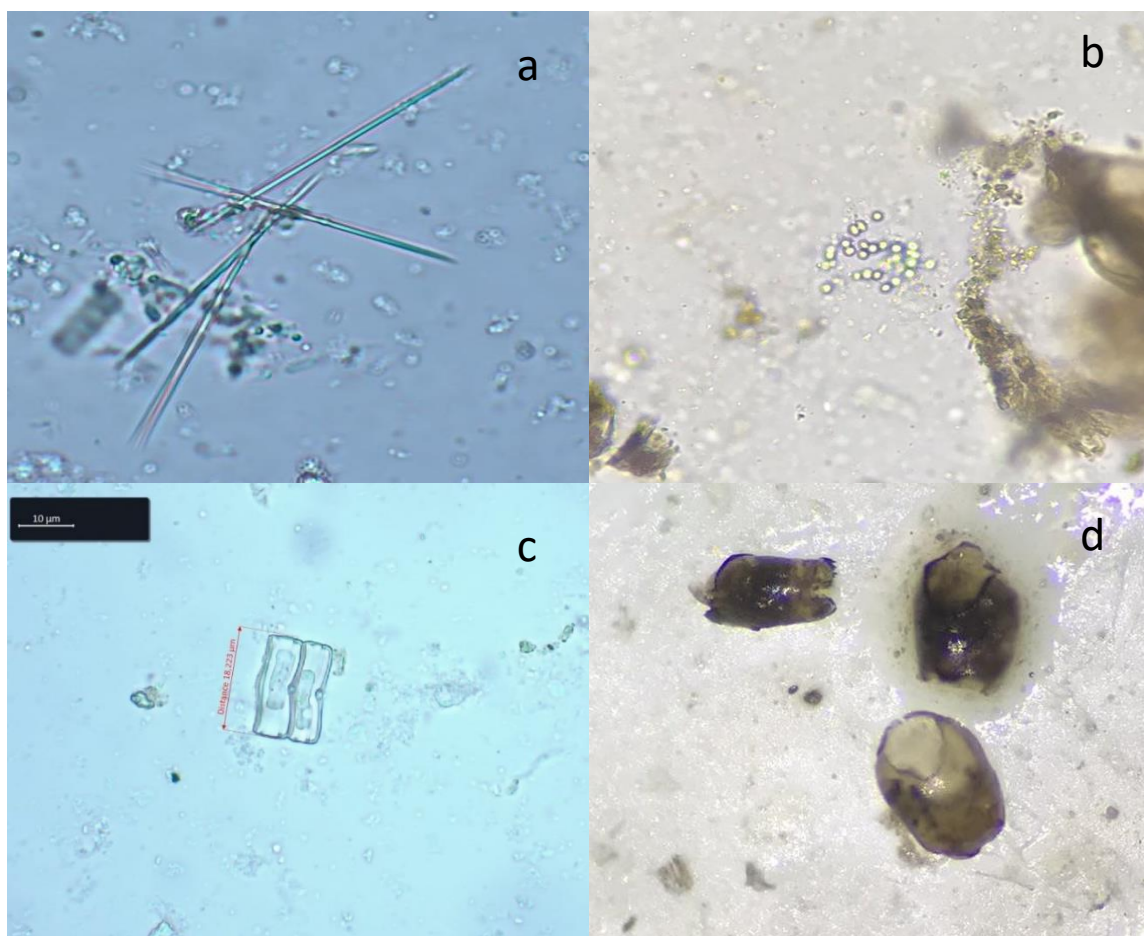


Figura 60. Presas más abundantes identificadas en los estómagos del cangrejo rojo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc: A: *Ankistrodesmus* sp.; B: *Aphanothece* sp.; C: *Eunotia* sp.; y D: *Chironomidae* sp. Fuente: F. Mesa.

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	Muestreos Total: 35 presas		Muestreo 1: 25 presas		Muestreo 2: 24 presas	
	TOTAL	FN	TOTAL	FN	TOTAL	FN
Microalgas						
<i>Ankistrodesmus</i>	1570	63,7	353	55,3	1217	66,7
<i>Aphanothece.</i>	232	9,4	27	4,2	205	11,2
<i>Navicula</i>	51	2,07	14	2,19	37	2,02
<i>Ulnaria</i>	29	1,17	5	0,78	24	1,31

<i>Nitzschia</i>	25	1,01	1	0,15	24	1,31
<i>Melosira</i>	20	0,81	4	0,62	16	0,87
<i>Achnantheidium</i>	18	0,73	6	0,94	12	0,65
<i>Pleurococcus</i>	17	0,69	17	2,66	0	0
<i>Discostella</i>	14	0,56	1	0,15	13	0,71
<i>Gomphonema sp1</i>	13	0,52	1	0,15	12	0,65
<i>Aulacosira</i>	4	0,16	0	0	4	0,21
<i>Oedogonium</i>	5	0,20	0	0	5	0,27
<i>Gomphonema parvulum</i>	7	0,28	1	0,15	6	0,32
<i>Trachelomonas</i>	4	0,16	0	0	4	0,21
<i>Pinnularia</i>	2	0,08	2	0,31	0	0
<i>Desmodemus</i>	2	0,08	0	0	2	0,11
<i>Staurastrum</i>	2	0,08	0	0	2	0,11
<i>Tribonema</i>	1	0,04	1	0,15	0	0
<i>Staurosira</i>	1	0,04	1	0,15	0	0
<i>Gomphonema sp2</i>	1	0,04	0	0	1	0,05
<i>Euglenophyta</i>	1	0,04	0	0	1	0,05
Macroinvertebrados						
<i>Chironomidae</i>	53	2,15	20	3,13	33	1,80
<i>Homóptera</i>	6	0,24	5	0,78	1	0,05
<i>Díptero Adulto</i>	2	0,08	2	0,31	0	0
<i>Odonata</i>	1	0,04	1	0,15	0	0
<i>Coleóptero Adulto</i>	1	0,04	0	0	1	0,05
Tejido Animal						
Tejido de Pez	5	0,20	0	0	5	0,27
Tejido de cangrejo	1	0,04	1	0,15	0	0
Zooplancton						
<i>Brachionus</i>	1	0,04	1	0,15	0	0
Copépodo	1	0,04	0	0	1	0,05

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):

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

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 48,9 y es el ítem alimentario más importante en la dieta de cangrejo (tabla 10), seguido del tejido vegetal IIR= 30,7 y el tejido Animal (10,5) para los 50 estómagos analizados en los primeros dos 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), como es el caso de *Staurosira* sp., *Tribonema* sp. y *Pinnularia* sp., que son los géneros de algas menos frecuentes y que presentan mayor disimilitud entre muestreos debido a su tamaño y abundancia.

Tabla 10. Índice de Importancia Relativa para los dos muestreos.

Muestreo N° 1	N° de estómagos con Ítem	N° de estómagos con Alimento	%FO	%A	IIR
Tejido Vegetal	21	25	87,5	22,0	19,3
Detritos	25	25	100	60,0	60,0
Tejido Animal	17	25	68	17,5	11,9
Muestreo N° 2					
Tejido Vegetal	22	25	88	49,5	43,5
Detritos	23	25	92	41,9	38,6
Tejido Animal	15	25	60	15,7	9,4
Muestreos 1 y 2					
Tejido Vegetal	43	50	86	35,7	30,7
Detritos	48	50	96	50,9	48,9
Tejido Animal	32	50	64	16,5	10,5

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. Las

relaciones talla-peso de hembras y machos se evaluaron mediante el análisis de regresión de Pearson y fueron comparadas con un análisis de covarianza (ANCOVA) (Loureiro-Gonçalves et al., 2019).

Resultados

En cuanto a los ítems alimentarios, el más representativo fue el detrito con 50,98% (tabla 11) seguido del tejido vegetal con 35,79% y por último el tejido animal con 16,56% del promedio del área ocupada en los estómagos con alimento.

Tabla 11. Estadística descriptiva para los principales ítems alimentarios para los dos muestreos.

Medida	Muestreo 1			Muestreo2			Total		
	Tejido Vegetal	Tejido Animal	Detritos	Tejido Vegetal	Tejido Animal	Detritos	Tejido Vegetal	Tejido Animal	Detritos
Media	22,1	17,5	60,0	49,5	15,7	41,9	35,7	16,5	50,9
Des, Standard	17,8	18,2	22,5	34,3	25,4	32,4	30,4	22,1	29
Rango	80	80	95	100	100	100	100	100	100
Mínimo	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Máximo	80	80	100	100	100	100	100	100	100
Cuenta	24	20	25	24	23	25	48	43	50

Para los dos muestreos se identificaron 35 presas, en el primer muestreo se observaron 25 presas mientras que en el segundo muestreo se reconocieron 24 presas diferentes. 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-Weiner <3 indican una diversidad relativamente baja y no se presenta diferencia significativa entre muestreos ni entre machos y hembras (tabla 12).

Tabla 12. Índice de Shanon-Weiner para comparar la riqueza de presas consumidas por *P. clarkii* entre los dos muestreos y entre machos y hembras.

Índice	M1	M2	Macho	Hembra
Taxa_S	25	23	25	28
Individuals	638	1824	1390	1072
Shannon_ H	1,5	1,3	1,2	1,6

Los resultados nos indican que la microalga Chlorophyta *Ankistrodesmus* sp. ha sido la más frecuente durante los dos muestreos representando el 63,7 % de la abundancia de las presas (figura 61), seguida por *Aphanothece* sp. y *Navicula* sp. con el 14% y 2,7% de la frecuencia numérica respectivamente, representado el 80,4 % del total de las presas. En cuanto a los macroinvertebrados el más representativo pertenece a la familia Chironomidae con el 2,1%.

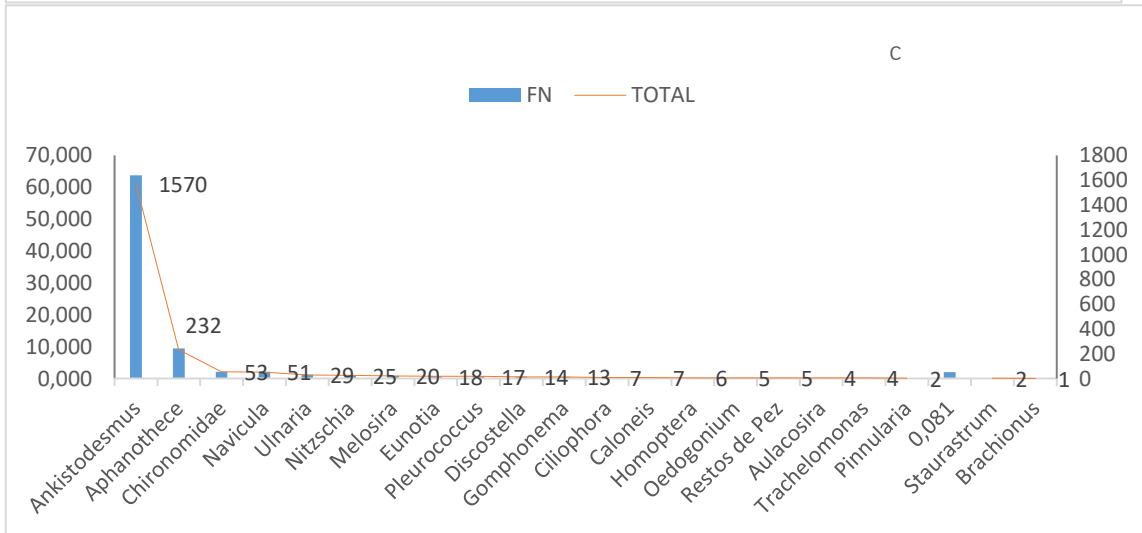
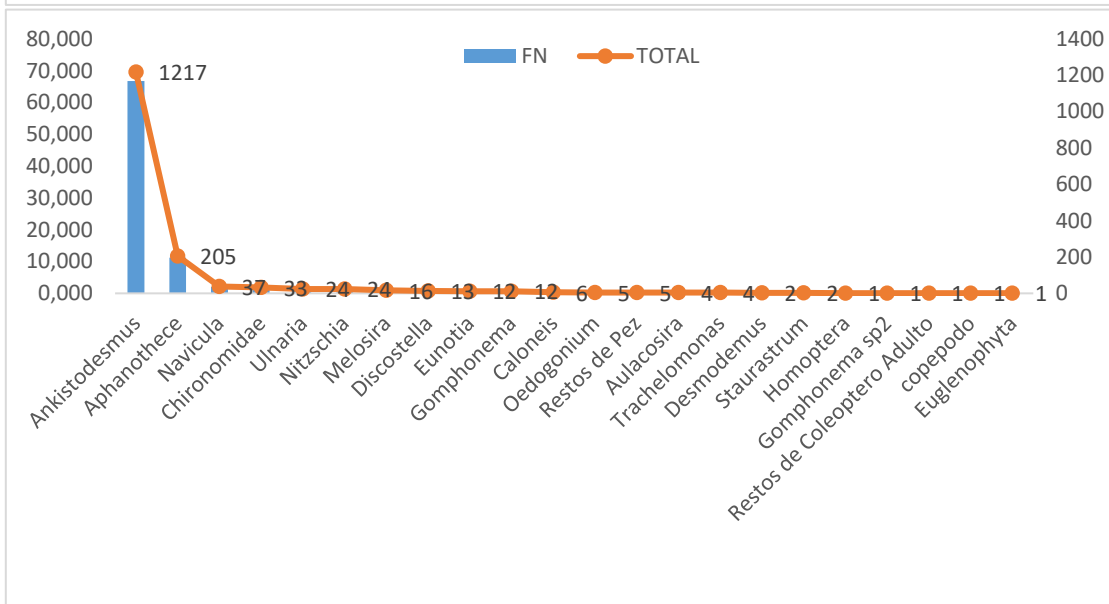
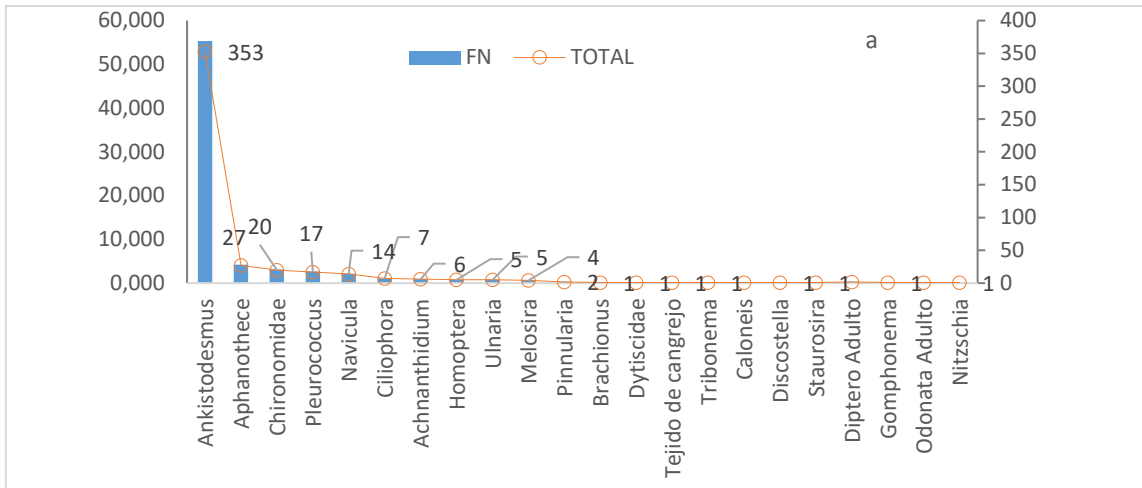


