

INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A

Caracterización fisicoquímica, hidrobiológica y microbiológica de agua superficial de las ciénagas de mallorquín, Balboa y El Rincón, y aspectos preliminares sobre el uso de sensores remotos como análisis complementario al índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) realizado el día 26, 27 y 28 de diciembre de 2020.

**BARRANQUILLA/ATLÁNTICO
DICIEMBRE 2020**

|| www.serambiente.com Tel: (57) (5) 385 8220 -
Carrera 41 No. 73B – 72
Barranquilla. Colombia



INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL**Elaboró:**

Valerie M. Gómez Domínguez

Revisó:

Yuliza Cabarcas Güette

Aprobó:

Ángel Barrera Ibarra

El monitoreo fue desarrollado por SERAMBIENTE S.A.S, empresa acreditada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), a través de la Resolución 1013 de 2019, vigente hasta el 12 de septiembre de 2023, para producir información cuantitativa física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades competentes, ubicada en la Carrera 41 # 73B – 72 en la ciudad de Barranquilla. El grupo de trabajo estuvo conformado por los siguientes profesionales de SERAMBIENTE S.A.S:

CARLOS SULBARAN VILLAFÑE

Ingeniero de Campo

VALERIE M. GÓMEZ DOMÍNGUEZ

Analista técnico

ÁNGEL BARRERA IBARRA

Gerente



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. GENERALIDADES	21
3.1 ALCANCE	21
3.2 NORMATIVA DE REFERENCIA	21
3.3 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	21
3.4 EMPRESA RESPONSABLE DEL ESTUDIO	22
3.5 TELEDETECCIÓN	23
4. METODOLOGÍA	26
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MONITOREO.....	26
4.2 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	27
4.3 PROCESO METODOLÓGICO	30
4.3.1. Etapa de preparación.....	31
4.3.2. Etapa de campo.	32
4.3.3. Etapa de laboratorio.	40
4.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE CIÉNAGAS COSTERAS ICACC	44
4.5 SENSORES REMOTOS.....	47
4.5.1 Recopilación de información.	47
4.5.2. Organización de información.....	47
4.5.3. Análisis de la información.	48
5. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA	53



6.	RESULTADOS	55
6.1	CIÉNAGA DE MALLORQUÍN.....	55
6.1.1	Caracterización.....	56
6.1.2	Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga de Mallorca.....	100
6.1.3	Análisis por sensores remotos.....	107
6.1.4	Prueba y modelo estadístico.	116
6.2	CIÉNAGA EL RINCÓN	120
6.2.1	Caracterización.....	120
6.2.1.1	Variables Físicoquímicas.	120
6.2.1.2	Variables Hidrobiológicas.....	130
6.2.2	Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga El Rincón.	163
6.2.3	Análisis por sensores remotos.	168
6.2.4	Prueba y modelo estadístico.....	177
6.3	CIÉNAGA DE BALBOA.....	179
6.3.1	Caracterización.....	180
6.3.1.1	Variables Físicoquímicas	180
6.3.1.2	Variables Hidrobiológicas.....	191
6.3.2	Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga de Balboa.....	210
6.3.3	Análisis por sensores remotos.	216
6.3.4	Prueba y modelo estadístico.....	226
7	CONCLUSIONES.....	228
7.1	CONCLUSIONES POR CIÉNAGA	228
7.1.1	Ciénaga de Mallorca.....	228
7.1.2	Ciénaga El Rincón.....	230
7.1.3	Ciénaga de Balboa.....	232
7.2	CONCLUSIONES GENERALES.....	234
8	REFERENCIAS.....	236



9 ANEXOS 243



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de las muestras para agua superficial.	22
Tabla 2. Datos generales del estudio.....	23
Tabla 3. Bandas de Landsat 8.	25
Tabla 4. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.	27
Tabla 5. Registro fotográfico de soluciones Buffer empleadas y etiqueta de envases.	32
Tabla 6. Metodología de toma de muestras	33
Tabla 7. Tipo de envase y preserva	36
Tabla 8. Equipos y métodos analíticos para la medición de los parámetros In-situ.....	37
Tabla 9. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra	37
Tabla 10. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras.....	40
Tabla 11. Agrupamiento de variables para conformar los Subíndices.	44
Tabla 12. Valores de ponderación de los subíndices o condición relacionada.	45
Tabla 13. Escala de calidad para determinar la condición ambiental de las ciénagas con el ICA _{cc}	46
Tabla 14. Imágenes Landsat 8.	47
Tabla 15. Índices ecológicos	48
Tabla 16. Determinación de firmas espectrales de diferentes variables.	51
Tabla 17. Artículo 2.2.3.3.9.10 – Decreto 1076/2015 y artículo 18 Decreto 703 de 2018	53
Tabla 18. Límites de control para variables fisicoquímicas en la Resolución 000258 de 2011 de la CRA.	54
Tabla 19. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Mallorquín.	66
Tabla 20. Densidad por día de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020.	69



Tabla 21. Densidad promedio de la comunidad fitoplanctónica por punto de monitoreo en la ciénaga de Mallorcaín.	72
Tabla 22. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).....	75
Tabla 23. Clasificación taxonómica del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.	76
Tabla 24. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.Parte I.....	80
Tabla 25. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.Parte II.....	81
Tabla 26. Densidad promedio y por punto de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.	82
Tabla 27. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga Mallorcaín en diciembre de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ)	86
Tabla 28. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.	87
Tabla 29.Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.	89
Tabla 30. Densidad promedio de la comunidad perifítica por punto de monitoreo en la ciénaga de Mallorcaín.	90
Tabla 31. Índices ecológicos para el perifiton en la Ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).....	92
Tabla 32. Clasificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga de Mallorcaín.	92



Tabla 33. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín. Parte I.....	96
Tabla 34. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín.....	96
Tabla 35. Clasificación taxonómica, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la ciénaga de mallorquín en diciembre de 2020 a enero de 2021.	97
Tabla 36. Abundancia por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Mallorquín.	98
Tabla 37. Abundancia total por punto de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Mallorquín.	98
Tabla 38. Valores de los subíndices y del índice ICAcc para la ciénaga de Mallorquín.	101
Tabla 39. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga de Mallorquín.....	117
Tabla 40. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón.	130
Tabla 41. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón. Parte I.....	134
Tabla 42. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón. Parte II.....	135
Tabla 43. Densidad promedio por punto de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín.	137
Tabla 44. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga El Rincon en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).	139
Tabla 45. Clasificación taxonómica del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	140
Tabla 46. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	145



Tabla 47. Densidad promedio y por punto de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	147
Tabla 48. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga el Rincón en de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ)	149
Tabla 49. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga El Rincón.	150
Tabla 50. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga El Rincón.	154
Tabla 51. Densidad promedio de la comunidad perifítica por punto de monitoreo en la ciénaga El Rincón.	155
Tabla 52. Índices ecológicos para el perifiton en el Lago del Cisne, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).	156
Tabla 53. Especies de macrófitas acuáticas registradas en la ciénaga el Rincón en diciembre de 2020 - enero de 2021. Biotipos: Acropleustophita (AC), Helophyta (He) y Mesopleustophyta (Me).	156
Tabla 54. Porcentaje de cobertura media y por día de monitoreo de las especies de macrófitas acuáticas registradas en la ciénaga El Rincón. Parte I.	157
Tabla 55. Clasificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón.	157
Tabla 56. Densidad promedio y por día de monitoreo (Ind/m ²) de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón (El cisne).	161
Tabla 57. Densidad promedio y por punto de monitoreo (Ind/m ²) de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón (El cisne).	161
Tabla 58. Clasificación taxonómica, Numero de individuos, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la Ciénaga El Rincón en diciembre de 2020.	162
Tabla 59. Abundancia total y por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga El Rincón.	162
Tabla 60. Abundancia total de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga El Rincón.	163
Tabla 61. Valores de los subíndices y del índice ICAcc para la ciénaga El Rincón.	164



Tabla 62. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga El Rincón.....	177
Tabla 63. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Balboa.	191
Tabla 64. Densidad promedio de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Balboa por punto de monitoreo.	194
Tabla 65. Densidad promedio total y por punto de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Balboa. ...	194
Tabla 66. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).	195
Tabla 67. Clasificación taxonómica y densidad del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.	196
Tabla 68. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.	200
Tabla 69. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.	201
Tabla 70. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ)	202
Tabla 71. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Balboa.	203
Tabla 72. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga de Balboa.	205
Tabla 73. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga de Balboa.	205
Tabla 74. Índices ecológicos para el perifiton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).	206



Tabla 75. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga de Balboa.....	206
Tabla 76. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados en la ciénaga de Balboa.....	207
Tabla 77. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados en la ciénaga de Balboa.....	207
Tabla 78. Clasificación taxonómica, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.....	208
Tabla 79. Abundancia total y por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Balboa.....	208
Tabla 80. Valores de los subíndices y del índice ICAcc para la ciénaga de Balboa.....	211
Tabla 81. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga de Balboa.....	226
Tabla 82. Anexos del informe técnico.....	243



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Firmas espectrales	24
Figura 2. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Ciénaga Mallorcaín	29
Figura 3. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Ciénaga El Rincón	29
Figura 4. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Balboa.....	30
Figura 5. Actividades de la etapa de preparación.	31
Figura 6. Flujoograma del proceso de remisión de muestras.....	35
Figura 7. Variación del pH y la salinidad en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	57
Figura 8. Variación del oxígeno disuelto, DBO ₅ , DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	59
Figura 9. Variación de las grasas y aceites (GyA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.....	62
Figura 10. Variación de los nitratos (NO ₃), amoníaco (NH ₃) y fosfatos (PO ₄) en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.....	63
Figura 11. Variación del cadmio y el plomo en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	64
Figura 12. Variación de los coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga de Mallorcaín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.....	65
Figura 13. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga de Mallorcaín, en diciembre de 2020.	68
Figura 14. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Mallorcaín.	74



Figura 15. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. 78

Figura 16. Abundancia Total y distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. 85

Figura 17. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. 88

Figura 18. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Mallorquín. 91

Figura 19. Representatividad específica de las divisiones bentónicas en la ciénaga de Mallorquín. 93

Figura 20. Contribución a la densidad total de las divisiones bentónicas registradas en la ciénaga de Mallorquín. 94

Figura 21. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga de Mallorquín. 95

Figura 22. Contribución a la densidad total de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en la ciénaga de Mallorquín. 97

Figura 23. Mapa de variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga de Mallorquín. ... 102

Figura 24. Reflectancia del potencial de hidrogeniones, ciénaga de Mallorquín, 2018 108

Figura 25. Reflectancia del potencial de hidrogeniones, ciénaga de Mallorquín, 2020 108

Figura 26. Variación espacial del pH en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020 109

Figura 27. Reflectancia del oxígeno disuelto, ciénaga de Mallorquín, 2018. 110

Figura 28. Reflectancia del oxígeno disuelto, ciénaga de Mallorquín, 2020. 110

Figura 29. Variación espacial del OD en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020. 110

Figura 30. Reflectancia de DBO₅, ciénaga de Mallorquín, 2018. 112

Figura 31. Reflectancia de DBO₅, ciénaga de Mallorquín, 2020. 112

Figura 32. Variación espacial de DBO₅ en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020. 112



Figura 33. Reflectancia de SST, ciénaga de Mallorcaín, 2018.	114
Figura 34. Reflectancia de SST, ciénaga de Mallorcaín, 2020.	114
Figura 35. Variación espacial de SST en la ciénaga de Mallorcaín, 2018-2020.	114
Figura 36. Reflectancia de fitoplancton (densidad), ciénaga de Mallorcaín, 2018.	116
Figura 37. Reflectancia de fitoplancton (densidad), ciénaga de Mallorcaín, 2020.	116
Figura 38. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Mallorcaín, 2018-2020.	116
Figura 39. Gráfico del modelo ajustado para oxígeno disuelto (OD). Ciénaga de Mallorcaín.	118
Figura 40. Gráfico del modelo ajustado para fitoplancton (densidad). Ciénaga de Mallorcaín.	119
Figura 41. Gráfico del modelo ajustado para Subfitoplancton. Ciénaga de Mallorcaín.	119
Figura 42. Variación del pH y la conductividad en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	121
Figura 43. Variación del oxígeno disuelto, DBO ₅ , DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	123
Figura 44. Variación de las grasas y aceites (GyA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	125
Figura 45. Variación de los nitratos (NO ₃), amoníaco (NH ₃) y fosfatos (PO ₄) en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	127
Figura 46. Variación del cadmio, plomo y cobre en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	128
Figura 47. Variación de coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	129
Figura 48. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020.	132



Figura 49. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga El Rincón.	133
Figura 50. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	143
Figura 51. Distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	148
Figura 52. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.	152
Figura 53. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga El Rincón.	153
Figura 54. Representatividad específica de las divisiones bentónicas en la ciénaga El Rincón.	158
Figura 55. Contribución a la densidad total de las divisiones bentónicas registradas en la ciénaga El Rincón	159
Figura 56. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga El Rincón	160
Figura 57. Contribución a la densidad total de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en la ciénaga El Rincón.	162
Figura 58. Variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga El Rincón.	165
Figura 59. Reflectancia de DBO ₅ en la ciénaga El Rincón, 2018.	169
Figura 60. Reflectancia de DBO ₅ en la ciénaga El Rincón, 2020.	169
Figura 61. Variación espacial de DBO ₅ en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.	170
Figura 62. Reflectancia de OD en la ciénaga El Rincón, 2018.	171
Figura 63. Reflectancia de OD en la ciénaga El Rincón, 2020.	171
Figura 64. Variación espacial de OD en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.	172
Figura 65. Reflectancia del pH en la ciénaga El Rincón, 2018.	173



Figura 66. Reflectancia del pH en la ciénaga El Rincón, 2020.	173
Figura 67. Variación espacial del pH en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.	173
Figura 68. Reflectancia de SST en la ciénaga El Rincón, 2018.	175
Figura 69. Reflectancia de SST en la ciénaga El Rincón, 2020.	175
Figura 70. Variación espacial de SST en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.	175
Figura 71. Reflectancia de Fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2018.	176
Figura 72. Reflectancia de Fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2020.	176
Figura 73. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.	177
Figura 74. Gráfico del modelo ajustado para DBO ₅ . Ciénaga El Rincón.	178
Figura 75. Gráfico del modelo ajustado para Fitoplancton. Ciénaga El Rincón.	178
Figura 76. Gráfico del modelo ajustado para Subl Fitoplancton. Ciénaga El Rincón.	179
Figura 77. Variación del pH en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	181
Figura 78. Variación del oxígeno disuelto, DBO ₅ , DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	184
Figura 79. Variación de las grasas y aceites (GyA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	186
Figura 80. Variación de los nitratos (NO ₃), amoníaco (NH ₃) y fosfatos (PO ₄) en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	188
Figura 81. Variación del plomo y el cobre en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	189
Figura 82. Variación de coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.	190



Figura 83. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.	192
Figura 84. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Balboa.	193
Figura 85. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.	198
Figura 86. Distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.	199
Figura 87. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.	203
Figura 88. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga Balboa.	204
Figura 89. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga de Balboa.	207
Figura 90. Variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga de Balboa.	212
Figura 91. Reflectancia de DBO ₅ en la ciénaga de Balboa, 2018.	218
Figura 92. Reflectancia de DBO ₅ en la ciénaga de Balboa, 2020.	218
Figura 93. Variación espacial de DBO ₅ en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.	218
Figura 94. Reflectancia de OD en la ciénaga de Balboa, 2018.	219
Figura 95. Reflectancia de OD en la ciénaga de Balboa, 2020.	219
Figura 96. Variación espacial de OD en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.	220
Figura 97. Reflectancia de pH en la ciénaga de Balboa, 2018.	221
Figura 98. Reflectancia de pH en la ciénaga de Balboa, 2020.	221
Figura 99. Variación espacial de pH en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.	222
Figura 100. Reflectancia de SST en la ciénaga de Balboa, 2018.	223



Figura 101. Reflectancia de SST en la ciénaga de Balboa, 2020.	223
Figura 102. Variación espacial de SST en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.....	223
Figura 103. Reflectancia de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2018.	225
Figura 104. Reflectancia de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2020.	225
Figura 105. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.....	225
Figura 106. Gráfico del modelo ajustado para los SST. Ciénaga de Balboa.....	227



1. INTRODUCCIÓN

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A, contrató los servicios de SERAMBIENTE S.A.S, para desarrollar una caracterización de agua superficial en dieciséis (16) puntos, ubicados en las ciénagas mallorquín, El Rincón y Balboa en el departamento del Atlántico; con el fin de verificar el estado de la calidad del agua para su programa de control y seguimiento ambiental.

El monitoreo se llevó a cabo los días 26, 27 y 28 de diciembre de 2020. La toma de muestra fue puntual o simple, tomada por el laboratorio SERAMBIENTE S.A.S. y analizadas en conjunto con SGS COLOMBIA S.A.S y LIMA S.A.S, dichos laboratorios se encuentran acreditados por el IDEAM para la toma de muestras y análisis de parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y microbiológicos.

El presente informe presenta los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica, hidrobiológica y microbiológica de agua superficial y aspectos preliminares sobre el uso de sensores remotos como análisis complementario al índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc).



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Realizar una evaluación de la calidad del agua de las ciénagas de Mallorquín, Rincón y Balboa en el departamento del Atlántico; mediante la aplicación del índice de calidad de aguas de ciénagas costeras (ICAcc) y la incorporación de sensores remotos como herramienta complementaria para su diagnóstico.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de las ciénagas mediante la toma de muestras y análisis espacio-temporal de resultados de diferentes variables.
- Analizar la calidad del agua de las ciénagas a partir de la caracterización y de la aplicación del índice de calidad para las ciénagas costeras del departamento (ICAcc).
- Realizar un análisis complementario al ICAcc mediante el uso de sensores remotos y determinar su aplicabilidad, determinando posibles relaciones entre diferentes longitudes de onda de imágenes satelitales multiespectrales, con el índice, así como con sus respectivos subíndices y variables que lo componen.



3. GENERALIDADES

3.1 Alcance

Análisis de calidad del agua de las ciénagas de mallorquín, Rincón y Balboa en el departamento basado en la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de las aguas superficiales, con aplicación del índice de calidad de aguas costeras (ICAcc) y mediante la aplicación de imágenes multiespectrales como posible herramienta complementaria para el diagnóstico remoto y en tiempo real.

3.2 Normativa de referencia

Se actúa con relación a la caracterización del agua superficial, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos por el cliente, reportando las concentraciones obtenidas en los parámetros analizados, realizando comparaciones con los objetivos de calidad establecidos en la Resolución 0258 del 13 de abril de 2011 de la CRA y con el Decreto 1076 de 2015 criterios de calidad de preservación de flora y fauna.

3.3 Información de la empresa

Razón Social:	CORPORACIÓN AUTÓNOMA DREGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A
Ciudad:	Barranquilla
Departamento:	Atlántico
Dirección:	Carrera 66 # 54 - 43
Actividad Económica:	Empresa encargada de ejecutar las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplimiento a las disposiciones legales vigentes.



3.4 Empresa responsable del estudio

El monitoreo fue realizado por el laboratorio de Servicios de Ingeniería y Ambiente S.A.S. Las empresas responsables de cada uno de los análisis se detallan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de las muestras para agua superficial.

Laboratorio	Parámetro	Resolución de Acreditación
SERAMBIENTE S.A.S	Oxígeno disuelto	Resolución 1013 de 2019
	Temperatura	
	pH	
	Conductividad	
	Sólidos Suspendedos Totales (SST)	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	
	Nitratos por ISE	
	Fósforo reactivo total (Ortofosfatos)	
	Detergentes (SAAM)	
	Grasas y aceites	
	Hidrocarburos totales	
	Salinidad	
	Macrófitas	
	Fitoplancton	
	Zooplancton	
	Peces	
Perifiton		
Macroinvertebrados bentónicos		
Ictiofauna		
SGS COLOMBIA S.A.S	Arsénico total	Resolución 0180 de 2020
	Cadmio total	
	Cobre total	
	Mercurio total	
	Nitrógeno amoniacal	
	Plomo total	
	Pseudomona aeruginosa	
LIMA S.A.S.	Coliformes termotolerantes	Resolución 0555 de 2019
	Coliformes totales	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, SGS COLOMBIA S.A.S. y LIMA S.A.S, 2020.

Los datos generales del monitoreo, identificación de cada una de las muestras y los puntos de monitoreo, se detallan en la **Tabla 2**.



Tabla 2. Datos generales del estudio.

Fecha de monitoreo	26, 27 y 28 de diciembre de 2020		
Lugar de monitoreo	Entre las ciénagas de Mallorquín, El Rincón y Balboa		
Duración del monitoreo	2 días		
Puntos de monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Punto 1. Mallorquín ○ Punto 2. Mallorquín ○ Punto 3. Mallorquín ○ Punto 4. Mallorquín ○ Punto 5. Mallorquín ○ Punto 6. Mallorquín ○ Punto 7. Mallorquín 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Punto 1. Lago del Cisne ○ Punto 2. Lago del Cisne ○ Punto 3. Lago del Cisne ○ Punto 4. Lago del Cisne ○ Punto 5. Lago del Cisne ○ Punto 6. Lago del Cisne 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Punto 1. Balboa ○ Punto 2. Balboa ○ Punto 3. Balboa
Tipo de estudio	Estudio de caracterización de agua superficial		

*: El lago del cisne es el mismo que el rincón

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

3.5 Teledetección

De acuerdo con el análisis de Gómez y Dalence (2014) en la actualidad existe un monitoreo deficiente de la calidad del agua en Colombia, puesto que los análisis tradicionales implican un tiempo de toma de datos, transporte de las muestras y análisis de laboratorio, que además acarrear un costo, que interfiere para obtener suficiente información del estado de calidad del agua. De manera convencional, los métodos empleados para la evaluación de la calidad del agua se han basado en mediciones realizadas en campo (Hakanson *et al*, 2005), con lo que se pueden lograr medidas precisas, aunque su obtención es costosa y demanda muchos recursos. No obstante, estos métodos no permiten obtener información en tiempo real, imposibilitando la gestión integral del recurso agua (Brivio *et al*. 2001).

En este sentido, las técnicas de teledetección, sensores remotos o de percepción remota, han demostrado utilidad para la estimación de algunos de los parámetros relacionados con índices de calidad del agua. Esto ha sido posible por el diseño de nuevos sensores satelitales con un incremento considerable de la resolución espacial, espectral y temporal con una mejora en la captación de la superficie terrestre (Feysa *et al*, 2014).



Son muchos los estudios enfocados en la teledetección como medio para la determinación de parámetros relativos a la calidad del agua en el ambiente marino, como la clorofila, el fitoplancton, la materia orgánica, sólidos disueltos en suspensión o turbidez. Igualmente, en ambientes continentales existe información sobre su aplicabilidad, sin embargo, la complejidad de estos sistemas relacionada con la contaminación, el arrastre de sedimentos y otros aspectos, hace compleja la obtención de modelos que puedan aplicarse de forma generalizada (Amado *et al*, 2018).

Los sensores remotos son sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia (*remote sensor*). La teledetección o percepción remota (*remote sensing*) se refiere a la adquisición de datos de la superficie terrestre con un sensor remoto, y al procesamiento e interpretación de esos datos. Más específicamente, la teledetección es la captación de las características físicas de la superficie terrestre, basada en mediciones de radiación reflejada y emitida de cada componente de esa superficie (Chuvienco, 2010).

En otra instancia, según (Avila, 2019) la forma en la cual un objeto, emite o absorbe la energía conforme a un patrón espectral se denomina "*firma espectral*", la misma permite identificar y discriminar diferentes objetos a partir de un perfil específico de radiancia emitida por elementos situados en la superficie de la tierra; la firma se captura a partir de la señal registrada por los sensores remotos en las diferentes porciones del espectro en función del objeto, su temperatura o la textura entre otros factores (**Figura 1**).

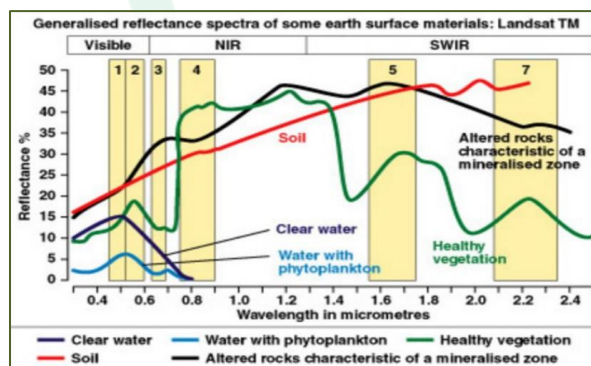


Figura 1. Firmas espectrales.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



Las imágenes satelitales para la elaboración de este proyecto fueron tomas del satélite *Landsat 8* (formalmente la Misión de Continuidad de Datos Landsat, LDCM) (Tabla 3), siendo este lanzado en un cohete Atlas-V desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California, el 11 de febrero de 2013; es el satélite lanzado más recientemente y lleva los instrumentos *Operational Land Imager* (OLI) y *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Landsat 8 orbita la Tierra en una órbita casi polar sincrónica con el sol, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98.2 grados, y completa una órbita terrestre cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos.

Tabla 3. Bandas de Landsat 8.

Número de	Nombre de la banda	Longitud de Onda (µm)		Resolución
1	Costera (Coastal)	0.43 - 0.45		30
2	Azul	0.45 - 0.51		30
3	Verde	0.53 - 0.59		30
4	Roja	0.63 - 0.67		30
5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88		30
6	Infrarrojo de Onda Corta 1	1.57 - 1.65		30
7	Infrarrojo de Onda Corta 2	2.11 - 2.29		30
8	Pancromática (Pan)	0.50 - 0.68		15
9	Cirros (Cirrus)	1.36 - 1.38		30
TIRS	10	Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10.60 - 11.19	30 (100)
TIRS	11	Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11.50 - 12.51	30 (100)

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La combinación de bandas es un procedimiento que nos permite analizar elementos de específicos de la superficie terrestre en función de espectro de emisión. Para este proyecto, fue necesario utilizar la combinación de las bandas 6, 5 y 2 destacando la agricultura, y de manera inversa, se identifica el fitoplancton en los cuerpos de agua.



4. METODOLOGÍA

4.1 Características del monitoreo

El monitoreo se realizó según los requerimientos de la organización, los cuales fueron determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de agua superficial tomadas en tres (3) ciénagas, ubicadas en el departamento del Atlántico; seleccionados por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico.

Para las mediciones *in situ* se realizó la verificación de la calibración de los equipos utilizados, de lo cual se dejó registro en el formato de campo. Posteriormente se adelantó la medición de los parámetros de *conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y temperatura*, efectuando las lecturas en la mayor brevedad posible, con el fin de minimizar la oxigenación natural de la muestra.

La toma de muestra de agua superficial se realizó los días 26, 27 y 28 de diciembre de 2020. Para la toma de las coordenadas se dejó registro en el formato de campo. Previo a la toma de muestras se prepararon los reactivos y materiales necesarios para la preservación, envasado y la refrigeración de las muestras, según lo indicado en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater Edición 23 (2017).

La toma de muestras del agua superficial se realizó compuesta para los parámetros *in situ* y puntual para los parámetros analizados por el laboratorio, siguiendo lo establecido en el procedimiento para muestreo de aguas (PO-PSM-45).



4.2 Ubicación de los puntos de monitoreo

En este numeral se presenta la ubicación y las características de los puntos de monitoreo de agua superficial, tomadas en las ciénagas del departamento del Atlántico, seleccionadas por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico.

Los puntos de monitoreo se localizaron según el sistema Magna Sirgas origen WGS84, Bogotá y Nacional, las coordenadas se relacionan en la **Tabla 4** y en las **Figura 2, Figura 3 y Figura 4** se puede observar la localización geográfica de los puntos de monitoreo.

Tabla 4. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.