Figura 61. Frecuencia numérica y total de presas identificadas en los dos muestreos; a: Muestreo N° 1, b: Muestreo N° 2 y c: Total.

Se aplica la prueba no paramétrica Anosim con valor de $R = 0,2484$ 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 13), indica que las presas que contribuyen a la disimilitud son: *Staurosira* sp., cabeza de Díptero, restos de Odonata, Dytiscidae, *Tribonema* sp., tejido de cangrejo, ala de díptero, *Brachionus*, sp., *Pinnularia* sp., Ciliophora, *Pleurococcus*, sp., *Aulacosira* sp., restos de Coleoptero, adulto de copépodo y Euglenophita, con un porcentaje acumulado de disimilitud de 50,49%. La mayor parte de esta diferencia es aportada por las presas pertenecientes al tejido animal, encontrado en los estómagos de *P. clarkii*.

Tabla 13. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los dos muestreos.

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %
<i>Staurosira</i>	3,4	3,4	3,4
Díptero Adulto	3,4	3,4	6,8
Restos Odonata	3,4	3,4	10,2
Dytiscidae	3,4	3,4	13,6
Tribonema	3,4	3,4	17,0
Tejido de cangrejo	3,4	3,4	20,4
<i>Brachionus</i>	3,4	3,4	27,2
<i>Pinnularia</i>	3,4	3,4	30,6
Ciliophora	3,4	3,4	34,0
<i>Pleurococcus</i>	3,4	3,4	37,4
<i>Aulacosira</i>	3,2	3,2	40,7
Restos de Coleoptero			
adulto	3,2	3,2	43,9
copepodo	3,2	3,2	47,2
Euglenophita	3,2	3,2	50,4
Homoptera	3,2	3,2	53,7
<i>Gomphonema</i> sp2	3,2	3,2	56,9
<i>Oedogonium</i>	3,1	3,1	60,0
<i>Staurastrum</i>	3,1	3,1	63,2
<i>Desmodemus</i>	3,0	3,0	66,3
<i>Caloneis</i>	3,0	3,0	69,3
<i>Botryococcus</i>	2,9	2,9	72,3
Trachelomonas	2,9	2,9	75,2
Restos de Pez	2,8	2,8	78,1
<i>Eunotia</i>	2,7	2,7	80,8
<i>Melosira</i>	2,6	2,6	83,5
<i>Fragilaria</i>	2,6	2,6	86,1
<i>Gomphonema</i>	2,3	2,3	88,4
<i>Nitzschia</i>	2,3	2,3	90,7
<i>Discostella</i>	2,2	2,2	93,0
Chironomidae	2,0	2,0	95,1

<i>Navicula</i>	1,8	1,8	97,0
<i>Aphanothece</i>	1,2	1,2	98,2
<i>Ankistodesmus</i>	0,73	0,73	100

La prueba de Kruskal-Wallis no evidencia diferencias estadísticamente significativas por muestreo, ni por polígono ni por sexo, en cuanto a la diversidad y abundancia de la dieta. Las dietas de los organismos colectados fueron en promedio muy parecidas en cuanto a su abundancia y composición (tabla 14).

Tabla 14. 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	$P=0,5128$
Polígono	$p = 0,7737$
Sexo	$p = 0,5716$

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, F., Llanos, A., & Valenzuela, V. 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, A., Figueroa, R., Ruiz, V. H., Araya, E., & Berríos, P., 2002), dejando alimento disponible en el medio para el consumo por parte de *P. clarkii*

Como resultado preliminar 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 (Tabla 15)

Tabla 15. Presas compartidas entre el análisis de comunidades hidrobiológicas y morfoespecies identificadas en los contenidos estomacales. M1: muestreo 1; M2: muestreo 2; CE: contenido estomacal; CH: comunidades hidrobiológicas.

Morfoespecie	M2_CH	M1_CH	CE_M1	CE_M2
<i>Staurostrum</i> sp.		++		++
<i>Oedogonium</i> sp.		++		++
<i>Desmodesmus</i> sp.		++		++
<i>Achnantheidium</i> sp.		++	++	++
<i>Nitzschia</i> sp.		++	++	++
<i>Gomphonema</i> sp.	++	++	++	
<i>Navicula</i> sp.		++	++	++
<i>Pinnularia</i> sp.	++	++	++	++
<i>Melosira</i> sp.	++	++	++	++
<i>Aulacoseira</i> sp.	++	++		++
<i>Fragilaria</i> sp1		++	++	++
<i>Brachionus</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 es considerablemente alto (Hernández-Vergara., 1996).

DISCUSIÓN

El coeficiente de vacuidad del 16%, obtenido de la revisión de estómagos de los cangrejos colectados en la Dársena, contrasta con los resultados obtenidos por Loureiro et al. (2019), en el cual obtiene que todos los estómagos analizados contienen algún tipo de alimento. Este resultado puede deberse a que no fue posible capturar una muestra representativa en las 3 horas de exposición de las trampas instaladas para analizar el contenido estomacal, 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

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.

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 63,7%. 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 bajo tamaño y abundancia 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 Shannon-weiner dio 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 preliminares, 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, se recomienda ampliar el tiempo de exposición de las trampas en el agua 24 horas, ya que con este tiempo se pudo obtener un tamaño de muestra óptimo y con contenidos estomacales apropiados para el análisis.

RELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS CON EL CANGREJO ROJO AMERICANO.

En la Dársena de la planta Tibitoc se ha observado que *P. clarkii*, puede influir directamente en el ciclo de nutrientes, ya sea a través de su alimentación, excreción y la bioturbación, lo que puede llevar a un aumento en la eutrofización del cuerpo de agua, es decir aumento de la productividad primaria, empobreciendo la calidad de agua, sobre todo en épocas de baja precipitación, lo cual puede ser evidenciado en el aumento de la turbidez, aumentando los costos de potabilización del agua cruda.

Con el fin de identificar las variables más explicativas y eliminar variables correlacionadas se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para los dos muestreos que incluyó 29 de las 38 variables medidas descritas en el capítulo 1; este análisis corresponde a la exploración inicial de variables, donde se seleccionan las variables más representativas y con mayor poder explicativo que puedan estar relacionadas con el cangrejo rojo americano en la Dársena de Tibitoc (tabla 16).

Para los dos muestreos las variables más explicativas fueron: Alcalinidad; Demanda Biológica de Oxígeno (DBO); Demanda Química de Oxígeno (DQO); Temperatura Ambiente; Turbiedad; Sodio Total; Carbono Orgánico Total; Calcio Total; Dureza Cálctica; Cloro Total; Dureza Total; Temperatura de la Muestra y Conductividad.

Tabla 16. Eigenvalores aplicados a las variables fisicoquímicas en los dos muestreos

	PC 1	PC 2
Aceites y Grasas	-21.643	-25.495
Alcalinidad_Total	45.455	15.527
Aluminio_Total	-22.59	-28.546
Calcio_Total	-11.209	-16.854
Carbono _Organico_Total	-54.186	14.324
Carbono_Inorganico	-10.038	-90.867
Cloro total	-31.863	-59.553
Color_ real	47.648	61.032
Color_Real_436mn	-19.31	-23.481

Color_Real_525mn	-21.368	-22.447
Color_Real_620mn	-21.703	-26.164
Demanda Biológica de Oxígeno5	-65.933	22.199
Demanda Química de Oxígeno	21.643	78.929
Dureza_Cálcica	10.944	-38.875
Dureza_Total	20.623	-10.288
fosforo_Total	-23.131	-27.841
fosforo_Soluble	-23.244	-2.909
Hierro_total	-21.328	-30.073
Magnesio_Total	-21.811	-22.369
Nitritos	-21.851	-23.623
Nitratos	-23.16	-29.399
Sodio	-10.124	21.674
Sulfatos	-14.244	-30.711
Turbiedad	-17.281	0.80417
Temperatura Ambiente	77.117	15.258
pH	-14.018	-2.521
Conductividad	203.54	-21.349
Oxígeno_Disuelto	-20.512	-18.311
Temperatura de la muestra	13.163	-42.114

Con base en este resultado se seleccionaron 14 variables fisicoquímicas y cuatro variables poblacionales del cangrejo rojo (total de individuos, total de hembras, total de machos, y densidad total) para cada uno de los muestreos con las que se realizó el ACP (figura 62).

Como resultado preliminar encontramos que el primer componente del ACP explica el 94,102 % de la varianza total de los datos (tabla 17). De acuerdo a la representación gráfica del ACP (figura 62), en el cual se asocian los parámetros de alcalinidad y DBO con el número total de individuos y el número de machos. Para la variable densidad de cangrejos se presenta asociación con el parámetro de Dureza cálcica, sin embargo, esta asociación no se considera fuerte según los valores; lo que se puede inferir de esta asociación es que las variables con formas biodisponibles de calcio pueden explicar 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.

Tabla 17. Valores y porcentaje de varianza de los datos fisicoquímicos y poblacionales de cangrejo rojo americano para los dos muestreos.

PC	Eigenvalue	% variance
1	2658.03	94.102
2	166.593	58.979

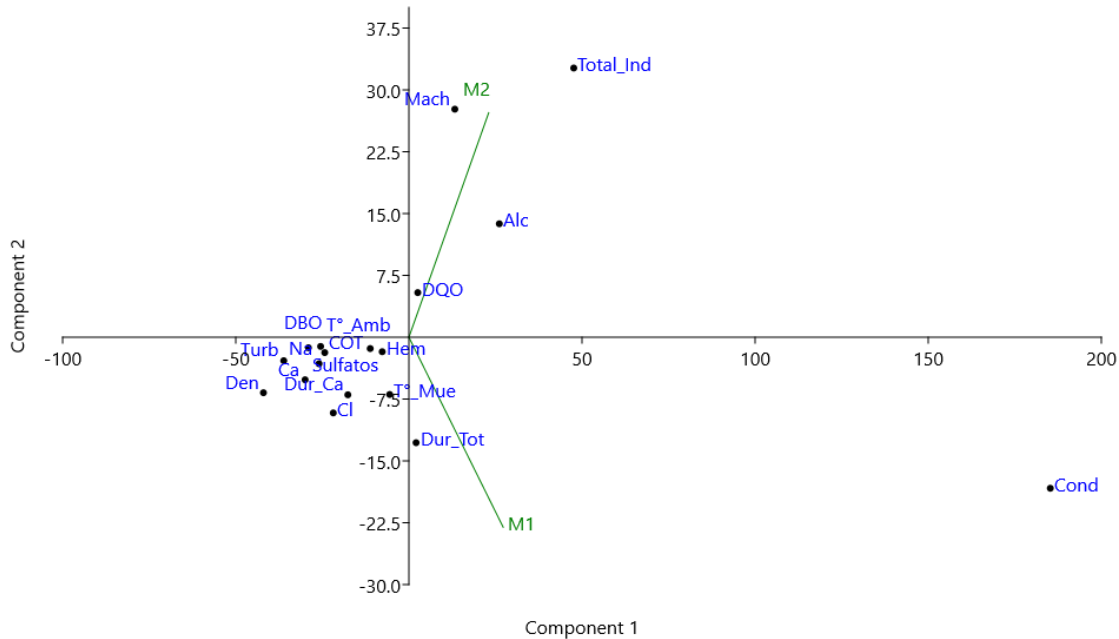


Figura 62. Representación gráfica del análisis de componentes principales aplicado a los 14 parámetros fisicoquímicos y cuatro variables biológicas del cangrejo rojo americano. Total_ind: total de individuos, Mach: machos, Hem: hembras y Den: densidad por cada muestreo, Alc: Alcalinidad; DBO: Demanda Biológica de Oxígeno; DQO: Demanda Química de Oxígeno; T°_Amb: temperatura ambiente; Turb: Turbiedad; Na: Sodio total; COT: Carbono Orgánico total; Ca: Calcio total; Dur_Ca: Dureza cálcica; Cl: Cloro total; Dur_Tot: Dureza total; T°_Mue: Temperatura de la Muestra; Cond: Conductividad, Sulfatos.

DISCUSIÓN

En cuanto a la relación del cangrejo rojo con las variables fisicoquímicas medidas en la Dársena, encontramos una mayor abundancia del cangrejo rojo en el polígono uno, esta área es la más cercana al área de succión y presentó los valores más altos de oxígeno disuelto, lo cual nos indica que, aunque el cangrejo rojo sea una especie altamente tolerante a condiciones adversas como baja concentración de oxígeno disuelto, alta turbidez y conductividad, puede preferir mejores condiciones si estas están disponibles.

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, lo cual concuerda con los resultados preliminares de este estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los dos primeros muestreos, la temperatura oscilo 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 nos indica que la diferencia en el número total de individuos y el número total de machos entre los dos muestreos está influenciando la separación de los ejes, por otro lado, 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 al análisis de las variables fisicoquímicas históricas para la bocatoma norte de la Dársena se evidencia que en el año 2018 se presentaron grandes fluctuaciones en algunas de las variables, aunque estas no pueden ser atribuidas directamente a la presencia del cangrejo rojo en la Dársena, si sirven de punto de partida, para identificar cambios posteriores en las variables que se puedan relacionar con un aumento de la población de *P. clarkii* en la Dársena.
- El oxígeno disuelto presentó la mayor variabilidad en los dos muestreos, mientras que la temperatura fue la variable más constante.
- De acuerdo a lo observado *P. clarkii* presenta una asociación con la vegetación acuática ya que estas plantas le sirven como sustento alimenticio, refugio ante los depredadores, y lugar donde puede capturar oxígeno tanto en las horas del día como en la noche.
- La variable alcalinidad ha presentado mayor asociación con el número de individuos lo cual puede inferir que *P. clarkii* usa las concentraciones de calcio disponibles en el medio acuático para incorporarlo a su caparazón, este podría ser un parámetro importante para controlar la población del cangrejo rojo en la Dársena.

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL SELECCIONADOS PARA EL CANGREJO ROJO AMERICANO.

INTRODUCCIÓN

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 y lóxicas, pero también sistemas abiertos o cerrados). Cabe aclarar que, en muchos casos, después de la introducción las especies se logran establecer y su erradicación es casi imposible, inclinándose las estrategias hacia métodos y diseños de control que ayudan a disminuir impactos negativos.

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 de río 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.

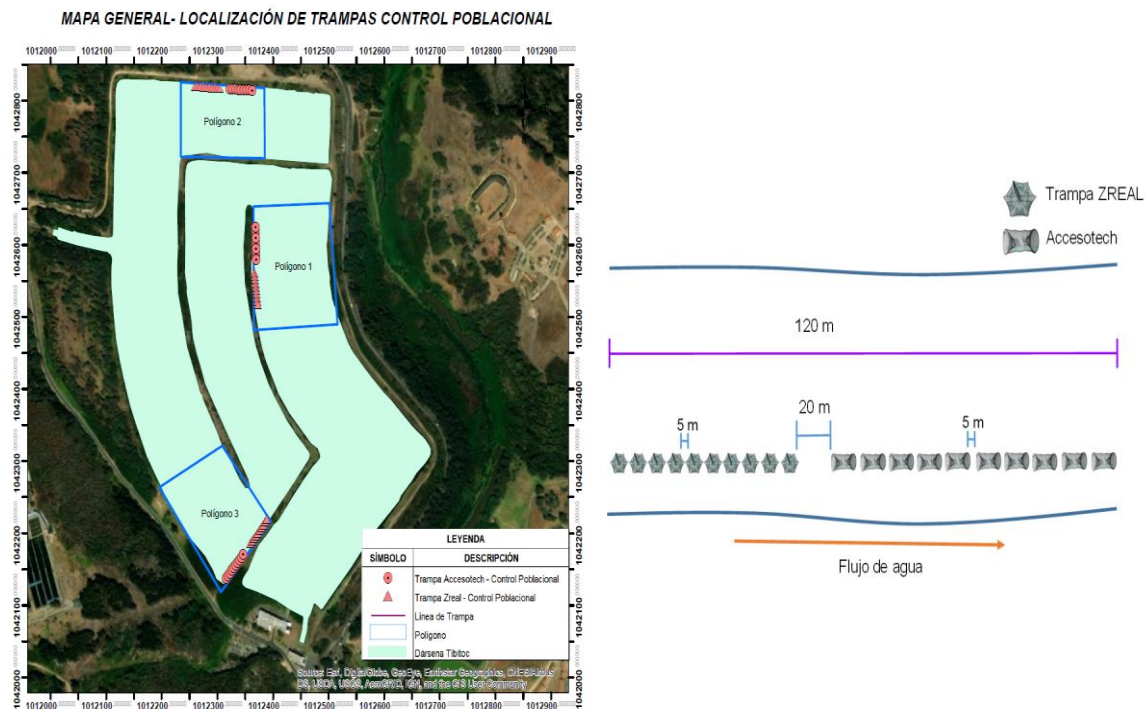
Actividades de campo

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera y segunda visita de inspección, para realizar la evaluación del control del cangrejo rojo americano se implementaron dos tipos de trampas las Accesotech (figura 63 a) y las Zreal (figura 63 b), a partir del siguiente diseño metodológico propuesto en el Producto 1, se desarrollaron las dos salidas de campo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc:



Figura 63. a: Trampa Accesotech cangrejo b: Trampa Zreal.

Los muestreos se realizaron en dos salidas de campo, correspondiente a los meses de diciembre del 2021 y enero del 2022 de acuerdo a lo programado en el Project. En cada estación de muestreo, se ubicó una línea paralela al borde de la Dársena de 10 trampas Zreal con una distancia entre cada una de 5m, seguido a ello se dejó un espacio de 20m para la instalación de la segunda línea con 10 trampas Accesotech separadas una de otra por 5m, para un área total de muestreo de 120m (figura 64). En las trampas, se dispuso internamente un recipiente plástico agujereado (cebador) que contiene alimento procesado para felino como atrayente, dada su eficacia en la captura de *P. clarkii* en las pruebas realizadas en la visita de inspección de junio del 2021, cada transecto fue georreferenciado por medio de un GPS de marca Garmin.



*Figura 64. Diseño de muestreo en campo con trampas Zreal y Accesotech para realizar control poblacional de la especie de cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii*. Fuente: Elaboración propia.*

Las trampas se dejaron durante 24 horas dentro del cuerpo de agua; cumplido este tiempo, los organismos capturados en cada trampa fueron diferenciados y codificados al guardarse en bolsas plásticas de alto calibre.

Los especímenes fueron sacrificados por descenso de la actividad metabólica, generado por choque térmico a baja temperatura igual como se ha explicado en los capítulos anteriores.

Actividades de Laboratorio

En el laboratorio LS404 de la UPTC, se realizó el procesamiento de cada grupo de organismos colectados en cada una de las trampas.

Para ello se realizó el sexado de los organismos, diferenciando las estructuras externas (presencia de gonópodos para los machos, la ausencia de ellos será categorizados como hembras). Seguido a esto, con un calibrador digital se realizó la medición de la longitud total de cada individuo, esta medida se toma desde la punta del rostrum hasta el final del telson (Arias-Pineda et al; 2020) y longitud del cefalotórax (mm), medición que se toma desde la punta del rostrum hasta el final del cefalotórax (Arias-Pineda et al; 2020) y finalmente la medida del peso húmedo de cada individuo a partir de una balanza portátil, lo anterior permite tener un estimativo de los tamaños de captura.

Los resultados generados fueron registrados en los respectivos formatos e integrados por muestreo. (Anexo 1.2 y 1.3).

En el primer muestreo se capturaron un total de 22 individuos en las 60 trampas instaladas para el control de *P. clarkii*, diferenciándose el sexo a partir de las estructuras reproductivas (figura 65 a) y el porcentaje de captura según el tipo de trampa (figura 65 b).

En la figura 65 a, podemos observar que en el primer muestreo se capturó un mayor número de hembras que de machos, mientras que en la figura 65 b observamos que la trampa Zreal capturó más cangrejos (77%) representado por 11 hembras y seis machos, mientras la trampa Accesotech obtuvo el 23% de las capturas, tres hembras y dos machos.

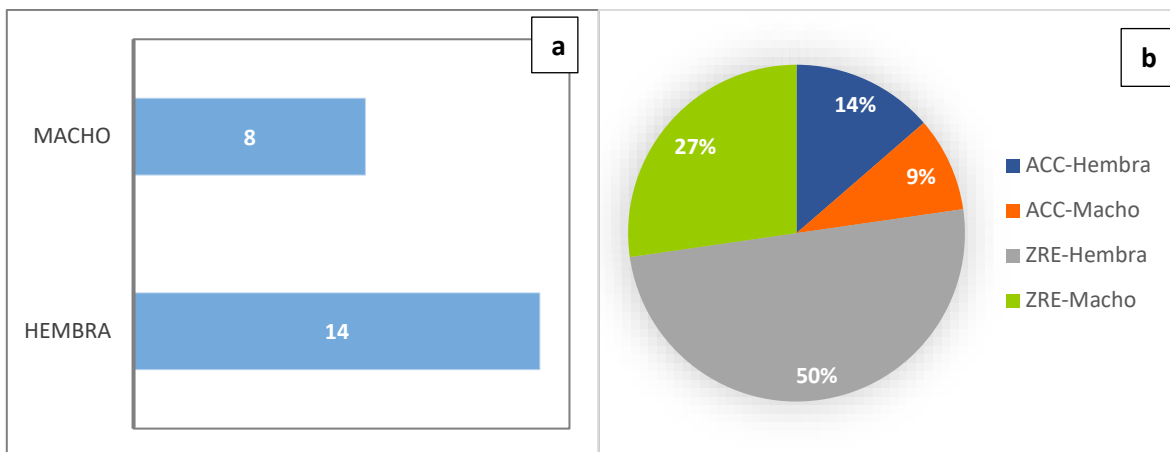


Figura 65. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en el primer muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) Nº individuos/sexo; (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

En el segundo muestreo se colectaron un total de 53 individuos, diferenciándose el sexo de los organismos (figura 66 a) y el porcentaje de captura según el tipo de trampa (figura 66 b).

En la figura 66 a, podemos observar que en el segundo muestreo se capturó un total de 14 hembras y 39 machos, mientras que en la figura 66 b la trampa Accesotech obtuvo más capturas con un 57% (11 hembras y 27 machos), y la trampa Zreal el 43% tres hembras y dos machos.