Características del monitoreo						
Tipo de muestreo				Simple y compuesta		
Tipo de sistema				Lentico		
Fecha: 26, 27 y 28 de diciembre de 2020				Georreferenciación		
Puntos de monitoreo	ID	Hora (hh:mm)	Cota de elevación (msnm)	Sistema magna sirgas	Coordenadas geográficas	Coordenadas Origen
				Origen Bogotá	WGS84	Nacional
Punto 1. Ciénaga de Mallorquín	125527	16:00	0	1713353.424 N	11°02'42.91" N	2779181.418N
	122729			913592.075 E	74°52'05.71"W	4795984.014E
	122781					
Punto 2. Ciénaga de Mallorquín	125528	16:00	0	1714041.783 N	11°03'05.46"N	2779863.195N
	122730			915344.178 E	74°51'08.05"W	4797737.922E
	122782					
Punto 3. Ciénaga de Mallorquín	125529	16:00	0	1713240.467N	11°02'39.42"N	2779060.620N
	122731			915780.137E	74°50'53.62"W	4798170.823E
	122783					
Punto 4. Ciénaga de Mallorquín	125530	16:00	0	1712609.996N	11°02'18.80"N	2778434.787N
	122732			914560.306E	74°51'33.75"W	4796949.194E
	122784					
Punto 5. Ciénaga de Mallorquín	125531	16:00	0	1712297.694N	11°02'08.78"N	2778116.489N
	122733			916259.470E	74°50'37.75"W	4798646.572E
	122785					
Punto 6. Ciénaga de Mallorquín	125532	16:00	0	1713072.770N	11°02'34.09"N	2778887.470N
	122734			917311.772E	74°50'3.15"W	4799701.252E
	122786					
Punto 7. Ciénaga de Mallorquín	125533	16:00	0	1714674.900N	11°03'26.15"N	2780492.328N
	122735			916380.302E	74°50'33.97"W	4798775.925E
	122787					
	125534	16:00	0	1710118.828N	11°00'57.44"N	2775956.699N



Características del monitoreo						
Tipo de muestreo				Simple y compuesta		
Tipo de sistema				Lentico		
Fecha: 26, 27 y 28 de diciembre de 2020				Georreferenciación		
Puntos de monitoreo	ID	Hora (hh:mm)	Cota de elevación (msnm)	Sistema magna sirgas	Coordenadas geográficas	Coordenadas Origen
				Origen Bogotá	WGS84	Nacional
Punto 1. Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	122736					
	122788			911189.118E	74°53'24.58"W	4793570.329E
Punto 2. Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	125535	16:00	1	1709944.604N	11°00'51.75"N	2775783.371N
	122737			910958.219E	74°53'32.17"W	4793338.891E
	122789			1710185.364N	11°00'59.55"N	2776025.452N
Punto 3. Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	125536	16:00	0	910565.420E	74°53'45.13"W	4792947.104E
	122738			1710481.779N	11°01'09.22"N	2776320.787N
	122790			910836.726E	74°53'36.22"W	4793218.160E
Punto 4. Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	125537	16:00	0	1710214.399N	11°01'00.52"N	2776053.458N
	122739			910848.749E	74°53'35.80"W	4793230.432E
	122791			1710595.107N	11°01'12.99"N	2776430.718N
Punto 5. Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	125538	16:00	0	911767.831E	74°53'05.56"W	4794150.535E
	122740			1706454.711N	10°58'57.4"N	2772325.119N
	122792			902494.833E	74°58'10.6"W	4784866.055E
Punto 6. C Lago del cisne o Ciénaga El Rincón	125540	16:00	0	1706062.157N	10°58'44.55"N	2771935.502N
	122741			1706062.157E	74°58'36.30"W	4784083.415E
	122793			1705307.113N	10°58'19.82"N	2771186.558N
Punto 1. Ciénaga de Balboa	125541	16:00	0	900083.238E	74°59'29.91"W	4782451.188E
	122742					
	122794					
Punto 2. Ciénaga de Balboa	125542	16:00	0			
	122743					
	122795					
Punto 3. Ciénaga de Balboa	125542	16:00	0			
	122744					
	122796					

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.





Figura 2. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Ciénaga Mallorca

Fuente: Tomado y modificado de Google Earth, 2020.



Figura 3. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Ciénaga El Rincón

Fuente: Tomado y modificado de Google Earth, 2020.





Figura 4. Localización geográfica de los puntos de monitoreo _ Balboa.

Fuente: Tomado y modificado de Google Earth, 2020.

4.3 Proceso metodológico

Los métodos empleados siguen los lineamientos y técnicas recomendados en la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-U.S EPA en su Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories, y por la Asociación Americana de Trabajos del Agua- AWWA- en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater Edición 23 (2017), además de la norma técnica Colombiana NTC-ISO 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorio de Ensayo y calibración (ICONTEC, 2005).



4.3.1. Etapa de preparación.

Esta etapa es fundamental para el adecuado funcionamiento de los demás procesos, pues es aquí donde se lleva a cabo toda la planeación y programación para que la fase de campo se desarrolle sin ningún inconveniente. En la **Figura 5** se muestran los pasos que se siguieron, con la finalidad de determinar los puntos de monitoreo y las pruebas realizadas en ellos.

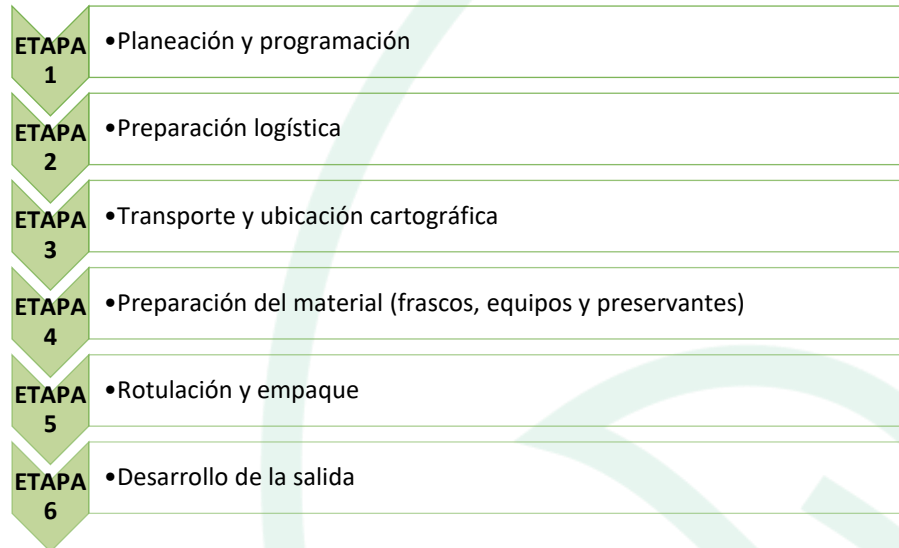
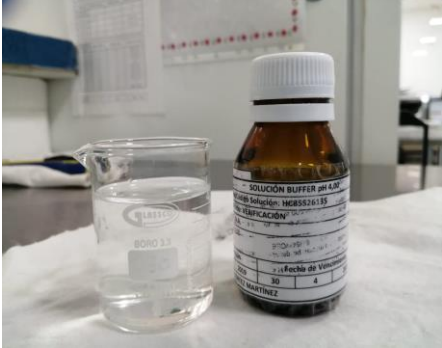
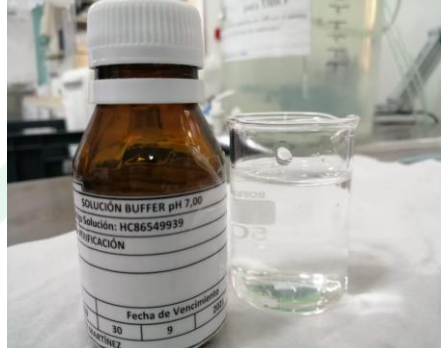
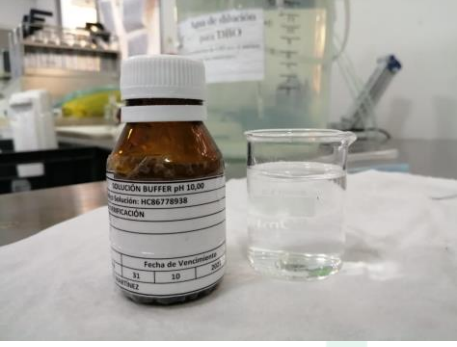





Figura 5. Actividades de la etapa de preparación.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



Tabla 5. Registro fotográfico de soluciones Buffer empleadas y etiqueta de envases.

 <p>Fotografía 1. Solución Buffer con pH de 4.00</p>	 <p>Fotografía 2. Solución Buffer con pH de 7.00</p>														
 <p>Fotografía 3. Solución Buffer con pH de 10.00</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="880 653 1036 724">  </td> <td data-bbox="1036 653 1318 724"> ORDEN DE TRABAJO: </td> </tr> <tr> <td data-bbox="880 724 1036 777"> ID MUESTRA </td> <td data-bbox="1036 724 1318 777"> NOMBRE DEL PUNTO: </td> </tr> <tr> <td data-bbox="880 777 1036 829"> </td> <td data-bbox="1036 777 1318 829"> TIPO DE MUESTRA: </td> </tr> <tr> <td data-bbox="880 829 1036 882"> HORA: </td> <td data-bbox="1036 829 1318 882"> TIPO DE MUESTREO: </td> </tr> <tr> <td data-bbox="880 882 1036 934"> FECHA: 15/05/2018 </td> <td data-bbox="1036 882 1318 934"> TIPO DE ANALISIS: </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="880 934 1318 966"> PRESERVA: </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="880 966 1318 997"> RESPONSABLE: </td> </tr> </table> <p>Fotografía 4. Etiqueta para rotular muestras.</p>		ORDEN DE TRABAJO:	ID MUESTRA	NOMBRE DEL PUNTO:		TIPO DE MUESTRA:	HORA:	TIPO DE MUESTREO:	FECHA: 15/05/2018	TIPO DE ANALISIS:	PRESERVA:		RESPONSABLE:	
	ORDEN DE TRABAJO:														
ID MUESTRA	NOMBRE DEL PUNTO:														
	TIPO DE MUESTRA:														
HORA:	TIPO DE MUESTREO:														
FECHA: 15/05/2018	TIPO DE ANALISIS:														
PRESERVA:															
RESPONSABLE:															

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

4.3.2. Etapa de campo.

Para la toma de muestras en campo se implementó la metodología descrita en la **Tabla 6** y lo establecido en los procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S, PO-PSM-01 Planeación y ejecución del servicio y PO-PSM-45 Muestreo de aguas. El tipo de muestra fue compuesto y simple, el muestreo fue tipo “manual”; utilizando recipientes de vidrio ámbar o plástico-opaco, los cuales fueron preservados (acidificación y/o refrigeración) teniendo en cuenta el análisis a realizar, esto se detalla en la **Tabla 7**. En la **Tabla 10**, se presentan los equipos empleados para la medición de dichos parámetros, así como el método analítico empleado, límites de cuantificación e incertidumbre de estos.



Tabla 6. Metodología de toma de muestras

Acción	Detalle
Verificar el plan de muestreo	Todos los muestreos realizados por el personal deben obedecer a un plan de muestreo, previamente elaborado y aprobado por el Ingeniero de Campo. El plan debe cumplir con los requerimientos del cliente y las condiciones del muestreo la información de interés debe ser relacionada en el formato de parámetros "In-situ".
Verificación de los implementos requeridos	Verificar que se dispone de todos los equipos, recipientes, materiales, reactivos y suministros necesarios para el muestreo, de acuerdo con el tipo de muestreo a realizar, los parámetros a medir en campo y el tipo de muestras a obtener. Dichos implementos deben haber sido preparados con la debida anterioridad en el laboratorio.
Rotulación de envases	De acuerdo al plan de muestreo los recipientes antes de realizar el muestreo deben estar apropiadamente rotulados de acuerdo al análisis a realizar. El rótulo contiene los siguientes datos: Número de muestra, sitio de muestreo, análisis a realizar y preservación. Este rótulo se fija con cinta transparente ancha que lo cubre en su totalidad.
Reconocer el sitio de muestreo y el sistema de agua	Realizar un reconocimiento de todo el sistema de agua a muestrear, para tener información del proceso y dar una ubicación acertada al sitio de muestreo, de ser posible contar con las coordenadas del punto.
Ubicar y limpiar el punto de muestreo	Una vez ubicado el punto de muestreo se debe realizar una limpieza de sus alrededores para garantizar la seguridad de las operaciones y evitar la contaminación de las muestras. Según sea el caso, se deben retirar objetos, maleza, residuos y/o sustancias que obstaculicen o afecten la representatividad del sistema de agua y permita de manera segura que la persona ejecute el muestreo.
Registrar la información del punto de muestreo	Después de obtener las muestras, se debe registrar en el formato de determinaciones <i>in situ</i> la información del cliente, lugar y fecha, equipos de medición, características del sitio de muestreo y sus alrededores y las observaciones a que haya lugar, incluyendo condiciones climáticas, temperatura ambiente, condiciones de monitoreo, tipo de sistema, etc.
Calibrar y/o verificar la calibración de equipos de medición	Después de registrar la información básica se debe calibrar y/o verificar la calibración de los equipos de medición de parámetros <i>in situ</i> requeridos (Equipo multiparámetro AZ Instruments Corp.) con las soluciones patrón necesarias, que deben llevarse a la temperatura ambiente antes de ser utilizadas. Cuando los equipos han sido calibrados previamente en el Laboratorio o al inicio de la jornada, se debe solamente verificar su calibración.



Acción	Detalle
Toma de Muestras análisis Microbiológico	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ubicar el recipiente estéril con la etiqueta de análisis microbiológico y colocar en el rótulo del recipiente la identificación del punto de toma de muestra. ○ Sólo debe abrirse en el momento de la toma de muestra y no tocar la boca ni el interior de la tapa del recipiente para evitar contaminación. ○ Llenar el recipiente con la muestra dejando en la parte superior del envase un espacio de aire de por lo menos 3 cm de altura. ○ Tapar herméticamente el recipiente.
Toma de muestra agua	<ul style="list-style-type: none"> ○ Colocar en el rótulo del recipiente la identificación del punto de toma de muestra ○ Sumergir el recipiente en el agua a muestrear sin ocasionar turbulencia. ○ Cuando se presentan cambios en el flujo de agua: ○ Llenar un balde con muestra ○ Llenar el recipiente con muestra hasta que quede un espacio de aire de 1 a 2 cm (flujo de agua constante y homogéneo) ○ Preservar la muestra tal como lo indica el rótulo del recipiente.
Medición de parámetros <i>in situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tan pronto se toma cada muestra se deben medir los parámetros <i>in situ</i> establecidos en el plan de muestreo. ○ Las mediciones deben efectuarse lo más rápido posible (no más de 10 minutos) después de tomada la muestra siguiendo los procedimientos de análisis respectivos. ○ Registrar los resultados en el formato determinaciones de campo.
Diligenciar el formato de cadena de custodia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Una vez embaladas las muestras se diligencia la información solicitada en el formato de cadena de custodia.
Transportar las muestras al Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Almacenar las muestras en una nevera de polietileno. ○ Verificar que cada nevera contenga suficientes compresas de hielo para asegurar que la refrigeración se mantenga hasta la llegada al laboratorio. (temperatura cercana a 5°C) ○ Verificar que la tapa de cada nevera quede bien cerrada y que no se salga de su sitio durante el viaje. ○ Identificar cada nevera con el logo del laboratorio y el logo de la empresa del cliente o el nombre (rótulo sale del laboratorio). E identificar con "...manipúlese con cuidado. Este lado arriba..." ○ Amarra con cinta de manera que se asegure que la nevera queda bien sellada



Acción	Detalle
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Manipular las neveras cuidadosamente, mantenerlas en posición horizontal, no golpearlas, no ubicarlas cerca de productos volátiles o corrosivos y mantenerlas alejadas de fuentes de calor. ○ El procedimiento de transporte se detalla en la Figura 6.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