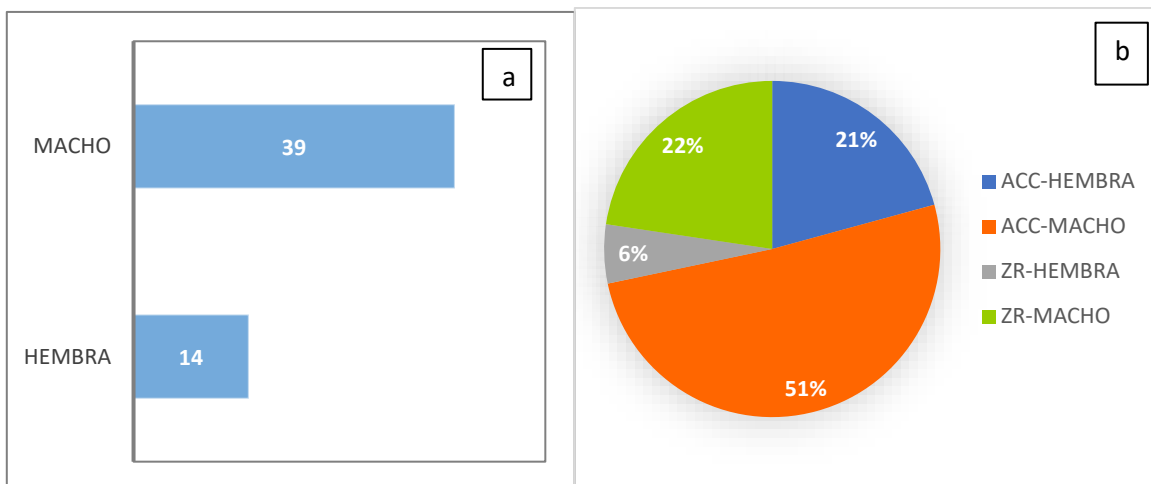
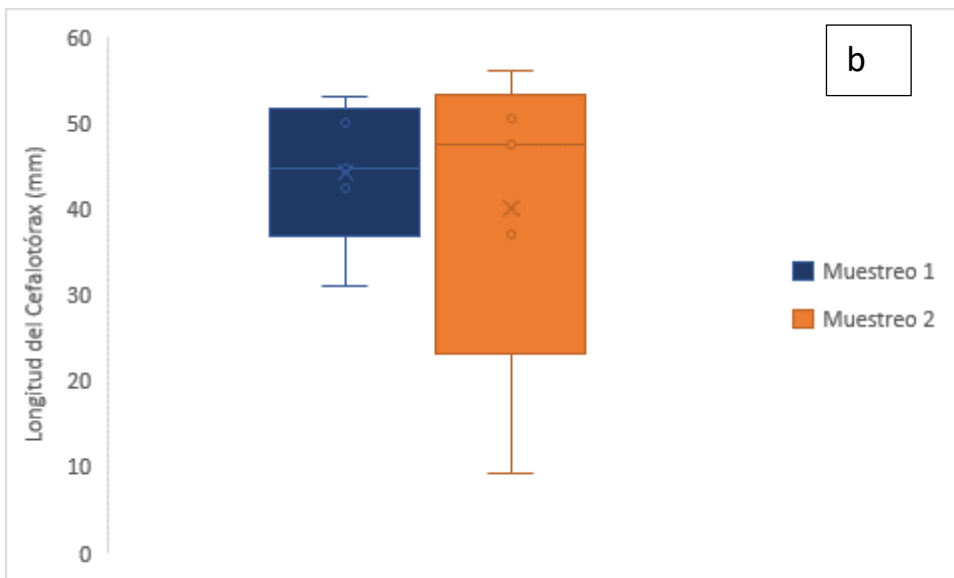
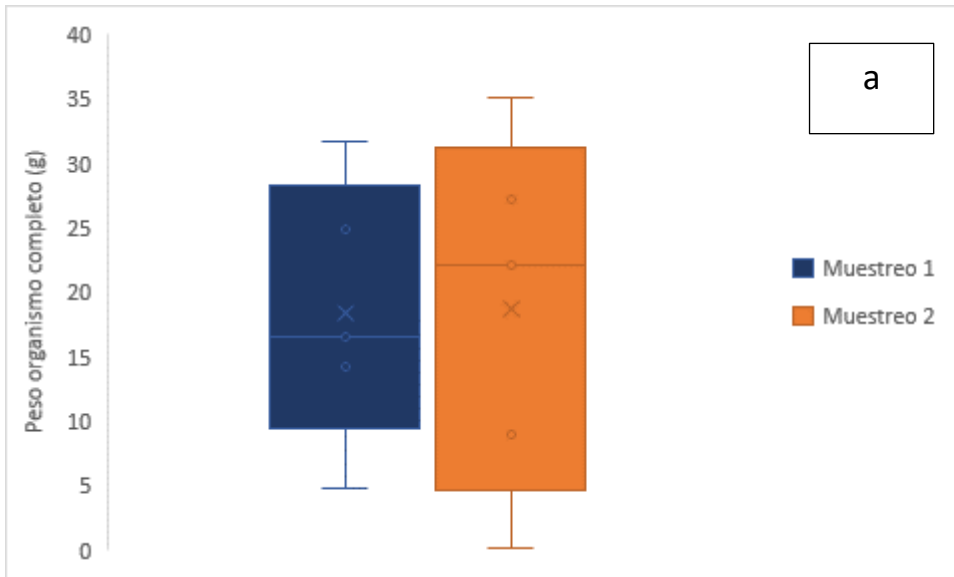


Figura 66. Número de individuos de *Procambarus clarkii* colectados en el segundo muestreo de control poblacional en la Dársena Tibitoc. (a) Nº individuos/sexo (b) % de Hembras y Machos colectados por tipo de trampa.

Diferencias morfométricas por muestreo

De acuerdo a los gráficos realizados, en las trampas de control, para el primer muestreo se capturaron organismos adultos de *P. clarkii* con un peso completo entre los 5 y 32 g, y de tamaños grandes según medidas de la longitud del cefalotórax y total.

Mientras que, para el segundo muestreo, fue posible coleccionar individuos de tamaños pequeños y grandes, los cangrejos fueron más pesados en comparación al primer muestreo, el promedio de las medidas de la longitud del cefalotórax y total de los cangrejos fueron un poco similares entre muestreos; sin embargo, para dicho muestreo fue posible la captura de algunos organismos juveniles (figura 67).



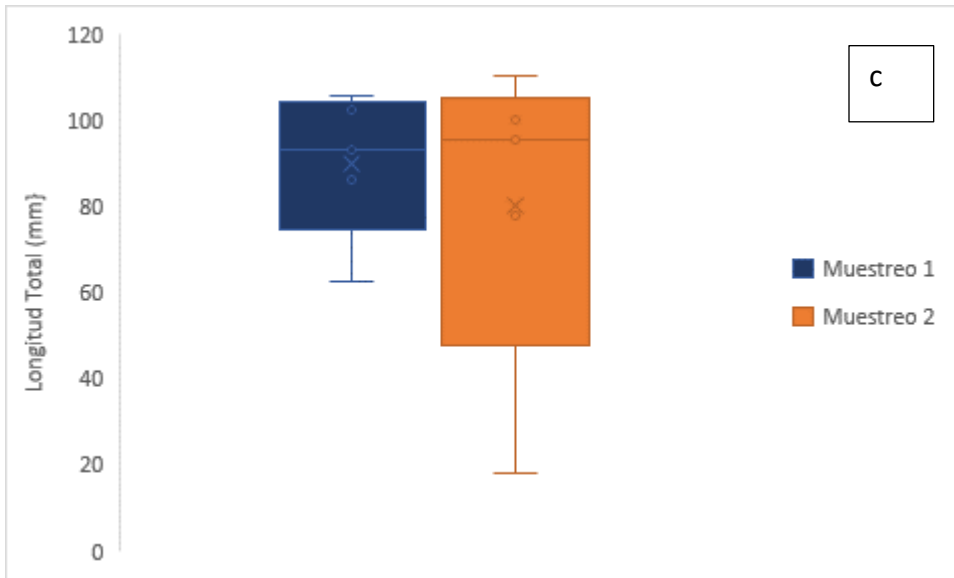
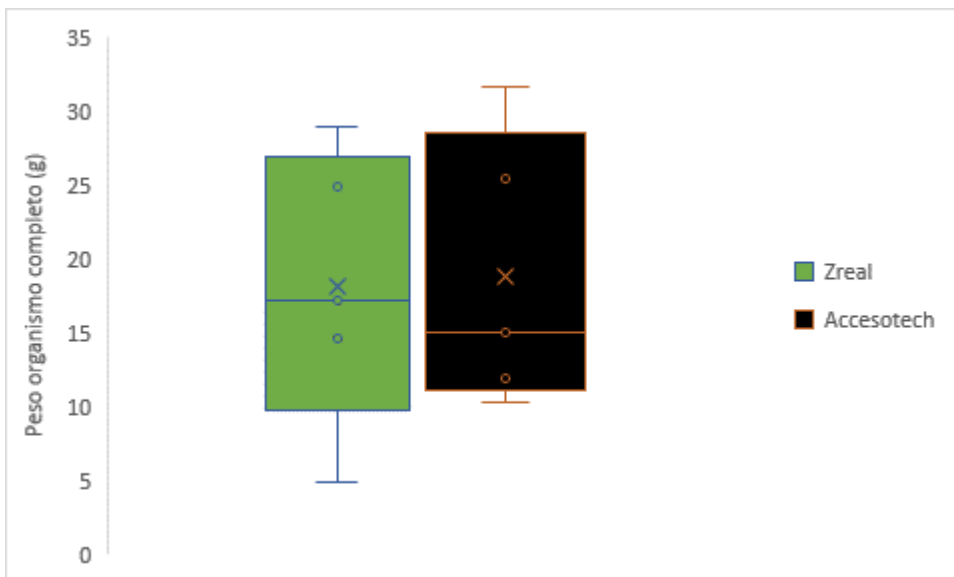


Figura 67. Mediciones morfométricas de individuos *P. clarkii* colectados en trampas de control para los dos muestreos. **a** Valores de peso de los organismos completos, **b**: Valores de longitud del cefalotórax, y **c**: Valores de longitud total de los organismos.

Diferencias morfométricas por tipo de trampa

Para el primer muestreo, en las trampas Zreal, se colectaron organismos de tamaños grandes y unos pocos de tamaños pequeños, según medidas del peso y longitudes del cefalotórax y total, mientras que las trampas Accesotech se evidenció una selectividad hacia cangrejos de un peso y longitudes mayores (figura 68).



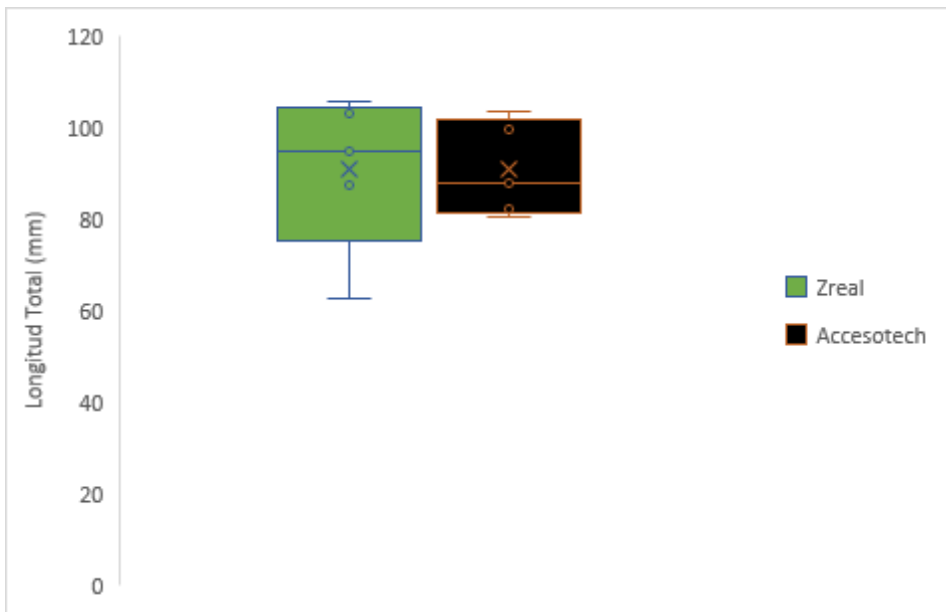
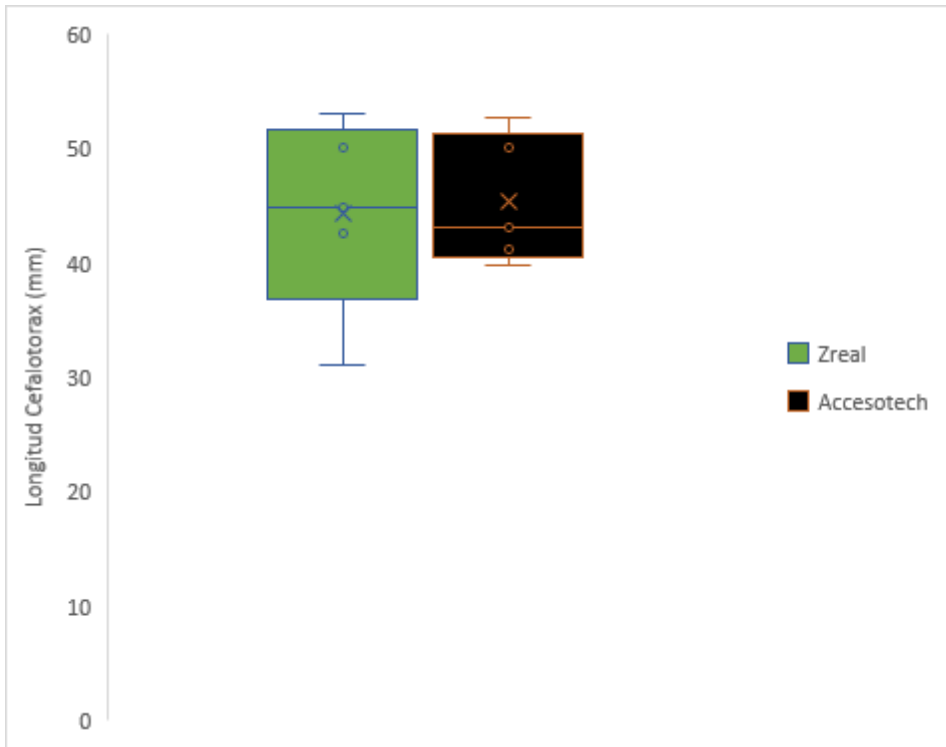
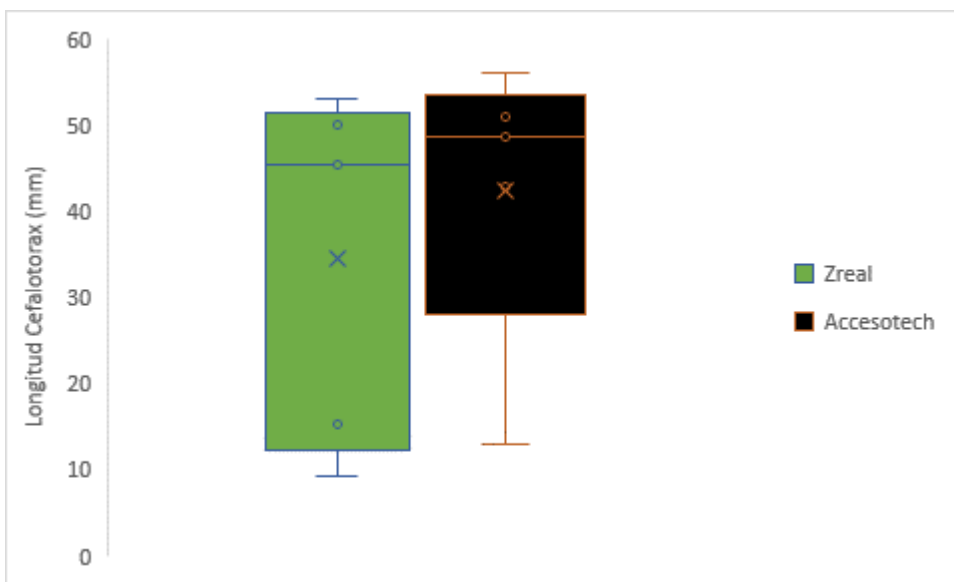
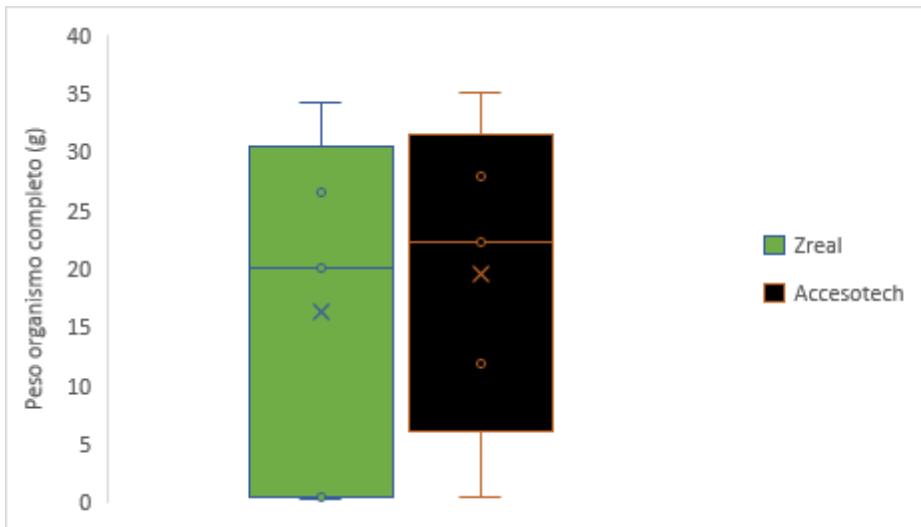


Figura 68. Mediciones morfométricas de individuos *P.clarkii* por tipo de trampa en muestreo 1: **a**: Valores de peso de los organismos completos, **b**: Valores de longitud del cefalotórax, y **c**: Valores de longitud total de los organismos

En el segundo muestreo, las trampas Zreal capturó mayor variedad de tamaños de cangrejos evidenciándose tanto organismos adultos como juveniles, mientras que en la

trampa Accesotech mantuvo el patrón de coleccionar organismos adultos de gran tamaño, según medidas del peso y longitudes del cefalotórax y total. Sin embargo, logró la captura de unos pocos organismos juveniles (figura 69).



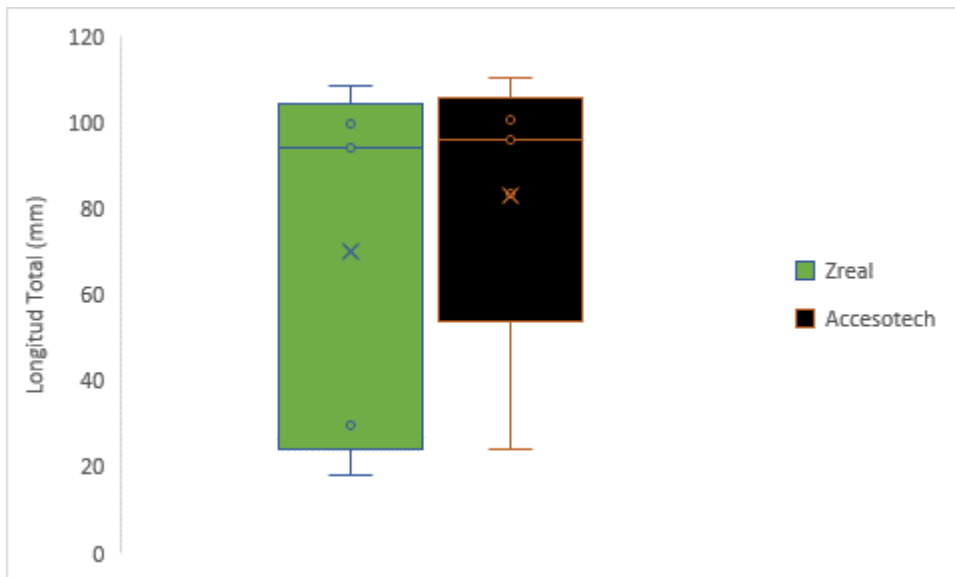


Figura 69. Mediciones morfométricas de individuos *P. clarkii* por tipo de trampa en muestreo 2: **a** Valores de peso de los organismos completos, **b**: Valores de longitud del cefalotórax, y **c**: Valores de longitud total de los organismos

Según las mediciones morfométricas realizadas, se resalta de manera general que el peso promedio de los organismos fue mayor en el segundo muestreo en comparación al primero. De igual forma en el segundo muestreo, el rango de tamaños de captura fue más amplio, puesto que se colectaron organismos de longitud del cefalotórax y longitud total con un rango de diferencia mayor entre las medidas mínimas y máximas, frente a los capturados en el primer muestreo.

Al analizar la información por polígono, se encuentra que en el polígono uno el peso promedio de las hembras es mayor en comparación al de los machos, patrón que se mantiene para el segundo muestreo. Para el polígono dos (entrada río Bogotá) predominan los organismos machos, puesto que en el primer muestreo en esta zona solo se capturó un individuo macho, y en el segundo muestreo la mayor abundancia fue de organismos machos (tan solo una hembra). Finalmente, para el polígono tres, en el muestreo uno fue mayor el número de hembras colectadas que machos, sin embargo, el promedio del peso, de la longitud del cefalotórax y la longitud total fue mayor en los machos que en las hembras, y en esta zona se capturaron los individuos juveniles para el segundo muestreo (Anexos 1.1 y 1.2).

Con los datos obtenidos hasta ahora de los dos muestreos no se observa una tendencia clara en cuanto al peso, al sexo de los cangrejos colectados entre los polígonos ni entre los muestreos, ni entre las trampas, esto se debe principalmente a que los dos muestreos han arrojado datos diferentes, en la eficiencia de captura, variaciones de tamaños y proporción de sexos, por ejemplo, durante el primer muestreo la trampa Zreal fue la más efectiva, mientras que durante el segundo muestreo fue la Accesotech.

Eficiencia de los Métodos de Captura

Primer Muestreo

De las 60 trampas instaladas a lo largo de la Dársena para el control de *P. clarkii*, se logró capturar cangrejos en 15 trampas, lo que corresponde a un 25% de eficiencia de las trampas. Por otra parte, en cuanto al tipo de trampa, las trampas Zreal lograron una mayor eficiencia de captura (36,66%), frente a la Accesotech con un 13,3%.

El mayor número de organismos colectados en las trampas fue en el polígono uno, zona cercana al área de succión a la PTAP con un total de 13 individuos y polígono tres jarillón cerca a la cosechadora con ocho individuos de cangrejo, y una mínima colecta en el polígono dos correspondiente a la bocATOMA, zona de entrada del Río Bogotá, con un solo individuo (tabla 18).

Tabla 18. Número de trampas efectivas y % de eficiencia de captura de *P. clarkii* en todos y cada uno de los polígonos del segundo muestreo

POLIGONOS		
Trampas/tipo	Número de trampas efectivas	% Efectividad
60 trampas (30ZR-30 ACC)	15	25%
30 trampas ZR	11	36,66%
30 trampas ACC	4	13,3
POLIGONO 1 CERCA A ZONA DE SUCCIÓN		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	8	40%
10 trampas ZR	7	70%
10 trampas ACC	1	10%
POLIGONO 2-ENTRADA RÍO BOGOTA		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	1	5%
10 trampas ZR	1	10%
10 ACC	0	0%
POLIGONO 3 -JARILLÓN CERCA A COSECHADORA		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	6	30%
10 trampas ZR	3	30%

10 trampas ACC	3	30%
----------------	---	-----

Segundo Muestreo

Para el segundo muestreo, con base en las 60 trampas de control instaladas en la Dársena, se logró la captura de cangrejos en 29 trampas lo que corresponde a un 48.33% de eficiencia de las trampas. Por otra parte, en cuanto al tipo de trampa, la Accesotech logró una mayor eficiencia de captura (73,33%), frente a la Zreal con un 23,33%.

El mayor número de organismos colectados en las trampas fue entre el polígono tres jarillón cerca a la cosechadora con 24 individuos, y polígono uno zona cercana al área de succión a la PTAP con 18 cangrejos (tabla 19).

Tabla 19. Número de trampas efectivas y % de eficiencia de captura de P. clarkii en todos y cada uno de los polígonos del segundo muestreo

POLIGONOS		
Trampas/tipo	Número de trampas efectivas	% Efectividad
60 trampas (30ZR-30 ACC)	29	48,33%
30 trampas ZR	7	23,33%
30 trampas ACC	22	73,33
POLIGONO 1 CERCA A ZONA DE SUCCIÓN		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	10	50%
10 trampas ZR	4	40%
10 trampas ACC	6	60%
POLIGONO 2-ENTRADA RÍO BOGOTA		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	9	45%
10 trampas ZR	1	10%
10 ACC	8	80%
POLIGONO 3 -JARILLÓN CERCA A COSECHADORA		
20 trampas (10 ZR-10 ACC)	10	50%
10 trampas ZR	2	20%
10 trampas ACC	8	80%

Organismos en Captura Incidental

En las 120 trampas dispuestas para la evaluación de los diferentes aspectos: densidad poblacional (30 ZR), control poblacional (30 ZR-30 ACC) y contenidos estomacales (30 ACC), para el primer muestreo se registraron 990 peces y 17 renacuajos; lo cual fue similar para el segundo muestreo con un total de 987 peces y tal solo dos renacuajos; en las trampas de control poblacional se realizó la mayor captura de organismos en captura incidental. En los polígonos muestreados, en el primer muestreo hubo mayor colecta de organismos en las trampas del polígono tres (Jarillón cerca a la cosechadora), y fue la única zona en que se registraron los renacuajos. Finalmente, 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 70).

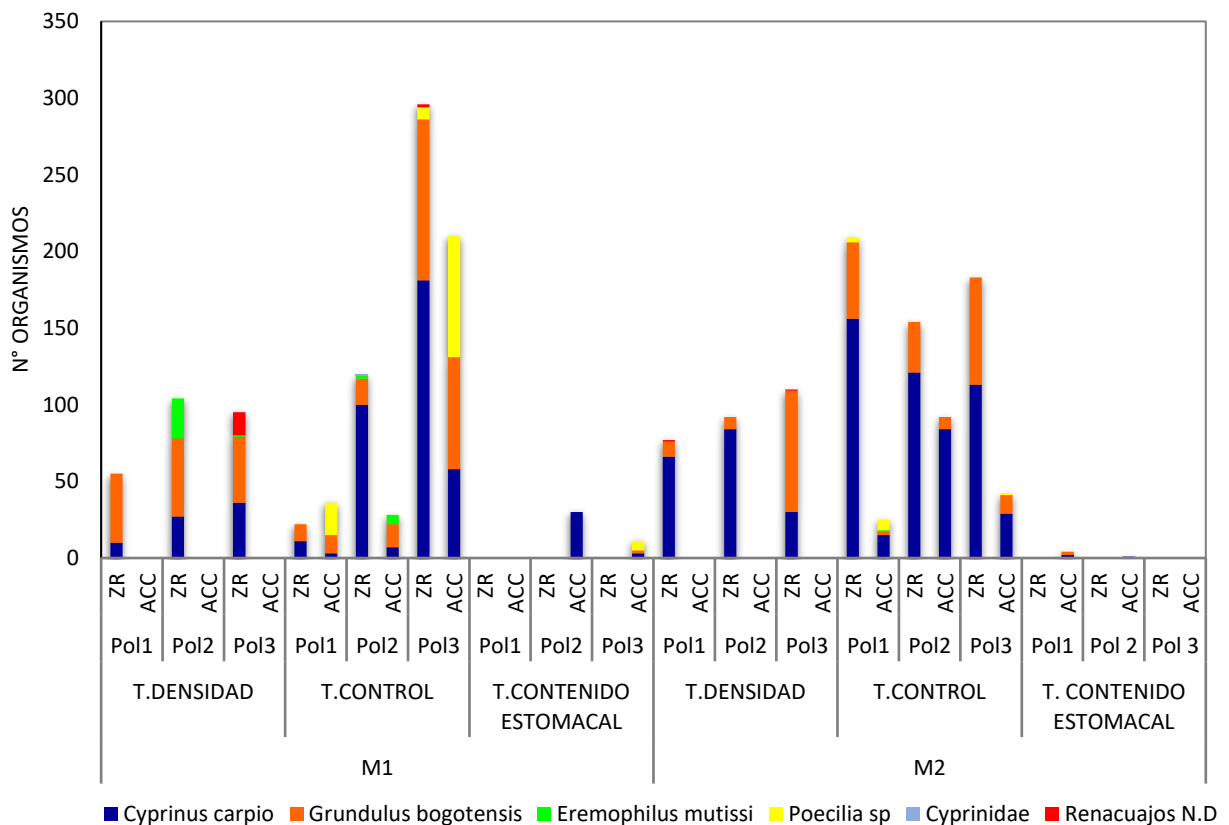


Figura 70. Número de organismos en captura incidental en 120 trampas teniendo en cuenta aspecto evaluado, polígonos y tipo de trampa en cada uno de los muestreos realizados.