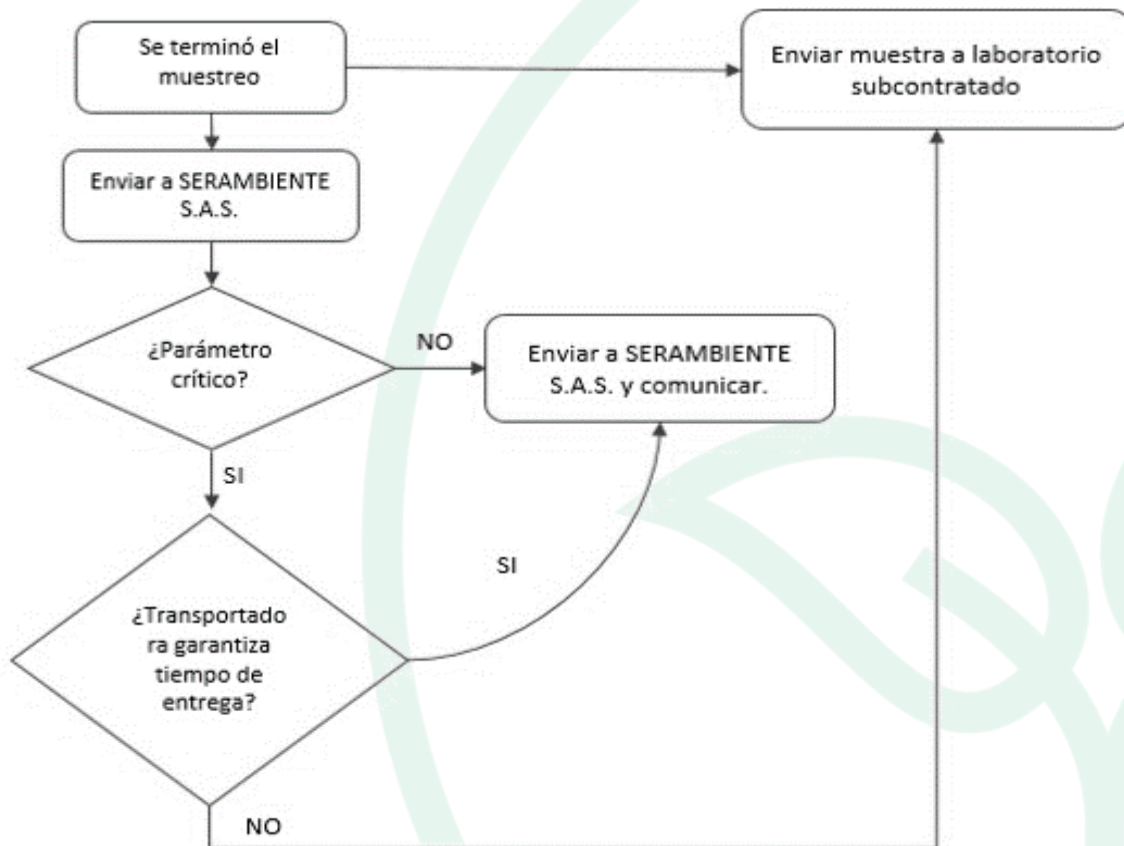


Figura 6. Flujograma del proceso de remisión de muestras.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

Debe planificarse el procedimiento descrito anteriormente para asegurar su entrega oportuna al laboratorio; por ello también es necesario que las muestras se reciban oportunamente, por lo que el ingeniero de campo responsable del muestreo debe enviar la cadena de custodia para que el laboratorio asigne los códigos de identificación (ID). Las muestras son enviadas por vía aérea, para



así poder asegurar que la muestra esté en el laboratorio cumpliendo con las condiciones de preservación y tiempo de almacenamiento antes del análisis.

Tabla 7. Tipo de envase y preservación.

Parámetros	Preservación	Recipiente	Tiempo Máximo
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Refrigeración < 6 °C.	Plástico, PTFE o Vidrio de orosilicato	48 horas
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Refrigeración a T < 6 °C, H ₂ SO ₄ hasta pH < 2		28 días
Sólidos Suspendidos Totales	Refrigerar 1°C y 5°C	Plástico – Vidrio	24 horas
Detergentes (SAAM)	Refrigeración ≤ 6°C	Plástico, PTFE o Vidrio de Borosilicato	2 días
Ortofosfatos	Enfriar ≤ 6°C	Vidrio	48 horas
Grasas y aceites	Acidificar a pH ≤ 2 con HCl o H ₂ SO ₄ . Refrigerar a ≤ 6 °C.	Vidrio boca ancha	28 días
Hidrocarburos totales	Acidificar a pH ≤ 2 con HCl o H ₂ SO ₄ . Refrigerar a ≤ 6	Vidrio lavado con solvente usado en la extracción.	28 días
Nitratos	Refrigeración < 6 °C.	Envase de vidrio	2 días
Salinidad	No requerida	Vidrio con sello de cera.	6 meses
Nitrógeno amoniacal	Acidificar a pH ≤ 2 con H ₂ SO ₄ .	Plástico – Vidrio	28 días
Metales			
Arsénico total	Adicionar HNO ₃ hasta pH < 2 y refrigeración a T < 6°C	Plástico o vidrio lavado con solución de ácido nítrico	6 meses
Cadmio total			
Cobre total			
Mercurio total			
Plomo total			
Microbiológicos			
Pseudomonas aeruginosa	Debe tener espacio de aire, refrigerar a ≤ 8 °C. Si son muestras de agua potable se debe agregar Tiosulfato de Sodio	Vidrio estéril o bolsa nasco whirl pak	24 horas
Coliformes termotolerantes	Mantener en la oscuridad y Refrigerar por debajo de 8°C	Vidrio	24 horas
Coliformes totales		Vidrio	24 horas

Fuente: American Standard Methods Ed. 23, 2017.



Tabla 8. Equipos y métodos analíticos para la medición de los parámetros In-situ.

Parámetro	Equipo utilizado	Método analítico	Límite de cuantificación del método	Incertidumbre como factor del método
pH	Equipo multiparámetro AZ Instruments Corp.	SM 4500 H+B	NA	±0.046
Oxígeno disuelto		ASTM D 888-18. B	NA	±0.014
Temperatura		SM 2550 B	NA	NA
Conductividad		SM 2510 B	NA	±5.047

NA: No aplica.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La recolección y preservación de las muestras de las comunidades hidrobiológicas monitoreadas se realizó de acuerdo a las metodologías consignadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017). En la **Tabla 9** se enlistan los métodos seguidos para la toma de cada uno de los parámetros estudiados.

Tabla 9. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra.

Parámetro Hidrobiológico	Método Muestreo
Fitoplancton	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10200 B. 23th Edition 2017
Zooplancton	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10200 B. 23th Edition 2017
Macroinvertebrados bentónicos	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10500 B. 23th Edition 2017
Perifiton	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10300 B. 23th Edition 2017
Ictiofauna	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10600 B y C. 23th Edition 2017
Macrófitas	APHA-AWWA-WEF. SM. Method 10400 C y D. 23th Edition 2017

FUENTE: SERAMBIENTE S.A.S. 2021.

La fase de campo inició con la preparación del plan de monitoreo (FO-PO-PSM-33-02) (**Anexo 1**), donde se tiene en cuenta los requerimientos de la orden de trabajo. Se realizó la verificación de equipos y materiales requeridos para el muestreo.

Ya en campo se procedió en cada uno de los puntos de monitoreo a registrar las condiciones ambientales del sistema (variables ambientales y aspectos físicos cualitativos) y de su área de influencia directa, posteriormente se realizó el muestreo para cada uno de los parámetros hidrobiológicos a evaluar.



La toma de muestras en campo se hizo conforme a lo establecido en los siguientes procedimientos e instructivos internos de SERAMBIENTE S.A.S., avalados por el IDEAM.

- PO-PSM-35 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de Fitoplancton y Zooplancton.
- PO-PSM-36 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de Perifiton
- PO-PSM-37 Procedimiento de captura y procesamiento de muestras de macro-invertebrados bentónicos.
- PO-PSM-38 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de Peces.
- PO-PSM-38 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de Macrófitas.

A continuación, se describe brevemente los procedimientos y procesamientos llevados a cabo en campo, en la toma de muestra y preservación de cada uno de los componentes hidrobiológicos evaluados.

4.3.2.1 Plancton

○ Fitoplancton

Debido a que se pretende tener información cualitativa y cuantitativa de la comunidad fitoplanctónica, se filtró en cada punto de monitoreo una muestra de agua de 40L; la toma se realizó a nivel sub-superficial (20 cm de la superficie), haciendo uso de balde aforado y una red, con ojo de malla de 23 μ m, para el filtrado.

Las muestras fueron fijadas *in situ* añadiendo 0.3mL de Lugol por cada 100mL y formalina tamponada agregando 2.5mL por cada 100mL de muestra, para una concentración final mínima del 2.5%. Las muestras fueron conservadas en un sitio oscuro y fresco hasta su posterior análisis.

○ Zooplancton

Para la toma de muestra de zooplancton teniendo en cuenta que los puntos de monitoreo se encuentran en sistema lótico, con ayuda de un balde aforado se tomó agua a nivel superficial y se



filtraron 40L de agua con una malla de 55µm. Posteriormente se lavaron desde su parte externa las paredes de la red con agua destilada utilizando un frasco lavador; de este modo se asegura que los organismos sean todos depositados en el vaso colector de la red.

El material filtrado fue depositado en recipientes de 150mL, estos fueron llenados por completo, para evitar el deterioro de la muestra por agitación y el desecamiento de organismo por la adhesión a las paredes del frasco.

Antes de la preservación de las muestras tomadas, estas fueron narcotizadas con 5mL de cloruro de magnesio por cada 100mL de muestra, durante 10 minutos, con el fin de evitar el estrés en los organismos, evitar la contracción de sus cuerpos y que su muerte sea poco traumática. Pasado este tiempo las muestras fueron fijadas con formalina tamponada al 5%, añadiendo 5mL por cada 100mL de muestra, para una concentración final de 5%. Las muestras al final fueron ubicadas en un sitio oscuro y fresco hasta su posterior análisis.

4.3.2.2 Perifiton

Para la toma de muestra de Perifiton se procedió a identificar sustratos naturales con posibles colonias de esta comunidad (rocas, ramas y partes de macrófitas). Una vez localizadas las colonias y utilizando cuadrantes de film plásticos de diferentes medidas (hasta lograr coleccionar un área de aproximadamente 100 cm²) y un cepillo de cerda suave se realizó la remoción, luego lavando con agua limpia en el recipiente donde se preserva la muestra se da por sentado la recolección de la muestra. En ocasiones en el frasco colector se depositan segmentos de macrófitas, que se encuentren sumergidos (unos centímetros más largos que el sector de interés).

Las muestras fueron preservadas con lugol (0,3mL de lugol por 100mL de la muestra) y formalina tamponada (2.5mL por cada 100mL de muestra). Adicionalmente estas son conservadas en un lugar fresco y oscuro, para evitar su exposición al ambiente donde podrían contaminarse o deteriorarse.



4.3.2.3 Macroinvertebrados bentónicos

La toma de muestra de macroinvertebrados bentónicos se utilizó una draga con área de 0.09-0.27m². Los organismos recolectados se separaron cuidadosamente con pinzas entomológicas de punta fina y fueron depositados en frascos plásticos previamente rotulados y se fijó con etanol al 70%.

4.3.2.4 Macrófitas

Las tomas de datos para el caso de las macrófitas se realizaron en campo y consistió en el análisis de transectos lineales de 2x2m al azar.

4.3.2.5 Ictiofauna

La caracterización de la ictiofauna, se realizó haciendo uso de atarraya, ya que este arte de pesca permite hacer un muestreo de la comunidad íctica en general, porque no es selectiva y es muy útil en sistemas lóticos de poca profundidad. El esfuerzo de pesca por punto de monitoreo fue de 10 lances.

En caso de haber captura, el procedimiento para toma y procesamiento de muestras de peces interno de SERAMBIENTE S.A.S, indica que los organismos deben ser identificados en campo, hasta la categoría taxonómica más baja posible, o su nombre común. De igual forma se tomaron fotografías y son reportadas al personal de laboratorio para corroborar la información.

4.3.3. Etapa de laboratorio.

Los métodos empleados para los análisis se describen en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras.

Parámetro	Método analítico	Límite de cuantificación	Incertidumbre como factor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SM-5210 B	2	0.1



Parámetro	Método analítico	Límite de cuantificación	Incertidumbre como factor
Demanda Química de Oxígeno (DQO Rango bajo)	SM-5220 D	10	0.09
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	SM-2540 D	5	0.015
Detergentes (SAAM)	SM-5540 C	0.4	0.18
Ortofosfatos	S.M 4500 P. E	0.05	0.0623
Grasas y aceites	SM 5520 B Extracción líquido - líquido	10	0.0958
Hidrocarburos totales	S.M 5520 B. F	10	0.0958
Nitratos	S.M 4500 NO ₃ D. Método de electrodo selectivo	1	0.0046
Salinidad	S.M 2520 B. Método de la conductividad electrónica	ND	0.0031
Nitrógeno amoniacal	SM 4500 NH ₃ B	1	NE
Metales			
Arsénico total	EPA 200.8	0.003	NE
Cadmio total		0.003	
Cobre total		0.003	
Mercurio total		0.0004	
Plomo total		0.003	
Microbiológicos			
Pseudomonas aeruginosa	SM 9213 F	1	NE
Coliformes termotolerantes	S.M Incubación tubos múltiples 9221 E	1.8	±0.40%
Coliformes totales	S.M Incubación tubos múltiples 9221 B	1.8	±0.38%
Comunidades Hidrobiológicas			
Fitoplancton	SM. Method 10200 F. 23th Edition 2017	NA	NA
Zooplancton	SM. Method 10200 G. 23th Edition 2017	NA	NA
Perifiton	SM. Method 10300 C. 23th Edition 2017	NA	NA
Macroinvertebrados Bentónicos	SM. Method 10500 C, D. 23th Edition 2017	NA	NA
Macrófitas	SM. Method 10600 D. 23th Edition 2017	NA	NA
Peces (Ictiofauna)	SM. Method 10400 C y D. 23th Edition 2017	NA	NA

ND: No determinado, NE: No especifica; NA: No aplica.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, SGS COLOMBIA S.A.S y LIMA S.A.S, 2020.

El análisis en laboratorio se realizó teniendo en cuenta los siguientes procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S:



- PO-PSM-33 Procedimientos de control de calidad para variables hidrobiológicas.
- PO-PSM-40 Procedimiento para determinación taxonómica y cuantificación de muestras de Fitoplancton y Zooplancton.
- PO-PSM-42 Procedimiento para determinación taxonómica y cuantificación de muestras de macroinvertebrados bentónicos.

4.3.3.1 Plancton

La identificación y conteo de fitoplancton y zooplancton se realizó mediante microscopía óptica sobre una cámara de SEDGEWICK–RAFTER. La muestra preservada y almacenada se homogenizó para separar las partículas que se encontraran generando cúmulos, luego con la ayuda de una pipeta pasteur se depositó aproximadamente 1mL en la cámara y se instaló en el microscopio invertido marca AmScope, para su conteo e identificación se usaron objetivos de 4X, 10X, 25X Y 40X. Se usó iconografías y descripciones especializadas para la determinación taxonómica. Los datos de conteo se registraron en el formato “planilla de registro de taxones, conteo y recuento de plancton”. Se tomaron fotografías de los organismos como evidencia del procedimiento.

La identificación taxonómica se realizó empleando iconografías y descripciones especializadas para su determinación taxonómica:

- **Fitoplancton**

Bourelly (1966, 1968, 1985); Prescott y colaboradores (1982); Strelbel y Krauter (1988); Huber-Pestalozzi (1961; 1983), Ramírez (2000); la clasificación taxonómica fue confirmada con ayuda de AlgaeBase.

- **Zooplancton**

Koste (1978), Gaviria (2000), Reid (1995), Elías (2008) la clasificación taxonómica fue confirmada con ayuda de Integrated Taxonomic Information System (ITIS).