Los siguientes peces fueron los más abundantes en todas las trampas instaladas en la Dársena: *Cyprinus carpio* con 1167 individuos, *Grundulus bogotensis* 648 individuos, *Poecilia* sp. 125 individuos, *Eremophilus muttisi* 36 individuos, Cyprinidae un individuo y 19 renacuajos; total registrado para los dos muestreos realizados. En la trampa Zreal se evidenciaron un total de 1498 peces distribuidos en los diferentes morfotipos identificados

y 19 renacuajos, mientras que en la trampa Accesotech se registró un total de 479 peces, en ella no hubo captura de *Poecilia* sp., Cyprinidae y renacuajos (figura 71)

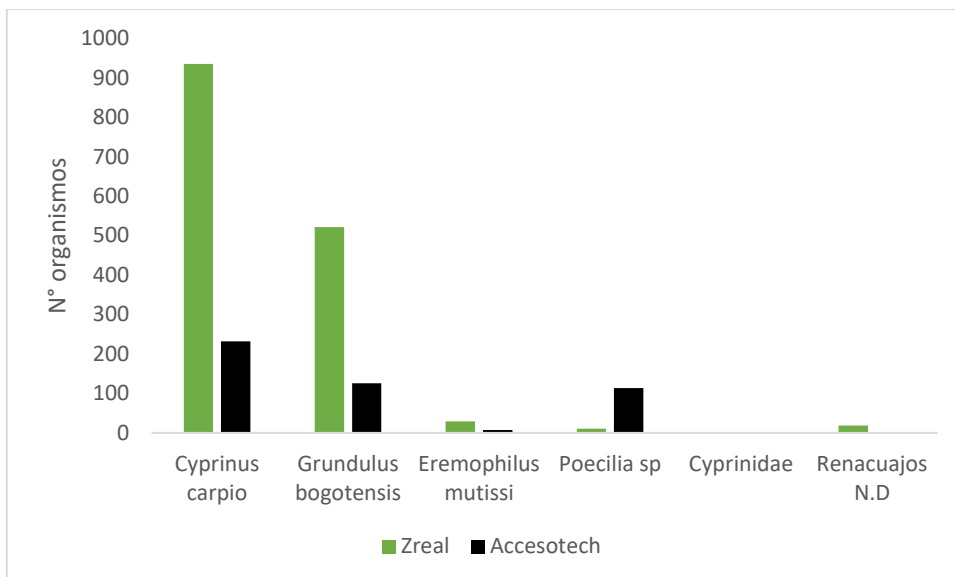


Figura 71. Número de organismos en captura incidental en 120 trampas según tipo de trampa de los dos muestreos realizados.

En las 60 trampas de control en el primer muestreo, se encontraron un total de 710 peces, y dos renacuajos; lo cual fue muy similar para el segundo muestreo con una captura incidental de 705 peces en total.

En dichas trampas, las dos especies de mayor predominancia fue la *C. carpio* (Carpa), con 360 individuos y en el segundo muestreo se presentó un aumento a 518, seguido de la *G. bogotensis* (Guapucha) con 233 individuos en el primer muestreo y 175 en el segundo muestreo. Por otro lado, *Poecilia* sp., (Gupy) y *E. mutissi* (Capitán de la sabana), si presentaron cambios evidentes entre los dos muestreos, capturándose 108 individuos y ocho individuos para el primer muestreo y para el segundo muestreo tan solo 11 individuos y un individuo respectivamente; finalmente Cyprinidae en el primer muestreo se colectó un individuo y dos renacuajos, para el segundo muestreo no hubo registro de dichos organismos

A nivel de polígonos, para el primer muestreo en polígono tres (jarillón cerca a cosechadora) se colectó el mayor número de organismos en captura incidental, 504 peces y dos renacuajos, mientras que para el segundo muestreo la abundancia de organismos fue similar entre polígonos, en el polígono dos (entrada río Bogotá) se registró un total de 246 peces, en el polígono uno (zona cercana a área de succión) con 234 peces y polígono tres (Jarillón cerca a cosechadora) con 225 peces (figura 72).

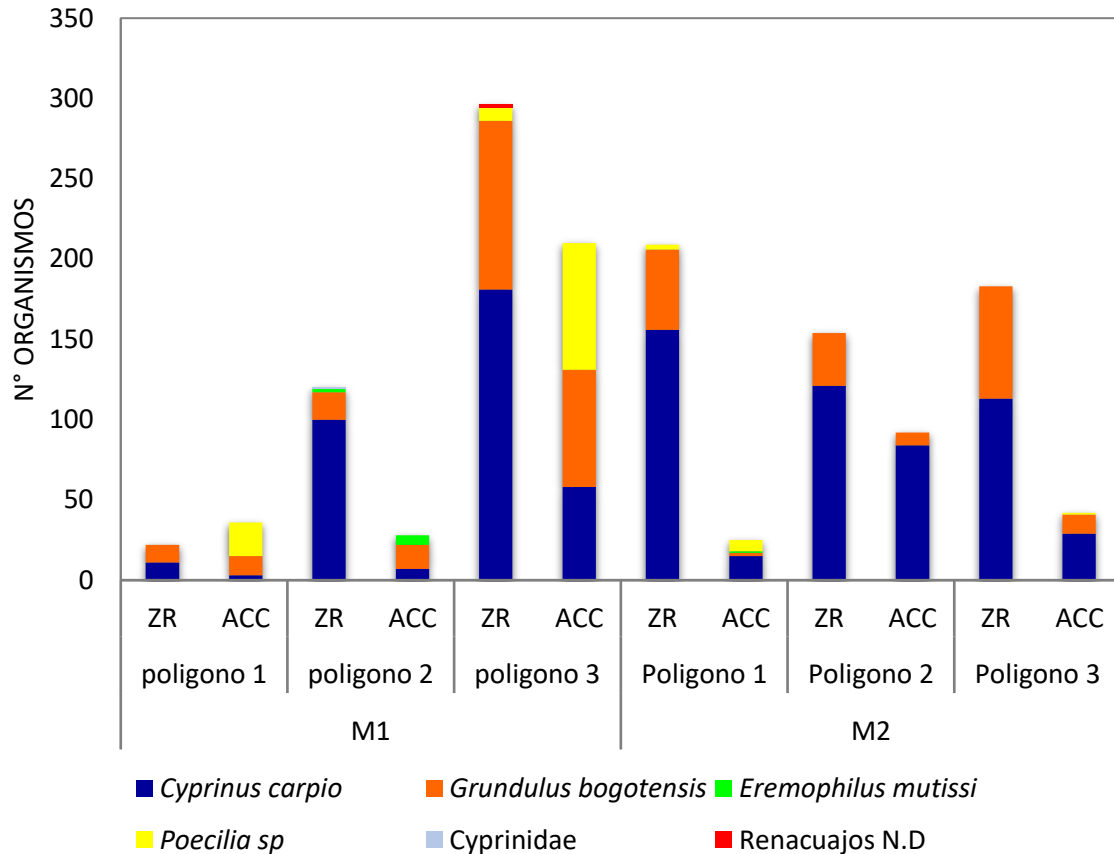


Figura 72. Número de organismos colectados en captura incidental en las 60 trampas de control según tipo de trampa en cada uno de los polígonos y muestreos realizados

C. carpio, *G. bogotensis* y *Poecilia* sp., se establecieron como los únicos organismos registrados en las trampas efectivas que hicieron captura de cangrejo rojo. En el primer muestreo en las 15 trampas de control efectivas, se colectó un total de 173 peces, siendo el polígono tres (jarillón cerca a cosechadora) como la zona de mayor abundancia de organismos con un total de 105 peces.

Para el segundo muestreo en las 29 trampas de control efectivas, se capturaron 243 peces definiéndose el polígono uno (cerca al área de succión) como la zona donde hubo mayor captura de peces con 104 individuos (figura 73).

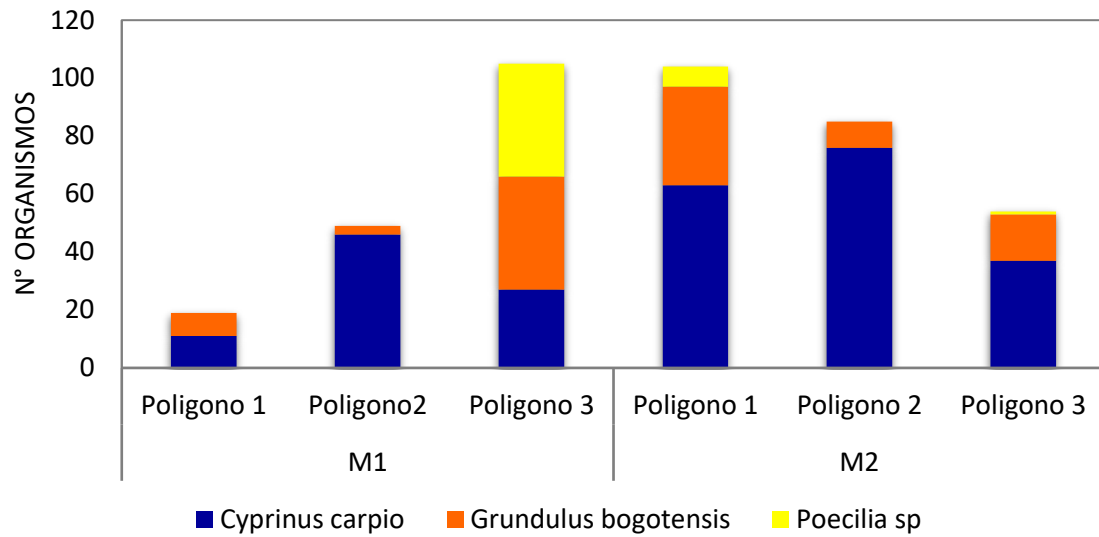


Figura 73. Número de organismos colectados en captura incidental en trampas efectivas para captura de cangrejo en primer y segundo muestreo.



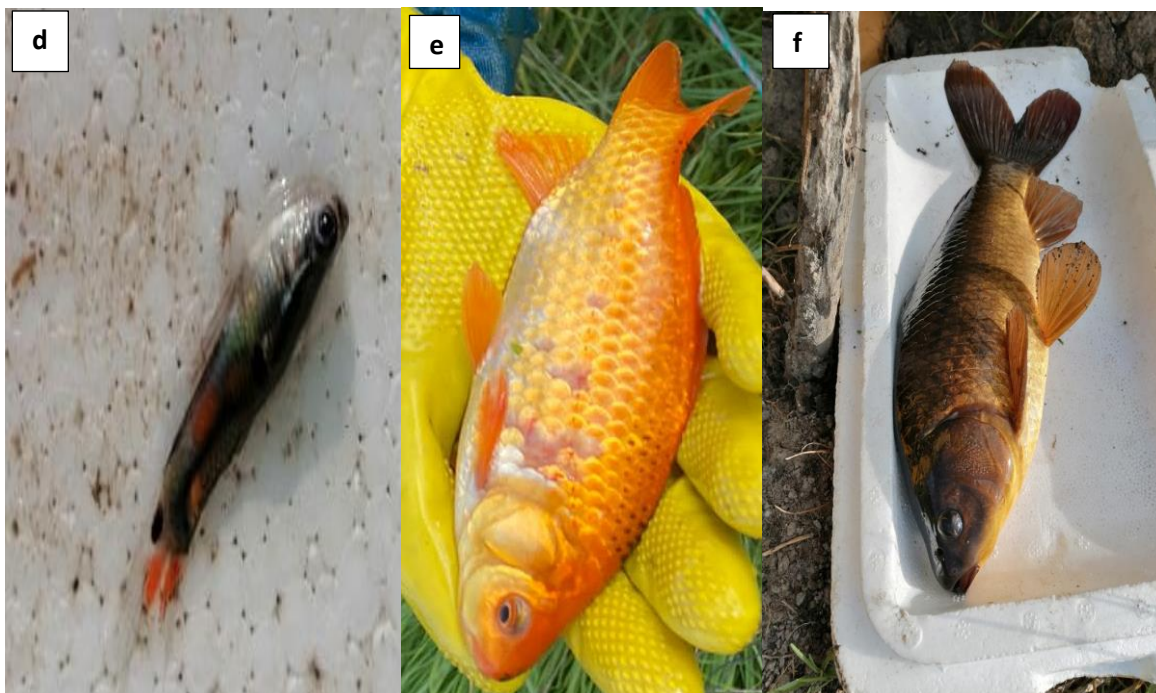


Figura 74. Organismos colectados en captura incidental. a: *Eremophilus mutisii* (Capitán de la sabana), b: *Grundulus bogotensis* (Guapucha), c: *Renacuajo rana*; d: *Poecilia* sp. (Guppy), e: *Oreochromis* sp. (Tilapia), f: *Cyprinus carpio* (Carpa).

Análisis estadísticos

Se comparó la eficiencia entre tipo de trampa, a través de la prueba de Mann-Whitney la cual arrojó un $p > 0,05$ ($p = 0,16$), por lo que se puede inferir de manera preliminar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las trampas, a pesar de que, entre los dos muestreos, se presentó una mayor abundancia en la trampa Accesotech con un total de 43 individuos en comparación con la Zreal con 32 individuos.

En cuanto a la diferencia estadística entre polígonos, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis, resultando que para un $p > 0,05$ ($p = 0,0878$), lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa, a pesar de que, en el polígono dos (entrada río Bogotá) fue la zona con el menor número de capturas (con un total de 12 individuos), en comparación con el polígono uno (cerca de la zona de succión a PTAP) y tres (jarillón cerca a cosechadora), con 31 y 32 individuos respectivamente.

Finalmente, para evaluar diferencia estadística entre muestreos, se aplicó prueba Mann-Whitney la cual arrojó un $p < 0,05$ ($p = 0,0099$), lo que indica que, si hay diferencia estadísticamente significativa entre los dos muestreos realizados, esto puede deberse al aumento de eficiencia de captura de las trampas en el segundo muestreo, puesto que en el primer muestreo se colectó un total de 22 individuos en comparación al segundo muestreo con 53 individuos.

DISCUSIÓN

Hasta el momento no se evidencia una tendencia clara en cuanto a la efectividad de alguno de los métodos probados, ni se observan diferencias entre los polígonos o una mayor o menor incidencia en la captura de hembras o machos, sin embargo, el único patrón claro es que las trampas han capturado los tamaños de cangrejos correspondientes a los adultos, con una mínima representación de los juveniles; como lo menciona Loureiro et al., (2018) el método de extracción puede ejercer una selección de tamaño, en donde los individuos más pequeños no son capturados razón por la cual puede existir baja competitividad en el hábitat al reducir la presión intraespecífica favoreciendo las condiciones para el desarrollo de nuevas cohortes.

Es por esto, que a la luz de estos resultados preliminares recomendamos complementar la extracción de los individuos del cangrejo rojo americano con métodos adicionales como el control de las macrófitas, ya que estas brindan refugio y alimento a los juveniles que no están siendo capturados por las trampas. 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.

Los métodos de captura y temporadas de muestreos pueden definirse como factores que pueden cambiar las proporciones de los sexos capturados, de manera general a partir de los resultados obtenidos en los dos muestreos, se evidencia aunque no es significativo un mayor número de individuos de cangrejos macho capturados, lo que puede estar relacionado a que las hembras de *P. clarkii* durante algunas temporadas se aíslan en madrigueras, razón por la cual su proporción al momento de captura puede ser menor que la de los machos (Gherardi et al., 2002; Barbaresi et al., 2004).

De acuerdo a los resultados obtenidos en los dos muestreos realizados, se puede inferir de manera preliminar que, en el polígono tres (jarillon cerca a cosechadora) y polígono uno (Cerca al área de succión a la PTAP) se podrían intensificar los esfuerzos de control, puesto que en dicha zona se capturó la mayor cantidad de organismos, lo que puede deberse a que por efectos de corriente los organismos tienden a dejarse llevar según lo mencionado por Kerby et al., 2005 y pueden estar concentrándose en dichas zonas.

En cuanto a eficiencia de la trampa, aunque no se obtuvo una diferencias estadísticamente significativa, pero teniendo en cuenta las abundancias de organismos capturados entre los muestreos, de forma preliminar se podría decir que la trampa Accesotech arroja una mayor eficiencia de organismos colectados de *P. clarkii*, lo que puede deberse a las dimensiones de entrada de la trampa y que facilita el ingreso de cangrejos de mayor tamaño, y esto se refleja en los valores promedios de longitud de cefalotórax, ya que es una medida fija del tamaño de cada uno de los individuos y más representativa en los análisis morfométricos (Beroiz, 2004). Por otra parte, la trampa Zreal colectó una menor cantidad de organismos entre los muestreos, lo que posiblemente puede estar relacionado con el número de entradas, ya que el cangrejo cuenta con mayores posibilidades de escape.

CONCLUSIONES

- Respecto al control de la especie *P. clarkii*, en la Dársena de la PTAP de Tibitoc, se evidencio que la captura y remoción de organismo por medio de las trampas utilizadas es un método que puede sumar al proceso de disminución de las poblaciones de esta especie. Sin embargo, se hace necesario complementar este proceso con estrategias que limiten el ingreso a la Dársena, empleando barreras de acceso.
- También se evidencia que es necesario el uso de otros métodos de control, como la remoción de macrófitas presentes en la Dársena, ya que pueden ser utilizadas como refugio para los juveniles y es pertinente hacer un control de organismos en esta etapa de desarrollo para evitar la reestructuración de las cohortes poblacionales.
- Según los resultados preliminares, los esfuerzos para realizar control de la especie *P. clarkii* en la darse de Tibitoc, deberían centrarse al polígono tres (jarillón cerca a cosechadora) y polígono uno (cerca de la zona de succión a PTAP). Estas zonas se identificaron como las áreas de mayor abundancia de organismos de cangrejo.
- El número de trampas es adecuado, pero se optimiza su eficiencia al realizar su disposición en las zonas de mayor densidad de organismos 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 para evitar el escape y canibalismo entre los mismos organismos; y también verificar el estado y ajustes de la estructura de las trampas, debido que la trampa Zreal, reflejo un patrón de daño en varillas por el movimiento y la abundancia de macrófitas que se encontraban en la dársena.
- Con respecto a los peces capturados durante los muestreos el tiempo de exposición de 24 horas parece ser el más práctico para ser implementado y también el más adecuado para evitar la muerte masiva de los peces dentro de las trampas.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”.

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 elemento 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 noviembre del 2021 al 17 de marzo del 2022 correspondientes con el Producto 2.

Relación del 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 con un total de 12 personas contratadas para las distintas actividades del proyecto. El pago oportuno y verificación del pago de planillas por parte de contratistas, pueden encontrarlo en el Anexo 4.1 seguridad social.

Tabla 20. Lista de Personal, cargo y Seguridad social

Rol	Empleado	Anexo
Directora de proyecto	Elisabeth Jiménez Carmona	Ver anexo 4.1.1
Coordinadora de proyecto	Gina Alexandra Romero Galindo	Ver anexo 4.1.1
Coordinador de campo	Julián Ricardo Benavides Gil	Ver anexo 4.1.1
Coordinadora SST	Nanny Lizcano	Ver anexo 4.1.2
Ingeniero ambiental	Julián David Wilches Moreno	Ver anexo 4.1.1
Auxiliar tecnóloga de campo	Rosaneth Angarita Gómez	Ver anexo 4.1.3
Auxiliar tecnóloga de campo	Valentina Romero González	Ver anexo 4.1.3
Bióloga	Andrea Catalina Sarmiento toro	Ver anexo 4.1.1
Bióloga	Isabella González Gamboa	Ver anexo 4.1.1

Biólogo	Fabian Leonardo Mesa Roberto	Ver anexo 4.1.1
Auxiliar SST	Yenny Patricia Silva Uribe	Ver anexo 4.1.1
Bióloga	Mabel Giovana Pimiento	Ver anexo 4.1.4

El desarrollo de las actividades del contrato se divide en dos tipos: actividades de oficina y actividades de salidas de campo; las actividades administrativas o de oficina son desarrolladas por cada uno de los colaboradores desde casa incluyendo las reuniones que son realizadas de manera virtual tanto las internas como las de seguimiento por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP (EAAB-ESP), por otro lado, las salidas de campo son desarrolladas en la Planta de tratamiento de agua Potable (PTAP) de Tibitoc, hasta la fecha se han realizado tres salidas de campo.

Formación y Capacitación

Para los empleados del Proyecto se han llevado a cabo capacitaciones relacionadas con diversos temas del ámbito de Sistema de Gestión Integral -SGI, así como las capacitaciones relacionadas con las medidas preventivas del COVID-19, los riesgos del trabajo en alturas, el riesgo biológico, los estándares ambientales entre otros. (Ver Anexo 4.2. Registro de formación y capacitación y figura 75).

Tabla 21. Lista de capacitaciones realizadas a los empleados del Proyecto.

No.	Fecha	Temas	Duración (H*/min**)	Asistentes	Responsable
1	04/12/2021	Inducción SGI	2 H	11	Nanny Lizcano
2	05/12/2021	Campaña No bajemos la guardia	30 min	7	Patricia Silva Uribe
3.	14/12/2021	Riesgo Biológico, riesgo trabajo en alturas, riesgo público y medidas preventivas COVID'19	20 min	9	Patricia Silva Uribe
4.	15/12/2021	Importancia de pausas activas antes, durante y después de las actividades	15 min	9	Patricia Silva Uribe

No.	Fecha	Temas	Duración (H*/min**)	Asistentes	Responsable
5.	16/12/2021	Como realizar Inspección del área donde se va a trabajar para identificar riesgos	15 min	9	Patricia Silva Uribe
6.	14/01/2022	Capacitación Riesgo Biomécanico	40 min	10	Patricia Silva Uribe
7.	15/01/2022	Lavado de Manos	15 min	10	Patricia Silva Uribe
8.	31/01/2022	Capacitación Uso de EPP	60 min	10	Patricia Silva Uribe
9.	03/02/2022	Capacitación Trabajo en Equipo	45 min	5	Patricia Silva Uribe
10.	18/02/2022	Capacitación Estándares Ambientales	60 min	10	Patricia Silva Uribe
11	21/02/2022	Capacitación Estándares de Seguridad	60 min	10	Patricia Silva Uribe
12.	25/02/2022	Capacitación Riesgo Público	60 min	10	Patricia Silva Uribe

**H: Horas*

*** min: minutos*



Figura 75. Charlas y capacitaciones durante las jornadas de campo.

Inducción General

Para los empleados del Proyecto se han llevado a cabo las jornadas de inducción en los temas de SGI y SST (Ver Anexo 4.3. Registro de inducción).

Tabla 22. Inducciones en SGI y SST, realizadas durante el Producto 2.

Fecha	Temas	Duración (H)	N° EMPLEADOS	Responsable
04/12/2021	Inducción SGI	2 horas	11	Nanny Lizcano
24/01/2022	Inducción SST	2 horas	1	Patricia Silva Uribe

Entrega de Dotación y Elementos de Protección Personal (Epp)

Durante el mes de mayo del 2021 se realizó la adquisición de dotación y de elementos de protección individual y de acuerdo con lo establecido en la matriz de elementos de protección personal del SG-SST del proyecto.

Desde el mes de junio del 2021 se hizo la primera entrega de los EPP's a todo el personal del Proyecto, esto, teniendo en cuenta que el uso de estos elementos de protección individual se iba a dar durante las reuniones virtuales, trabajo de laboratorio y en las salidas

de campo, posteriormente durante el periodo del 17 de noviembre del 2021 al 17 de marzo del 2022 se ha hecho entrega de los EPP's que se han ido agotando como lo son los tapabocas N95 y también se ha hecho entrega de los EPP's al personal nuevo que nos ha acompañado a las salidas; también, se han comprado otros EPP's adicionales los cuales no se habían contemplado anteriormente como lo son las monjas (capuchas que protegen de la picadura de mosquitos), esto, debido a la alta presencia de mosquitos en la Dársena de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Tibitoc.

A continuación, se relaciona la dotación entregada durante este periodo.

Tabla 23. Relación de la Dotación entregada durante el Producto 2.

DESCRIPCIÓN DE DOTACIÓN	CANTIDAD
Overol	2
Calzado con puntera de seguridad	2
Impermeable	2

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

Tabla 24. Relación de los elementos de protección personal (EPP's) entregados durante el Producto 2.

DESCRIPCIÓN DE EPP	CANTIDAD
Fontanero con botas	2
Protección visual (Lentes claros)	2
Guante completo	2
Tapabocas N95	58
Monja	8

La entrega de dotación y elementos de protección personal se realizó previo a las salidas de campo, y también en el mes de febrero se realizó la entrega de tapabocas para el uso en laboratorio (4 personas) (Ver Anexo 4.4. Registro entrega de dotación y entrega de EPP).



Figura 76. Entrega de Dotación y EPP's al personal del Proyecto.

Caracterización de Accidentalidad

Por Accidentes e Incidentes de Trabajo

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

Ver Anexo 4.5. Certificado AT y EL

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 la Pandemia COVID-19

Todo el personal en laborales presenciales en laboratorio o en campo hace uso obligatorio de mascarilla N95.

Para las salidas de campo se cuenta con lavamanos y baños portátiles. En la oficina se ubicó la señalización referente a la prevención del contagio de COVID-19 y se mantiene el distanciamiento social en todas las actividades.

Previo y durante las salidas de campo realizadas en el mes de diciembre, enero y marzo se realiza la entrega de tapabocas N95 para la protección contra el COVID-19

Durante el periodo se presentó un caso sospechoso de COVID-19, el cual se puso inmediatamente en aislamiento, sin embargo, una vez realizada la prueba se reporta como caso NEGATIVO.