4.3.3.2. Perifiton

La identificación y conteo de Perifiton se llevó a cabo mediante la utilización de la Cámara SEDGWICK-RAFTER. La muestra preservada y almacenada proveniente del raspado *in-situ* de algún sustrato en campo se homogeniza para separar partículas que se encuentren formando cúmulos, luego con la ayuda de una pipeta pasteur se depositó aproximadamente 1mL en la cámara y se instaló en el microscopio invertido marca AmScope, para su conteo e identificación se usaron objetivos de 4X, 10X, 25X Y 40X. Se usó iconografías y descripciones especializadas para la determinación taxonómica. Los datos de conteo se registraron en el formato “planilla de registro de taxones, conteo y recuento de plancton”. Se tomaron fotografías de los organismos como evidencia del procedimiento de análisis de las muestras.

Entre la bibliografía usada para la identificación de especies se encuentran Stevenson et al. 1996, Moura 1997, Hoagland et al. 1982, Moreno-Rodriguez, 2017, entre otros.

4.3.3.3. Macroinvertebrados bentónicos

Los organismos capturados y fijados se determinaron a nivel de familia, usando un estéreo-microscopio 50x Zoom. Para la determinación taxonómica se emplearon claves y descripciones taxonómicas especializadas: Roldán (1996); Angrisano et al., (2001), Salazar-Vallejo et al., (1988), Diaz y Puyana (1994).

4.3.3.5. Macrófitas

Se identificó la presencia o ausencia de plantas *in situ*, ayudados de claves e ilustraciones taxonómicas, para su identificación tales como Kahn et al., (1993), la guía identificación y caracterización de grupos biológicos del instituto Humboldt–Fundación Omacha (2015), Mateo Fernández y Santiago Madriñán, 2018. La verificación se realizó teniendo en cuenta la información que reposa en la página web del herbario de la universidad nacional.



4.3.3.6. Ictiofauna

La corroboración de la identificación de las especies observadas, registradas y capturadas *in situ* se realizó empleando diversas claves y guías para peces: Eigenmann (1922), Schultz (1944), Miles (1947), Dahl (1971), Géry (1977), Nelson (1984), Maldonado-Ocampo et al., 2005, Buitrago, 2007, Maldonado-Ocampo et al., 2008, Lasso et al., 2013, INCODER, 2007, LOZADA et al., 2008, entre otros.

4.4 Índice de calidad de ciénagas costeras ICACC

Con la información disponible, se realizó el cálculo del Índice de Calidad del Agua de Ciénagas Costeras (ICACC), desarrollado en 2017 para la CRA. Se calcularon los subíndices con base en las curvas y ecuaciones que se muestran en el anexo 4. Curvas de calidad y ecuaciones de los subíndices del ICACC. Las variables agrupadas en cada subíndice se distribuyeron de acuerdo con lo indicado en la siguiente **Tabla 11**.

Tabla 11. Agrupamiento de variables para conformar los Subíndices.

Subíndice o condición relacionada	Variable
Concentración de metales pesados y metaloides	As (mg/L)
	Cd (mg/L)
	Cu (mg/L)
	Pb (mg/L)
	Hg (mg/L)
Condiciones básicas del medio	OD (mg/L)
	pH (mg/L)
	SAL (UPS)
	SST (mg/L)
Condiciones del Sedimento	MO de Sedimentos (%)
	pH de Sedimentos
	Sulfuros en sedimentos (mg/kg)
	Macroinvertebrados (Hlog ₂)
Materia orgánica y Microbiológicas	ColTT (NMP/100 mL)
	DBO ₅
	Pseudomonas (NMP/100 mL)



Subíndice o condición relacionada	Variable
Contaminación residual	DET (mg/L)
	G y A (mg/L)
	HTP (mg/L)
Productividad	NH ₃ (mg/L)
	NO ₃ (mg/L)
	PO ₄ (mg/L)
	FITOPLANCTON (Ind/L)

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2018.

La agregación de las variables dentro de los subíndices y para el cálculo del IC_{Acc} se realizó mediante la media aritmética ponderada, de acuerdo con Brown et al (1972), por ser una de las formas más simples de agrupar las variables, sin los costos de sobrevalorar o subestimar el peso de las variables, cuya expresión es la siguiente:

$$IC_{Acc} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i SubI_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Los valores de ponderación de las variables son los que se registran en la **Tabla 12**. Para las variables que no fueron determinadas en esta campaña el peso de la ponderación fue distribuido equitativamente entre las variables restantes, mientras que aquellas que presentaron valores por debajo del límite de detección.

Tabla 12. Valores de ponderación de los subíndices o condición relacionada.

Subíndice o condición relacionada	Variable	Ciénaga			
		Mallorquín y Balboa		El Rincón	
Concentración de metales pesados y metaloides	As	0.15	0.1	0.15	0.1
	Cu	0.18		0.18	
	Hg	0.15		0.15	
	Pb	0.26		0.26	
	Cd	0.26		0.26	
Condiciones básicas del medio	OD	0.4	0.26	0.466	0.26
	pH	0.2		0.266	
	SST	0.2		0.266	
	SALINIDAD	0.2			



Subíndice o condición relacionada	Variable	Ciénaga			
		Mallorquín y Balboa		El Rincón	
Condiciones del Sedimento	MO SED	0.4	0.18	0.4	0.18
	pH SED	0.25		0.25	
	MACROINV D	0.35		0.35	
Materia orgánica y Microbiológicas	DBO5	0.35	0.16	0.35	0.16
	CoITT	0.2		0.2	
	PSEUDOMONAS	0.45		0.45	
Contaminación residual	DET	0.35	0.15	0.35	0.15
	G y A	0.35		0.35	
	HTP	0.3		0.3	
Productividad	NO ₃	0.25	0.15	0.25	0.15
	NH ₃	0.15		0.15	
	PO ₄	0.25		0.25	
	FITO A	0.35		0.35	

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2018.

La escala del índice se estructuró, teniendo en cuenta que la calidad óptima o excepcional se acerca al valor de cien (100), mientras que la peor condición, para la preservación de flora y fauna se acerca a 1, teniendo en cuenta los siguientes grados de calidad y colores (**Tabla 13**).

Tabla 13. Escala de calidad para determinar la condición ambiental de las ciénagas con el ICA_{cc}.

Grado de calidad	Escala	
	Valor	Color
MUY BUENA: Indica que las condiciones son excepcionalmente favorables para el ecosistema y la sobrevivencia de los organismos que lo habitan.	100	[Color Azul]
	80	
BUENA: indica que los niveles de contaminación son muy bajos y se cumple con las condiciones para la conservación de la fauna y la flora.	79	[Color Verde]
	60	
REGULAR: Indica que las condiciones son parcialmente favorables para la sobrevivencia de los organismos. Puede que algunas variables excedan los límites de calidad o se encuentren en el límite de efectos crónicos adversos.	59	[Color Amarillo]
	40	
MALA: indica que la contaminación es evidente, una parte significativa de las variables muestran valores por encima del límite de calidad o están cerca de concentraciones con efectos agudos para la biota acuática.	39	[Color Naranja]
	20	
MUY MALA: Indica que existen altos niveles de contaminación, con condiciones que limitan la sobrevivencia de los organismos acuáticos, afectando significativamente su abundancia y diversidad. Muchas variables o variables críticas estarían sobrepasando niveles adecuados para la preservación de la fauna y flora.	19	[Color Rojo]
	10	
	0	

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2018.



4.5 Sensores remotos

4.5.1 Recopilación de información.

La captura de las imágenes satélites para el análisis de la firma espectral de la calidad de agua fue descargada de la página web de *Science for a changing world* USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), y son las siguientes:

Tabla 14. Imágenes Landsat 8.

Nomenclatura	Fecha
LC08 L1TP 009052 20180220 20200902 02 T1	20/febrero/2018
LC08 L1TP 009052 20201226 20200310 02 T1	26/Diciembre/2020

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La fecha de captura de las imágenes descargadas no son precisas con los días de muestreo realizados en campo, no obstante, esto no difiere en el análisis espectral por la proximidad de las fechas, de igual manera, la imagen satelital para el día 26 de diciembre con nubosidad menor del 15% sobre los cuerpos de agua, es decir, solo genera error por nubosidad en la ciénaga de Mallorquín.

4.5.2. Organización de información.

La información geoespacial se organizó con software especializados como Arcgis y Qgis; el software QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos (Qgis, 2020). Geoprocesamientos de las imágenes.

ArcGIS es un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica-SIG. Producido y comercializado por ESRI, agrupando bajo el nombre genérico ArcGIS varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica (Arcgis, 2020).



4.5.3. Análisis de la información.

4.5.3.1. Análisis de comunidades hidrobiológicas

Los datos de Comunidades Hidrobiológicas se organizaron por especies en una matriz empleando el programa Microsoft Excel para Windows 2013 donde se registraron las densidades obtenidas teniendo en cuenta los puntos de monitoreo. A partir de estas se construyeron gráficos a fin de establecer el aporte a la densidad por parte de los diferentes grupos taxonómicos y su distribución en el área de estudio.

Posteriormente, se calcularon índices ecológicos que permitieron confluir un gran número de variables bióticas (especies-morfoespecies) y datos en un solo valor característico para una comunidad. Para esto se utilizó el programa estadístico Past versión 3.0, determinando la riqueza de Margalef (d), uniformidad de Pielou (J'), dominancia (D) y diversidad de Shannon (H' bits) detallados en la **Tabla 15**.

Por último, se realizó el índice de similitud de Bray-Curtis, el cual a través de un dendrograma muestra cuales son los puntos de monitoreo que tiene mayor semejanza, en cuanto a la composición (diversidad y abundancia) de las comunidades estudiadas, se tienen en cuenta las agrupaciones formadas con un valor superior a 0.50.

Tabla 15. Índices ecológicos

Índices	Concepto	Formula	Variabes	Rango
Equidad de Pielou (J')	Mide la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (<u>Moreno, 2001</u>), indica la uniformidad de las especies una muestra, donde los valores más cercanos a uno muestran mayor uniformidad.	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$	J': Índice de Pielou H': Índice de Shannon-Wiener.	0 – 1



Índices	Concepto	Formula	Variabes	Rango
Dominancia de Simpson (D)	Mide la probabilidad de que dos individuos de una muestra tomados al azar sean de la misma especie, está influenciado por las especies más dominantes (<u>Moreno, 2001</u>). Los valores más cercanos a uno indican la dominancia de una o dos especies.	$D_s = \frac{\sum N(n-1)}{N(N-1)}$	D: Índice de Simpson. n: Número de individuos de la especie i. N: Número total de individuos.	0 – 1
Índice de Shannon Wiener (Diversidad)	Tiene en cuenta la igualdad en el número de organismos por especie (abundancia), un sistema es más diverso cuanto mayor sea la igualdad en las abundancias. $X < 1.5$, Aguas muy contaminadas; $1.5 < X < 3$, Aguas ligeramente contaminadas. $3 < X$, Aguas muy limpias (<u>Moreno, 2001</u>).	$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$ $p_i = \frac{N_i}{N}$	H': Índice de Shannon-Wiener. Pi: Abundancia relativa de la especie i. Ni: Número de individuos de la especie i. N: Número total de especies.	0 – 5 Con algunas excepciones supera el valor máximo
Índice de Margalef (Dα)	Es una forma sencilla de medir la biodiversidad ya que proporciona datos de riqueza de especies. Mide el número de especies por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra (<u>Margalef, 1969</u>)	$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$	S = número de especies N = número total de individuos	D α < 2 = zonas de baja biodiversidad D α > 5 = Zonas alta biodiversidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S. 2021.

4.5.3.2 Procesamiento digital de imágenes.

La corrección atmosférica busca obtener la máxima correlación entre la señal registrada y las características de la superficie observada. De esta forma se busca corregir la dispersión que provoca un aumento de la radiación (atmosférica) regularmente ocasionada por niebla o nubes, causantes de los fenómenos de dispersión o absorción de la energía electromagnética (Chuvienco, 2010).

El método está basado en el hecho de que áreas en una imagen con valores muy bajos de reflectancia (agua, zonas de sombra) deben presentar una radiancia espectral muy próxima a cero,



cualquier reflectancia aparente en estas áreas es producto de la dispersión atmosférica y esta información puede ser usada para calibrar el resto de la imagen, restando los NDs mínimos a todos los NDs de cada banda. Los píxeles más oscuros pueden ser seleccionados examinando el histograma de los ND de una imagen o estableciendo un umbral (Calera, 2003).

Pansharpening de landsat 8 permite mejorar la resolución de las imágenes recurriendo a la banda pancromática de mayor resolución.

La combinación de bandas o imagen de color compuesta es una técnica cualitativa que permite visualizar con un colores específicos a partir de integración de tres bandas a través del renderizador multibandas que nos ofrece los software especializados, asimismo, con la combinación de bandas 6, 5, 2 en Landsat podemos realizar análisis para la detección de zonas de uso agrícola y de manera inversa en los cuerpos de agua el fitoplancton que se representa dentro de la gama de colores violeta brillantes.

4.5.3.2. Determinación de firmas espectrales.

El análisis de huellas espectrales depende de las propiedades ópticas de los materiales y composición de los cuerpos de agua, que también están en función de diversos factores como las condiciones de radiación, la especie vegetal adyacentes, las propiedades físico-químicas y forma de los cuerpos de agua.

El comportamiento espectral del agua se identifica alta reflectividad en la zona del visible se sitúa alrededor del 5%, una parte se absorbe y la mayor parte se transmite (en agua limpia y clara) y menor en la región del infrarrojo cercano y medio, evidenciando un aumento en la absorción. En el infrarrojo el agua absorbe fuertemente la radiación, muy poca se transmite. Los factores que determinan el comportamiento espectral del agua son: la profundidad, los materiales en suspensión, y la rugosidad de la superficie. En relación con los materiales en suspensión, si estos tienen clorofila se traducirá en una respuesta en el espectro visible parecida a la de la vegetación. En relación con la rugosidad, si la superficie es lisa, se incrementan los efectos especulares, por lo



que la reflectividad puede cambiar fuertemente en función de la posición relativa del sol y del sensor Chuvieco (2010).

Tabla 16. Determinación de firmas espectrales de diferentes variables.

Variable	Banda (Landsat)	Firma espectral	Referencias
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Banda 2	(0. 1391 μ -0. 5625 μ)	Yunpeng (2004)
Turbidez	Banda 4	(0. 1439 μ -0. 5915 μ)	Hernandez y Hernandez (2013)
Oxígeno Disuelto	Banda 5	(0. 0156 μ -0. 5023 μ)	Aiman (2014)
Potencial de Hidrógeno	Banda 6	(0. 0096 μ -0. 4436 μ)	Hernandez y Hernandez (2013)
Fitoplancton	B5 – B6 – B2	(0. 2057 μ -0. 3382 μ)	Aiman(2014)

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

4.5.3.3. Interpolación.

Para el análisis y distribución del indicador de calidad de agua se realizó a partir del método de interpolación, que consistió en un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de puntos dispersados con valores Z, es decir, presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie.

4.5.3.4. Algebra de mapas.

Es un geoproceto que se desarrollan sobre varias capas para obtener información derivada y se realiza comúnmente con formatos ráster, el cual es utilizado habitualmente para combinar diferentes capas o variables territoriales para obtener mapas alternativos de información vinculada a una aptitud o aspectos concretos del territorio.



4.5.3.5. Modelo estadístico.

Después de identificar y seleccionar las firmas espectrales para las variables de análisis de calidad de agua, basados en la información secundaria y en el análisis de las imágenes, se procedió a la verificación de la correspondencia estadística, empleando los datos de reflectancia y los datos de resultados de laboratorio de las variables para el año 2018 y 2020. Con estos datos se hicieron comparaciones mediante la prueba de correlación de Pearson, usando la versión de prueba del programa Stat Graphics Centurion 18, con el que se lograron establecer cuales variables presentaban evidencia estadística a un nivel de confianza del 95% para el uso de la firma espectral seleccionada para la variable. Para las variables seleccionadas se estimaron los modelos y se validaron mediante análisis de regresión.



5. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA

○ Decreto 1076 de 2015 y 703 de 2018

Artículo 2.2.3.3.9.10 Transitorio. Criterios de calidad de preservación de flora y fauna.

Parágrafo. Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.

Tabla 17. Artículo 2.2.3.3.9.10 – Decreto 1076/2015 y artículo 18 Decreto 703 de 2018.

Parámetro	Expresado como	Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuarina
CloroFenoles es	CloroFenoles	0.5 CL	0.5 CL	0.5 CL
Difenil	Concentración de	0.0001 CL	0.0001 CL	0.0001 CL
Oxígeno disuelto	-	5	4	4
pH	Unidades de pH	6.5 - 9.0	4.5 - 9.0	6.5 - 8.5
Sulfuro de hidrogeno ionizado	H ₂ S	0.0002 CL	0.0002 CL	0.0002 CL
Amoniaco Total	NH ₃	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Arsénico Total	As	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Bario Total	Ba	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Berilio Total	Be	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cadmio Total	Cd	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Cianuro libre	CN ⁻	0.05 CL	0.05 CL	0.05 CL
Cinc	Zn	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Cloro total residual	Cl ₂	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cobre Total	Cu	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Fenoles es monohídricos	Fenoles es	1 CL	1 CL	1 CL
Grasas y aceites	Grasas como	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Hierro Total	Fe	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Magnesio Total	Mn	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Mercurio	Hg	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Níquel Total	Ni	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Plaguicidas Organoclorados	Concentración de	0.001 CL	0.001 CL	0.001 CL
Plaguicidas organofosforados	Concentración de	0.05 CL	0.05 CL	0.05 CL
Plata Total	Ag	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Plomo Total	Pb	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Selenio Total	Se	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL



Parámetro	Expresado como	Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuarina
Tensoactivos	Sustancias activas al	0. 143 CL	0. 143 CL	0. 143 CL

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015.

Se resalta que los parámetros enlistados en el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.10 preservación de flora y fauna que están expresados en unidades de concentración letal (CL), no son comparables con las unidades reportadas por nuestro laboratorio.

○ **Resolución 000258 del 3 de abril de 2011 de la CRA**

Se tuvo en cuenta los objetivos de calidad establecidos para los cuerpos de agua de la cuenca Litoral, cuyo uso predominante es la preservación de flora y fauna, con los siguientes valores de referencia para los parámetros establecidos en el artículo 3 de dicha Resolución:

Tabla 18. Límites de control para variables fisicoquímicas en la Resolución 000258 de 2011 de la CRA.

Variable	Unidades	Límite de control
DBO ₅	mg/L	<7
OD	mg/L	>3
Grasas y Aceites	mg/L	<10
Coliformes totales	NMP/100 mL	<5000
Coliformes fecales	NMP/100 mL	<2000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	<30
Nitritos N-NO ₂	mg/L	<1
Nitratos N-NO ₃	mg/L	<10
Nitrógeno amoniacal N-NH ₃	mg/L	<0.5
Fosforo orgánico P-PO ₄	mg/L	≤0.1
pH	UpH	7-9
Temperatura	°C	<40

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2011.



6. RESULTADOS

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas, se remite a la presentación de los resultados (Anexo 5. Resultados de los análisis de laboratorio).

6.1 Ciénaga de Mallorquín

La ciénaga de mallorquín es una laguna costera con una extensión aproximada de 695 hectáreas, ubicada en el extremo norte de la ciudad de Barranquilla, sobre la margen izquierda del río Magdalena cerca de su desembocadura. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con la extensión de la vía 40 entre el Barrio Las Flores y La Playa, al oriente con el tajamar occidental del canal navegable del río Magdalena y al occidente con la desembocadura del arroyo León.

Se encuentra rodeada de llanuras de inundación, arenales, dunas y bosques de manglar. Se encuentra influenciada por la apertura y cierre de la barra de arena que conecta la laguna con el Mar Caribe, la desembocadura del arroyo León, el sistema de escorrentías de la cuenca y la conexión con el río Magdalena a través de un sistema de *box coulverts* (CAF, 2020).

Es un sistema de gran importancia ecológica para el distrito de Barranquilla y la región; que hace parte del sitio Ramsar, Ciénaga Grande de Santa Marta - Complejo Delta Estuarino del Río Magdalena, donde tiene soporte una alta diversidad biológica, con representación de ecosistemas estratégicos como los manglares, que ofrece soporte para la reproducción y desarrollo de muchas especies hidrobiológicas implicadas en la transformación de la materia orgánica y el flujo de energía entre el ecosistema marino y el continental, donde además se destacan muchos servicios ecosistémicos relacionados con el paisaje, la regulación hídrica y se soportan actividades de pesca para la comercialización de productos y subsistencia de una parte importante de la población asentada en sus alrededores.



No obstante, esta laguna costera ha sido alterada debido a diversos factores que han afectado su morfología, extensión, calidad del agua, capacidad de autodepuración, hidrodinámica y biodiversidad, iniciando con la construcción del tajamar occidental del canal navegable del río Magdalena en 1935, lo que alteró la dinámica sedimentaria del sector, con cambios importantes en su conectividad; una prolongada e inadecuada disposición de residuos sólidos a manera de botadero abierto con la consiguiente contaminación en especial de sus lixiviados desde el barrio Las Flores con contenido significativo de metales pesados; la falta de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales provenientes del suroccidente de Barranquilla a través del Arroyo León, los vertimientos dispersos asociados a los asentamientos alrededor de la laguna, en particular el barrio La Playa, que aportan grandes cantidades de material orgánico y bacterias fecales; la carga de sedimentos y contaminantes que llegan desde el río Magdalena a través de los *box couverts*; y por ultimo pero no menos importante, el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales (Lima *et al*, 2008).

6.1.1 Caracterización

6.1.1.1 Variables Físicoquímicas.

La ciénaga de Mallorquín se caracterizó por presentar un pH con variaciones entre 7.15 a 8.71 UpH (**Figura 7**). El rango de pH para aguas naturales oscila entre 4 y 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos (Invemar, 2003). Los valores registrados cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 para la preservación de flora y fauna (límite de control de 7.0 a 9.0 UpH) y con el criterio de calidad para preservación de flora y fauna de aguas marinas y estuarinas (6.5 a 8.5 UpH) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República, se evidencia desviación en algunas de las horas de muestreo, pero al ser un muestreo compuestos, se resalta su cumplimiento durante las horas de la toma de muestra, así como también durante todo el día 27 de diciembre de 2020. Los valores de pH registrados en este estudio son ligeramente más bajos que los presentados en monitoreos anteriores. Las Lagunas costeras, son por lo general ambientes que regulan sus



variables, a menos que existan actividades antropogénicas. En el caso del pH, esta variación puede deberse a la degradación de la materia orgánica o la remoción del sedimento por efectos de las corrientes, las cuales causan remineralización de la columna de agua (López Ortega et al, 2012).

En las lagunas costeras, la salinidad es el primer indicador de las entradas de agua dulce y de los patrones de circulación y/o mezcla. Los valores fluctuantes de salinidad denotan la influencia de la precipitación en la región y fuera de ella, así como de la marea en el intercambio de agua con el Mar Caribe (INVEMAR, 2001). En el caso de la ciénaga de mallorquín, los registros evidencian la entrada de agua marina a través de dos bocas formadas en la barra, cercanas a los puntos de monitoreo P2 y P3, donde se registraron las mayores concentraciones. 0.05% y 0.04% respectivamente. Así mismo, se observan menores concentraciones sobre los puntos cercanos a las entradas de agua, como es el caso de P1 (entrada del arroyo León) con 0.05% y P4 con 0.04%, y puntos alejados de la boca de la barra y con influencia de la entrada de agua del río Magdalena como P6 con 0.03%, conservándose el mismo patrón.

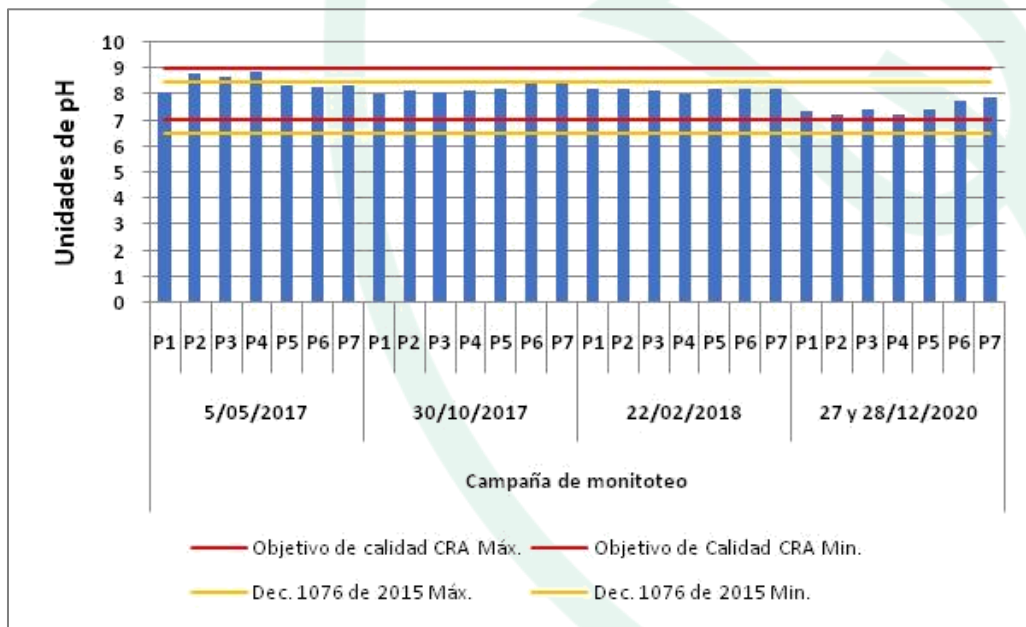


Figura 7. Variación del pH en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



El oxígeno disuelto (OD) presentó pocas variaciones entre sectores de la ciénaga, con valores entre 3.98 y 6.01 mg/L. Estos resultados cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (>3 mg/L), en cuanto al criterio establecido de calidad para aguas marinas y estuarinas (4 mg/L) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República se presenta una desviación para la Ciénaga Mallorquín P4 a las 16 horas del 28 de diciembre de 2020, pero al ser un muestreo compuestos, se resalta su cumplimiento durante las demás horas de la toma de muestra (**Figura 8 A**). Valores entre 4 y 5 mg/L pueden considerarse como el mínimo requerido para sostener una alta riqueza.

La DBO₅ registró valores variables entre los puntos de monitoreo. Los menores valores se presentaron en P2, P3 y P6 con valores por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica empleada por el laboratorio, siendo esta de 2.0 mg/L en cada uno y el mayor en P1 con valor de 11.8 mg/L y 6.6 mg/L (**Figura 8 B**). Únicamente el registrado en P1 incumple el límite de control (<7 mg/L) estipulado como objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 de la Resolución 258 de 2011 de la CRA. Al igual que la DBO₅, la DQO presentó sus menores valores en P2, P3 y P6 y el mayor en P1 con un promedio de 37 mg/L (**Figura 8 c**).

Los registros de DBO₅ y DQO evidencian contaminación por materia orgánica sobre P1, P5 y P7. Provenientes en P1 y P7, de las entradas de agua del arroyo León y el río Magdalena, y de la producción primaria de microalgas y macrófitas en P1.

En relación a monitoreos anteriores, se observa que los sectores con mayor influencia del arroyo León, P1 y P4, han mostrado un mayor consumo del oxígeno disponible, evidenciado en los bajos valores de OD y alta DBO₅.

Por otro lado, solo por realizar una aproximación al estado de calidad de estas variables, utilizando el criterio de evaluación de las aguas continentales de CONAGUA- SEMARNAT (2014) en México, se podría decir que las aguas de la ciénaga de mallorquín, en cuanto a la DBO₅, presentan buena calidad



de P2 a P7 y una calidad aceptable en P1 (>6 y ≤ 30 mg/L) y tienen buena calidad con respecto a la DQO en P2, P3, P4 y P6 (>10 y ≤ 20 mg/L) y calidad aceptable en P1, P5 y P7 (>20 y ≤ 40 mg/L).

Para los SST, los valores promediados entre los dos días de monitoreo registrados estuvieron entre 49.8 y 245.3 mg/L, superando el valor propuesto como objetivo de calidad para la cuenca por la CRA (<30 mg/L) en todos los puntos de muestreo (**Figura 8 D**). Esta es una laguna costera de poca profundidad, amplia influencia marina y de escorrentías locales, sumado a los vientos, causan turbulencias que remueven los sedimentos del fondo, ocasionando que las estimaciones de esta variable aumenten, por esto, en los diferentes monitoreos realizados se aprecian valores superiores al límite de control estipulado por la CRA. Los valores obtenidos para este monitoreo, exceptuado los registrados en P5 y P7, según la escala de CONAGUA- SEMARNAT (2014) se encuentran dentro de los señalados para aguas contaminadas (>150 y ≤ 400 mg/L).