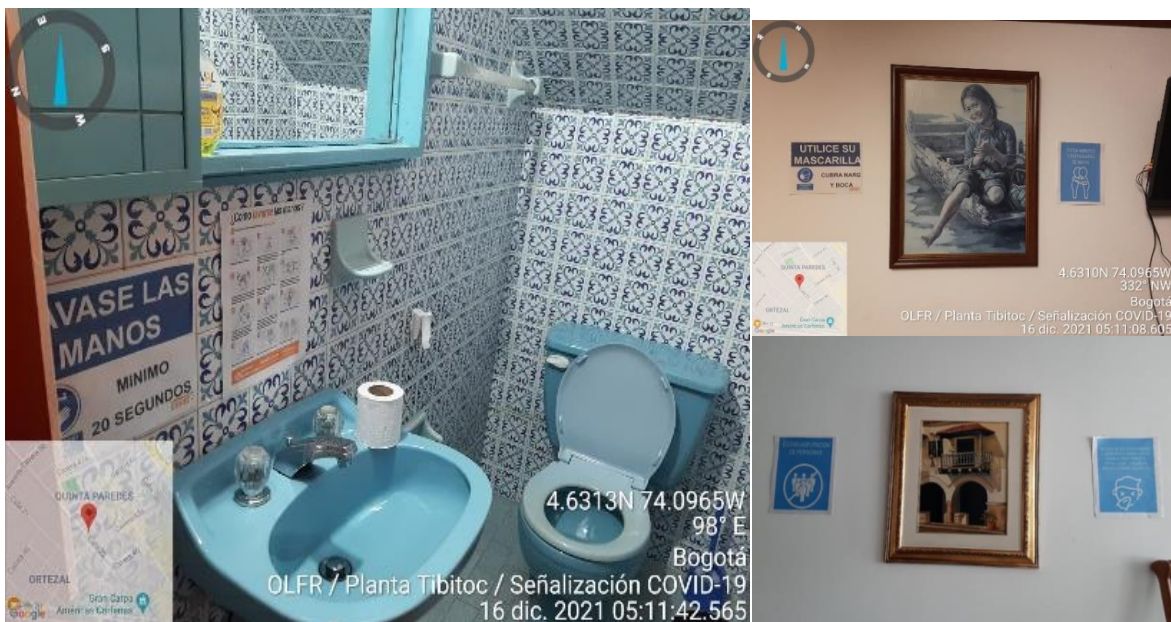


Figura 77. Señalización referente al Protocolo de Bioseguridad

Ver Anexo 4.6. Seguimiento a síntomas COVID-19

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

Atención a Emergencias

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

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



Figura 78. Elementos de atención de emergencias y personal de la Brigada de Emergencias

En el mes de marzo se realiza simulacro de emergencia en el desarrollo de la tercera salida de campo (Ver Anexo 4.12. SIMULACRO).



Figura 79. Simulacro de emergencia realizado durante la tercera salida de campo en la Dársena de la PTAP de Tibitoc.

Comité Paritario De Seguridad Y Salud En El Trabajo

La Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S. realizó la convocatoria para la conformación del Comité Paritario de Seguridad y Salud en el trabajo en el mes de febrero y se realiza el Acta de inicio del COPASST.

Ver Anexo 4.7. COPASST

Comité de Convivencia Laboral

La empresa Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros S.A.S. (OLFERS) en el mes de febrero realiza convocatoria para la conformación del Comité de Convivencia Laboral y se realiza reunión de inicio del COCOLA.

Ver Anexo 4.8. COCOLA

Campamento, Suministro de Agua y Saneamiento Básico

La OLFERS, cuenta con una oficina administrativa ubicada en la ciudad de Bogotá, donde se cuenta con todos los servicios públicos.

Para los trabajos en campo, la OLFERS cuenta con una carpa, la cual es usada a modo de campamento, donde el personal ubica sus objetos personales de forma organizada y también se ubican en este lugar los elementos de emergencia, como la camilla, flotador o salvavidas, botiquín etc.; la carpa también es utilizada como resguardo en caso de lluvias. En este lugar se cuenta con suministro de agua potable y baños para el personal del Proyecto. Esta carpa es instalada en cada jornada de campo y retirada una vez se finalizan las actividades.

Con relación al uso de unidades sanitarias se contó con dos unidades sanitarias con su respectivo lavamanos.



Figura 80. Campamento, elementos de emergencia y saneamiento básico

Inspección de Seguridad

Para el periodo del presente informe se realizaron las siguientes inspecciones en seguridad (Ver Anexo 4.9. Inspecciones):

- Inspecciones locativas
- Inspección de vehículo
- Inspección de extintor
- Inspección de botiquín
- Inspección de EPP
- Inspección Ambiental

- Inspección General
- Inspección equipos de alturas



Figura 81. Inspecciones de seguridad.

Ver Anexo 4.9. Inspecciones de seguridad

Durante las salidas de campo de los meses de diciembre, enero y marzo se realizaron actividades en alturas, implementando de esta manera el respectivo permiso de trabajo seguro, al igual que la creación de las Hojas de vida. Se hicieron los respectivos exámenes y cursos para la validación del personal a desarrollar dicha actividad. (Ver Anexo 4.11. Trabajo en alturas).

Plan de Manejo de Transito

Durante el periodo del presente informe y para el desarrollo de las salidas de campo se realizó la revisión de la documentación de los vehículos usados en el proyecto (Ver Anexo 4.10. Vehículos).

Con el fin de validar desde el área SST el cumplimiento se realizaron las inspecciones SST durante el desarrollo de las salidas de campo.

Seguimiento Matriz de Riesgos

Durante el periodo del presente informe el seguimiento y gestión de riesgos de la matriz, muestra que de los ochenta y siete (87) riesgos establecidos en la matriz, sesenta y cinco (65) se encuentran en seguimiento, veintiuno (21) se encuentran cerrados (correspondientes a la parte precontractual del contrato) y dos están en estado activo materializado. (figura 82).

■ Cerrados ■ Activos ■ Seguimiento

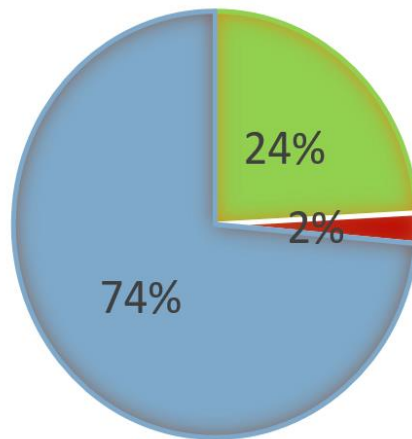


Figura 82. Estado de Gestión del riesgo

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

- Fila 64, Riesgo 30. Daños o pérdida de equipos, materiales o demás bienes necesarios para cumplir con las condiciones del contrato o demoras en la ejecución de las actividades del contrato por ocurrencia de fenómenos como: Asonada, motín, conmoción civil o popular y huelga y Actos mal intencionados de terceros incluyendo actos terroristas y sabotaje. Este riesgo pasa de posible a probable, teniendo en cuenta la situación de orden público en el país y constantes manifestaciones.
- Fila 65, Riesgo 31. Daños o pérdida de equipos, materiales o demás bienes necesarios para cumplir con las condiciones del contrato o demoras en la ejecución del contrato por ocurrencia de fenómenos de la naturaleza como: terremoto, temblor, anegación, avalancha, deslizamiento, granizo, lluvias fuertes, vientos huracanados, vendavales, riesgos geológicos, hidrológicos, freáticos u otros eventos de la naturaleza. Este riesgo pasa de posible a probable, teniendo en cuenta que las actividades en campo se ven afectadas por las bajas temperaturas y la Lluvia; por lo que se debe hacer control del estado del clima previo programación de las próximas salidas.

A continuación, se presenta un análisis de los riesgos materializados

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

Fila 59, riesgo 25. Incapacidades médicas del personal por factores biológicos (COVID-19) este riesgo se materializa teniendo en cuenta un caso de ausencia presentado en la salida de campo del mes del mes de enero de 2022 por un contacto estrecho fuera del sitio de trabajo.

Ver Anexo 4.11. Matriz de riesgos del contrato

CONCLUSIONES

- En materia de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Proyecto, en el mes de enero de 2022, se realiza inducción al personal nuevo y formación del personal durante el periodo
- Previo al inicio de labores el personal recibe dotación y Elementos de Protección personal, se le dan instrucciones sobre su correcto cuidado y utilización y se reponen elementos en caso de ser necesario.
- En las jornadas de Trabajo en campo se realizaron actividades de orden y limpieza, buscando tener ambientes de trabajo limpios y evitar incidentes y/o accidentes de trabajo y dejar los sitios en iguales o en mejores condiciones de las encontradas inicialmente.
- Se evidencia receptividad de los colaboradores a las charlas y capacitaciones de Seguridad y Salud en el trabajo; ya que se identifican buenas prácticas en cuanto a uso de los elementos de protección personal y demás estándares de seguridad.
- Durante el periodo del producto no se presentaron accidentes ni incidentes laborales dentro de los colaboradores.
- Se implementa acciones de prevención por parte de los colaboradores.

CAPÍTULO 5. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES DEL CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA DÁRSENA DE LA PLANTA TIBITOC”.

A continuación, se describen las diferentes actividades enmarcadas en los aspectos ambientales del Proyecto “Estudio de los parámetros poblacionales del Cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la Dársena de la planta Tibitoc”, las actividades que se describen a continuación están relacionadas con el permiso de recolección y el plan de gestión de residuos sólidos y peligrosos, estas actividades se desarrollaron durante la elaboración del Producto dos (2) que comprende el periodo entre el tercer y sexto mes de ejecución de Proyecto.

Permiso de Recolección

Como parte del seguimiento al permiso de recolección solicitado ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) por la Organización Luis Fernando Romero Sandoval Ingenieros SAS (OLFRS) bajo el número de expediente 86292 para la captura del cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii*, durante la ejecución de este proyecto; la OLFRS ha solicitado el cierre del expediente, ya que este fue negado por la entidad por las razones expuestas en el considerando de la Resolución DJUR No 50217001210 de 3 de noviembre de 2021.

La solicitud de cierre del expediente N° 86292, se radicó el 15 de marzo de 2022, bajo el N° 20221020362 ante la CAR de Cundinamarca. Este proceso se adelanta con el fin de no dejar ningún proceso abierto con la entidad que pueda generar solicitudes después de finalizado el contrato con la EAAB. El radicado del oficio se adjunta como Anexo 5.1 Radicado Cierre Expediente CAR.

Plan de Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos

De acuerdo con lo establecido en el plan de gestión, los residuos peligrosos generados son principalmente residuos biológicos producto de la investigación que se hace a los cangrejos capturados, material contaminado como wypall y guantes de nitrilo, y por otro lado también se incluye la gestión y manejo de los residuos líquidos de aguas residuales domésticas del servicio de baños portátiles usados durante las salidas de campo.

La gestión de los residuos biológicos se está realizando a través de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia -UPTC, con la cual tenemos un convenio de cooperación que incluye la gestión de dichos residuos, dado que todo el trabajo de laboratorio se hace en las instalaciones de la Universidad.

Los colaboradores de la OLFRS entregan los residuos producidos por el proyecto al gestor autorizado por la Universidad, el cual hace la recolección de los residuos proveniente de los laboratorios y otras zonas de la institución académica. Por lo anterior, la Universidad le entregará al Proyecto un certificado total de los residuos peligrosos generados por toda la

Universidad y no se podrá contar con un certificado específico para la Organización, sin embargo, la OLFRS cuenta con el soporte de recolección de los residuos que son generados por el Proyecto Anexo 5.2

La empresa gestora de los residuos peligrosos que trabaja con la UPTC es la Empresa Regional para el Manejo de Residuos – EMIR S.A. E.S.P., los documentos que avalan el cumplimiento legal ambiental de esta empresa se adjuntan en el Anexo 5.3 Gestor Residuos. De igual manera, se relaciona en el Anexo 5.2 Soporte de Recolección, la recolección de los residuos peligrosos generados en el laboratorio de la UPTC, este documento valida que se ha hecho la entrega de estos residuos a la empresa gestora.

Cuando la Universidad haga entrega del certificado de disposición por parte de la empresa EMIR S.A. E.S.P., este será entregado a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-ESP para su verificación y control.

En cuanto a los residuos líquidos generados por el uso de los baños portátiles, en el Anexo 5.4 Certificados de residuos de baños portátiles, se hace entrega de los correspondientes documentos para las salidas de campo realizadas en los meses de diciembre de 2021 y enero de 2022, para el caso de la salida realizada el 8 y 9 de marzo de 2022, aún no se cuenta con este documento.

Por otro lado, se hace entrega de los formatos de seguimiento a los residuos generados para el caso de los residuos sólidos, aprovechables y peligrosos durante el periodo evaluado, esta información se encuentra en el Anexo 5.5 Formatos de Residuos.

De acuerdo con lo anterior, para el periodo evaluado entre el 17 de noviembre del 2021 al 17 de marzo de 2022, el cual hace parte del Producto 2, los residuos peligrosos generados fueron en total 4.1 kg de residuo biológico y material contaminado generados en el laboratorio de la UPTC, en cuanto a los residuos líquidos se generó un total de 120 galones de aguas domésticas según el soporte del registro de estos residuos entregado por la Empresa SeptiClean, y se relacionan en los Anexos 5.4 y 5.5.



Figura 83. Entrega de residuos sólidos y peligrosos producidos en el laboratorio de la UPTC

Es importante aclarar que todo el personal del proyecto se encuentra trabajando de manera virtual y no se ha realizado uso de la oficina administrativa en la ciudad de Bogotá por lo que no se han generado residuos sólidos en esta sede.

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

Anastácio, P. M., Leitão, A. S., Boavida, M. J., 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>.

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

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

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.

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.

Beroiz Remírez, B. (2004). Caracterización morfométrica y genética de las poblaciones españolas de cangrejo de río "Austropotamobius pallipes"(Lereboullet, 1858) mediante el uso de marcadores moleculares.

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.

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

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.

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).

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

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.

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

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

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

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) FAOICLARM 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.

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.

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>.

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

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>

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*.

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

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>

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

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.

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.

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>.

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.

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). *BiolInvasions Record*, 8(1).

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.

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

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.

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.

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

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.

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

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

Rodríguez-González, H., Hernández-Llamas, A., Villarreal, H., Saucedo, P. E., García-Ulloa, M., 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.

Silva, J. S. D. (2012). *Estudo a longo prazo da assembleia de Chironomidae em lagos rasos* (Master's thesis).

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.