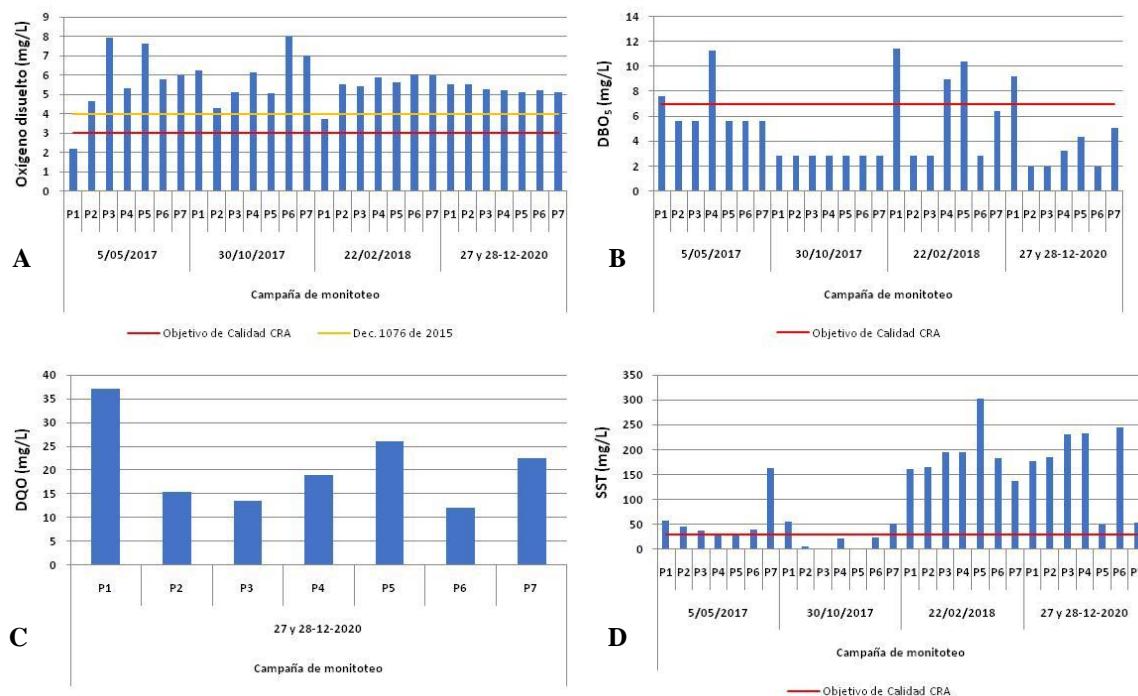


Figura 8. Variación del oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



Las grasas y aceites (GyA) registraron concentraciones <10 mg/L en todos los puntos de monitoreo, es decir, los valores cumplen con el objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 establecido por la CRA mediante la Resolución 258 de 2011, para las cuencas y tramos ordenados en Clase I, cuyo potencial uso es la preservación de flora y fauna (<10 mg/L). En cuanto al criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República, cuya concentración letal fue estimada en 0.1 mg/L (0.1 LC 50-96) (**Figura 9 B**), no es posible realizar una comparación, debido a que los resultados obtenidos fueron tomados por otro método, reportando concentraciones inferiores a <10 mg/L. En monitoreos anteriores, a excepción de los registros de P1 y P2 en 2018, los valores sobrepasan los criterios antes señalados.

La presencia de GyA en el agua no solo provoca problemas en el tratamiento de estas, sino que también da lugar a contaminación del suelo y los cuerpos de agua donde son descargadas, de ellas, las que son altamente estables e inmiscibles con el agua, proceden en su mayoría de desperdicios alimenticios, a excepción de aceites minerales que proceden de otras actividades. Al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas que entorpecen cualquier tipo de tratamiento, biológico o fisicoquímico (Kemmer y McCallion, 1999). Al igual que las GyA, los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) registraron concentraciones por debajo del límite de detección del método (<10 mg/L) (**Figura 9 B**).

Aunque en Colombia no se han establecido límites de referencia para esta variable, y los resultados obtenidos para este monitoreo no permiten hacer análisis comparativos. Solo por tener una referencia de esta variable en la ciénaga a través de los años, se comparan los resultados con la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense para aguas marinas (En: Quintero et al, 2010), y los valores de concentración de hidrocarburos por clase de calidad de la Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, de la extinta Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA, 2004). Los valores obtenidos en la ciénaga de Mallorquín, en las 3 campañas de monitoreo



realizadas entre 2017 y 2018 estuvieron entre 0.1 y 0.52 mg/L, es decir, sobrepasan el límite de 0.110 mg/L para protección acuática de la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense, y se encuentran dentro del rango máximo de calidad de la guía chilena (0.05-1.0 mg/L) que son las aguas de Clase 3 (Regular calidad), consideradas aptas para actividades portuarias, navegación u otros usos de menor requerimiento en calidad de agua, es decir, en años anteriores se ha evidenciado contaminación por HTP.

Dicha contaminación afecta las condiciones fisicoquímicas de agua al presentarse una disminución de oxígeno disuelto debido a la reducción de la transferencia de oxígeno entre la fase atmósfera – agua, al igual que la entrada de luz al medio, lo que inhibe el crecimiento de ciertas especies y disminuye la fijación de nutrientes (Jiménez, 2006).

Por otra parte, los detergentes registraron concentraciones <0.40 mg/L en todos los puntos de muestreo (**Figura 9 C**). Aunque para esta variable tampoco se han establecido límites de referencia en el país, es posible que las concentraciones encontradas sean tóxicas, teniendo en cuenta otros estudios como el de Álvarez (2006), quien en las lagunas Anap y Principal pertenecientes a los pantanos de Villa en Perú registró concentraciones entre 0.1 y 1.1 mg/L, que fueron consideradas tóxicas.

Los detergentes ocasionan varios impactos sobre el ambiente como es la eutrofización, debido a los altos niveles de fósforo procedentes del tripolifosfato, principal ingrediente de las formulaciones detergentes. Además, pueden aumentar los niveles de cloro y de compuestos organoclorados; algunos posiblemente de carácter tóxico y carcinógeno (Lechuga, 2005). También causan problemas de espuma en aguas superficiales, lagos, ríos y plantas depuradoras de aguas residuales (Romero, 1996).



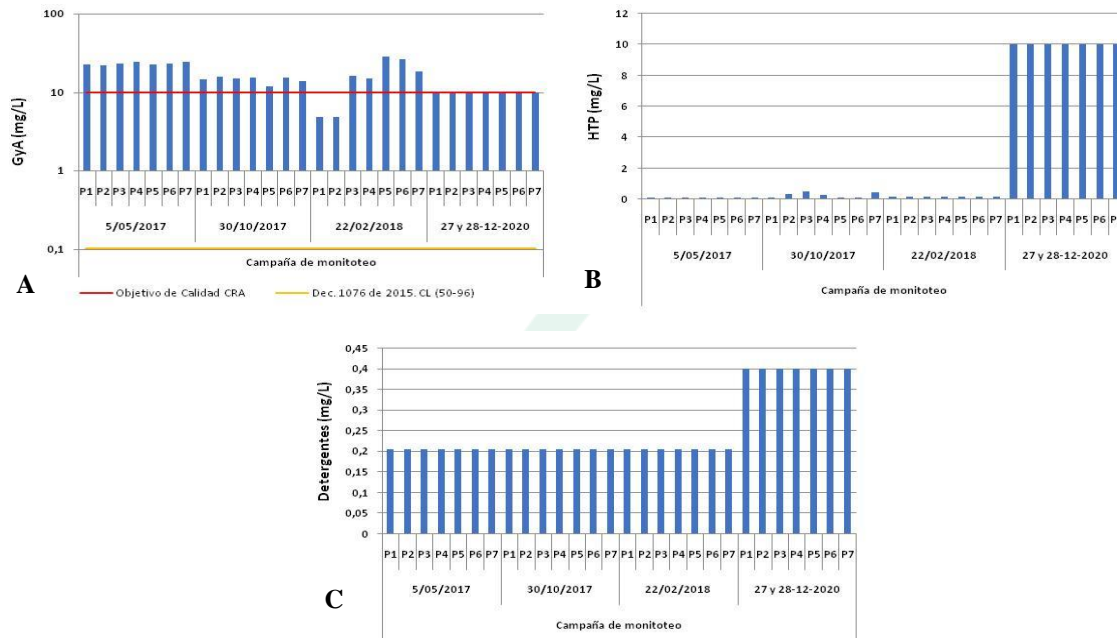


Figura 9. Variación de las grasas y aceites (GYA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

De los nutrientes, los nitratos (NO_3) no representan problemas para la calidad del agua en la ciénaga, registrándose concentraciones que cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 es $<10 \text{ mg/L}$ y únicamente han sobrepasado este límite de control en el año 2018 de P4 a P7 (**Figura 10 B**). Asimismo, el amoníaco (NH_3) presentó concentraciones $<1.000 \text{ mg/L}$ (**Figura 10 A**). US EPA (1999, 2006), EEA (2000, 2005), Environment Canadá (2001) y Alonso (2005) han recomendado concentraciones máximas dentro del rango $0.05\text{-}0.35 \text{ mg/L NH}_3$ durante exposiciones de corta duración, y concentraciones máximas dentro del rango $0.004\text{-}0.02 \text{ mg/L NH}_3$ durante exposiciones de larga duración, para proteger a las especies más sensibles de la toxicidad del amoníaco. Los ambientes acuáticos sin contaminar contienen pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal, generalmente menores a 0.1 mg/L , pero pueden alcanzar de $2 \text{ a } 3 \text{ mg/L}$, y concentraciones más altas pueden indicar que existe contaminación de origen orgánico procedente de aguas residuales (Sierra-Ramírez, 2011).



De otro lado, los ortofosfatos (PO_4) registraron concentraciones entre 0.06 y 0.43mg/L (**Figura 10 C**), superando en todos los puntos el objetivo de calidad establecido por la CRA (<0.1 mg/L). Según Ramírez et al. (1999), esta variable demuestra eutrofización cuando se encuentran por encima de 0.01mg/L.

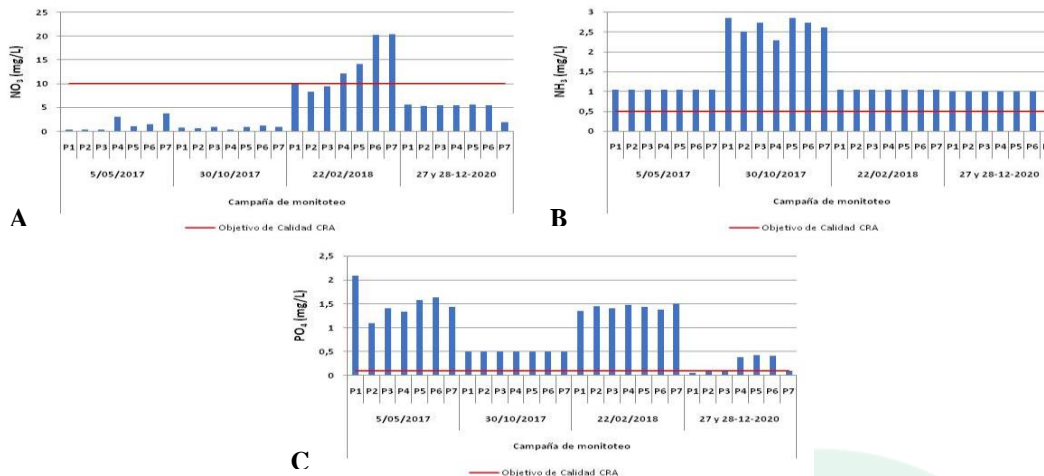


Figura 10. Variación de los nitratos (NO_3), amoníaco (NH_3) y fosfatos (PO_4) en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Para este monitoreo fueron registradas concentraciones de metales pesados, para estos no se pudo realizar la comparación con respecto la concentración letal para la destinación del recurso en la preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República. El arsénico (Ar), el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) reportaron concentraciones por debajo del límite de detección del método en todos los puntos muestreados, mientras que el plomo (Pb) registró 0.0030 mg/L en P1, P2 y P6. 0.0040 mg/L en P3 y 0.0050 mg/L en P5, y el cobre (Cu) 0.0040 mg/L en P1, <0.0030 mg/L en P4 y P7, y 0.0060 mg/L en P2, P3 y P5 6(**Figura 11**).



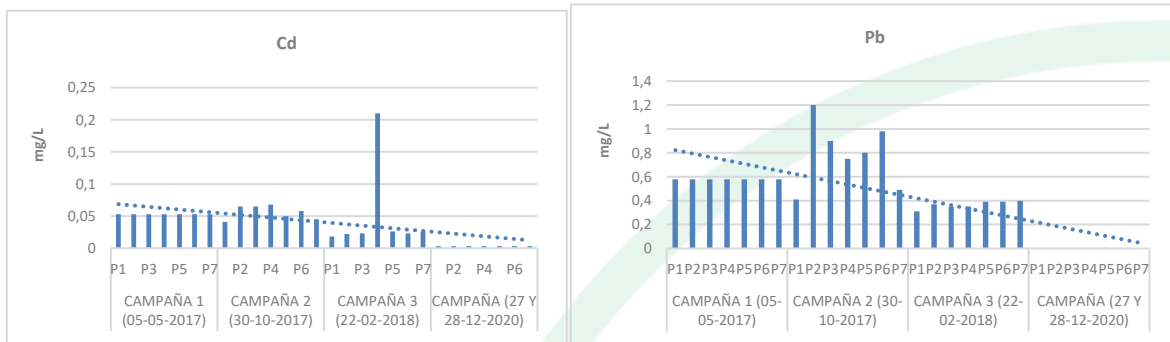


Figura 11. Variación del cadmio y el plomo en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Los coliformes termotolerantes (CTE) presentaron concentraciones promedio entre los días de monitoreo entre 1.8 y 915 NMP/100 mL, registrándose los mayores valores en P6 con 915 NMP/100 mL y P1 con 165.9 NMP/100 mL. P6 es un punto ubicado cerca a el barrio Las Flores con influencia de descargas domésticas sin tratamiento y P1 recibe las aguas del arroyo León, que arrastra consigo los vertimientos de la estación depuradora de aguas residuales de la Triple A S.A. E.S.P. (EDAR El Pueblo), por lo que es común que en estos lugares se registren concentraciones más altas de contaminación fecal, sin embargo, estos valores son bajos y cumplen con el objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 establecido por la CRA (<2000 NMP/100 mL), a diferencia de monitoreos anteriores donde los registros muestran alta contaminación (**Figura 12 A**). Igualmente, los coliformes totales (CT) presentaron concentraciones por debajo del límite máximo establecido por la CRA (<5000 NMP/100 mL), con mayores valores en P6 y P1, pero inferiores a 1000 NMP/100 mL (**Figura 12 B**).

De los microorganismos patógenos, los análisis de Pseudomonas en el agua de la ciénaga mostraron altos valores en P3 con 2420 NMP/100 mL, en P2 con 495 NMP/100 mL, en P7 con 476 NMP/100 mL, en P1 con 258 NMP/100 mL y en P4 con 210 NMP/100 mL. Este grupo representa gran importancia en la contaminación microbiológica debido a su capacidad de inhibir los coliformes (indicadores de contaminación de agua más usados en el mundo), corriéndose el riesgo de consumir



agua con índice de coliformes cero, los cuales podrían estar inhibidos por Pseudomonas (Vaconcelos et al. 2010). Estas bacterias no se consideran autóctonas del agua y tienen origen en las heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con contaminación por descarga de aguas residuales, por lo tanto, hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación (De Vicente et al. 1991).

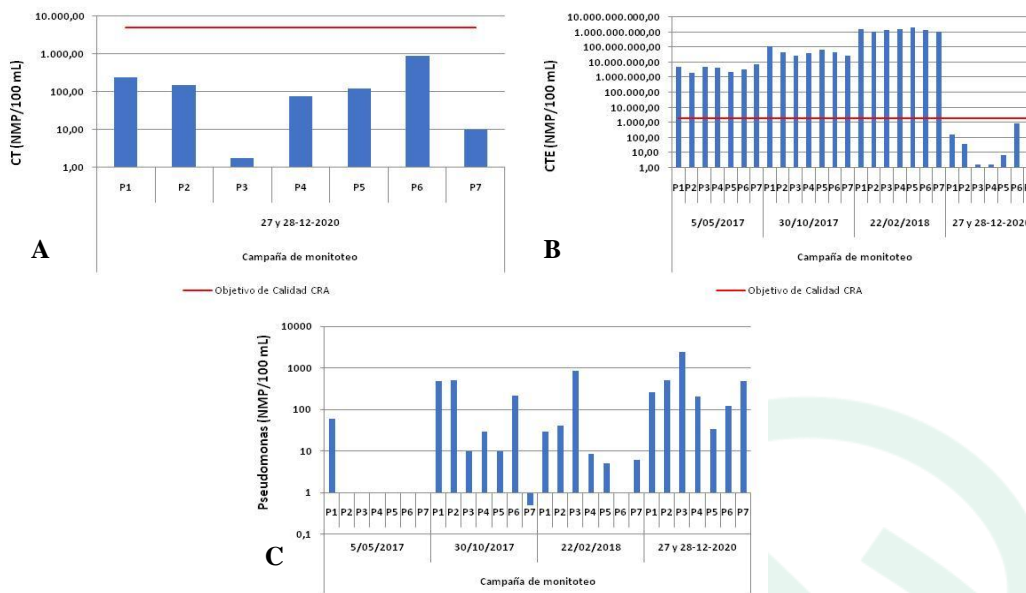


Figura 12. Variación de los coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020).



6.1.1.2 Variables Hidrobiológicas.

6.1.1.2.1 Fitoplancton

La comunidad de fitoplancton en la Ciénaga de Mallorquín registró una densidad total de 7245 Ind/L, distribuidos en 49 morfoespecies, 19 familias, 17 órdenes, cuatro (4) clases y dos (2) divisiones (**Tabla 19**). La división más diversificada fue la Bacillariophyta (diatomeas) con el 94% de las morfoespecies registradas para este cuerpo de agua. La división más abundante está relacionada con pH neutro o ligeramente ácido, Turbulencia, Mezcla y eutrofia en los cuerpos de agua (Pinilla, 2000).

Tabla 19. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Mallorquín.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Bacillariophyta	Mediophyceae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Bacteriastrum furcatum</i>
				<i>Bacteriastrum comusum</i>
				<i>Chaetoceros diversus</i>
				<i>Chaetoceros affinis</i>
				<i>Chaetoceros sp1</i>
				<i>Chaetoceros sp2</i>
				<i>Chaetoceros sp3</i>
				<i>Chaetoceros sp4</i>
		Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira sp</i>
			Skeletonemataceae	<i>Skeletonema costatum</i>
		Eupodiscales	Eupodiscaceae	<i>Odontella sp1</i>
				<i>Odontella sp2</i>
				<i>Odontella sp3</i>
		Hemiaulales	Hemiaulaceae	<i>Hemiaulus sp1</i>
	<i>Hemiaulus sp2</i>			
	Biddulphiales	Biddulphiaceae	<i>Biddulphia sp1</i>	
			<i>Biddulphia sp2</i>	
	Bacillariophyceae	Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp</i>
		Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Etmoneis alata</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp1</i>
<i>Gyrosigma sp2</i>				
<i>Gyrosigma sp3</i>				
Rhaphoneidales		Rhaphoneidaceae	<i>Neodelphineis sp</i>	
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cylindrotheca closterium</i>		



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
				<i>Nitzschia longissima</i>
				<i>Nitzschia sp1</i>
				<i>Nitzschia sp2</i>
				<i>Nitzschia sp3</i>
				<i>Pseudo-nitzschia sp</i>
		Naviculales	Pleurosigmataceae	<i>Pleurosigma sp1</i>
				<i>Pleurosigma sp2</i>
				<i>Pleurosigma sp3</i>
				<i>Pleurosigma sp4</i>
				<i>Pleurosigma sp5</i>
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Asterionella gracialis</i>	
	Thalassionematales	Thalassionemataceae	<i>Thalassionema nitzschooides</i>	
			<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	
	Coccinodiscophyceae	Coccinodisciales	Coccinodiscaceae	<i>Coccinodiscus radiatus</i>
				<i>Coccinodiscus sp1</i>
				<i>Coccinodiscus sp2</i>
		Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Guinardia flaccida</i>
<i>Guinardia striata</i>				
<i>Rhizosolenia sp1</i>				
<i>Rhizosolenia sp2</i>				
Stephanopyxales	Stephanopyxidaceae	<i>Stephanopyxis sp</i>		
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Gomontiellaceae	<i>Komvophoron sp</i>
			Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp1</i>
2	4	17	19	49

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En los puntos P-1 a P-3 las Bacillariophyta tuvo la mayor diversidad, representada en un 100%, esto como consecuencia de una mayor apertura de agua marina que está ingresando a la ciénaga y las especies en su gran mayoría son de hábitos marinos. Por el contrario, para el punto P4 al P7 la riqueza se distribuyó en dos phylum, Bacillariophyta y Cyanobacteria, siendo la primera mayor riqueza (**Figura 13**).



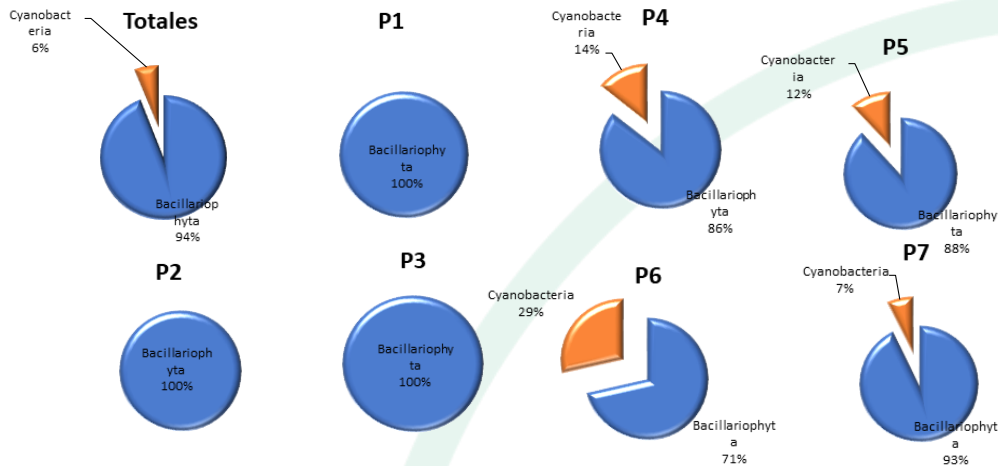


Figura 13. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad total obtuvo un valor medio de 7244.60 Ind/L (**Tabla 20, Tabla 21**), siendo mayor en el punto P-6 y mínima en P-3. Aunque el grupo Bacillariophyta fue el más diverso, en el punto P-6 donde tuvo la menor riqueza, fue donde obtuvo la mayor densidad con 4990.5 Ind/L, por su parte, el punto P-3 tuvo la menor densidad para este grupo con 15.3 Ind/L; en cuanto a las densidades para el Phylum Cianobacterias esta estuvo presente solo en cuatro puntos, de estos, el punto P-6 presentó la mayor densidad con 1147 Ind/L, seguido del punto P-5 con 167.57 Ind/L. Considerando la densidad para establecer el nivel trófico, se puede apreciar que la representación de organismos en la ciénaga es muy baja, aunque los grupos dominantes, Bacillariophytas y Cianobacteria, son frecuentes en sistemas eutróficos (Ramírez y Viña 1998), probablemente por la capacidad de tolerar las condiciones de estrés.



Tabla 20. Densidad por día de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Bacteriastrium furcatum</i>	3.27	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Bacteriastrium comusum</i>	0.00	0.00	0.00	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros diversus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.62
<i>Chaetoceros affinis</i>	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.88	0.00	0.00	0.80	0.00
<i>Chaetoceros sp1</i>	58.78	50.33	125.84	119.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp2</i>	11.97	14.99	14.98	16.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp3</i>	7.62	6.43	16.98	14.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp4</i>	0.00	0.00	8.99	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20	8.13	0.00	0.00	1.86	3.41
<i>Chaetoceros sp5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	4.88	0.00	0.00	2.39	1.24
<i>Thalassiosira sp</i>	6.53	5.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Skeletonema costatum</i>	28.30	23.56	10.99	9.41	0.00	0.00	0.00	0.00	20.80	24.39	0.00	0.00	2.13	3.10
<i>Odontella sp1</i>	7.62	8.57	4.99	6.27	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Odontella sp2</i>	3.27	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Odontella sp3</i>	0.00	0.00	3.00	4.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Hemiaulus sp1</i>	6.53	6.43	8.99	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Hemiaulus sp2</i>	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Biddulphia sp1</i>	8.71	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Biddulphia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	6.50	0.00	30.65	0.00	0.00
<i>Amphora sp</i>	2.18	0.00	0.00	0.00	8.58	8.10	17.08	22.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Etmoneis alata</i>	16.33	13.92	31.96	36.60	9.80	4.05	12.81	14.71	6.40	4.88	5100.00	4398.47	3.46	5.27
<i>Gyrosigma sp1</i>	2.18	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gyrosigma sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.12	5.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gyrosigma sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.86
<i>Neodelphineis sp</i>	0.00	0.00	2.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Cylindrotheca closterium</i>	75.10	77.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.80	8.13	200.00	122.61	0.00	0.00
<i>Nitzschia longissima</i>	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp1</i>	0.00	0.00	4.99	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	3.00	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.66	19.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pseudo-nitzschia sp</i>	6.53	8.57	4.99	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.62
<i>Pleurosigma sp1</i>	3.27	4.28	7.99	4.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
<i>Pleurosigma sp2</i>	5.44	4.28	2.00	3.14	0.00	0.00	11.39	8.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pleurosigma sp3</i>	2.18	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	45.98	0.00	0.00
<i>Pleurosigma sp4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.85	1.47	6.40	11.38	0.00	0.00	0.53	0.62
<i>Pleurosigma sp5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00
<i>Asterionella gracialis</i>	22.86	20.35	17.98	27.19	0.00	0.00	0.00	0.00	9.60	13.01	0.00	0.00	1.06	0.62
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	14.15	10.71	11.99	8.37	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	6.50	0.00	0.00	1.59	2.48
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	7.62	12.85	3.00	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus sp1</i>	9.80	8.57	10.99	9.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Coscinodiscus sp2</i>	0.00	0.00	4.00	5.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62
<i>Guinardia flaccida</i>	2.18	1.07	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Guinardia striata</i>	5.44	4.28	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Rhizosolenia sp1</i>	5.44	4.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Rhizosolenia sp2</i>	8.71	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Rhizosolenia sp3</i>	0.00	0.00	3.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Stephanopyxis sp</i>	7.62	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Komvophoron sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.17	92.65	185.60	143.09	1033.33	1180.08	9.57	10.23
<i>Oscillatoria sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	3.25	50.00	30.65	0.00	0.00



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
Total	341.77	313.79	309.61	309.54	18.38	12.15	66.90	72.06	100.80	112.20	5383.33	4597.70	16.74	21.40

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Tabla 21. Densidad promedio de la comunidad fitoplanctónica por punto de monitoreo en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	Total
<i>B.furcatum</i>	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
<i>B.comusum</i>	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
<i>C.diversus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.84
<i>Chaetoceros affinis</i>	0.00	2.00	0.00	0.00	2.44	0.00	0.40	4.84
<i>Chaetoceros sp1</i>	54.56	122.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	177.08
<i>Chaetoceros sp2</i>	13.48	15.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.34
<i>Chaetoceros sp3</i>	7.02	15.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.83
<i>Chaetoceros sp4</i>	0.00	10.25	0.00	0.00	9.67	0.00	2.64	22.55
<i>Chaetoceros sp5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	6.44	0.00	1.82	8.26
<i>Thalassiosira sp</i>	5.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.94
<i>S.costatum</i>	25.93	10.20	0.00	0.00	22.60	0.00	2.61	61.34
<i>Odontella sp. 1</i>	8.09	5.63	0.00	0.00	4.03	0.00	0.00	17.75
<i>Odontella sp. 2</i>	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17
<i>Odontella sp. 3</i>	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59
<i>Hemiaulus sp.1</i>	6.48	8.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.63
<i>Hemiaulus sp.2</i>	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
<i>Biddulphia sp1</i>	7.57	0.00	0.00	0.00	5.64	0.00	0.00	13.21
<i>Biddulphia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	4.05	15.33	0.00	19.38
<i>Amphora sp</i>	1.09	0.00	8.34	19.57	0.00	0.00	0.00	29.00
<i>Ertomoneis alata</i>	15.12	34.28	6.93	13.76	5.64	4749.23	4.36	4829.33
<i>Gyrosigma sp.1</i>	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16
<i>Gyrosigma sp.2</i>	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	6.50
<i>Gyrosigma sp.3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	1.46
<i>Neodelphineis sp</i>	0.00	1.52	0.00	0.00	4.04	0.00	0.00	5.56
<i>C.closterium</i>	76.11	0.00	0.00	0.00	10.47	161.30	0.00	247.87
<i>Nitzschia longissima</i>	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
<i>Nitzschia sp. 1</i>	0.00	6.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.16
<i>Nitzschia sp. 2</i>	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.54
<i>Nitzschia sp. 3</i>	0.00	0.00	0.00	17.39	0.00	0.00	0.00	17.39
<i>Pseudo-nitzschia sp</i>	7.55	6.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	14.41
<i>Pleurosigma sp1</i>	3.77	6.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	10.33
<i>Pleurosigma sp2</i>	4.86	2.57	0.00	10.11	0.00	0.00	0.00	17.54
<i>Pleurosigma sp3</i>	2.69	0.00	0.00	0.00	0.00	47.99	0.00	50.68
<i>Pleurosigma sp4</i>	0.00	0.00	0.00	2.16	8.89	0.00	0.58	11.63
<i>Pleurosigma sp5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.67	0.00	16.67
<i>Asterionella gracialis</i>	21.60	22.58	0.00	0.00	11.30	0.00	0.84	56.33
<i>T.nitzschoides</i>	12.43	10.18	0.00	0.00	7.25	0.00	2.04	31.89
<i>T.frauenfeldii</i>	10.24	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.78
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	0.00	0.00	2.43
<i>Coscinodiscus sp1</i>	9.18	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.38
<i>Coscinodiscus sp2</i>	0.00	4.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	4.92



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	Total
<i>Guinardia flaccida</i>	1.62	0.50	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00	3.75
<i>Guinardia striata</i>	4.86	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.43
<i>Rhizosolenia sp1</i>	4.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.86
<i>Rhizosolenia sp2</i>	7.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.57
<i>Rhizosolenia sp3</i>	0.00	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02
<i>Stephanopyxis sp</i>	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.02
<i>Komvophoron sp</i>	0.00	0.00	0.00	81.91	164.34	1106.70	9.90	1362.86
<i>Oscillatoria sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	40.33	0.00	43.55
Total (Ind/L)	327.78	309.58	15.26	151.39	274.07	6137.55	28.97	7244.60

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



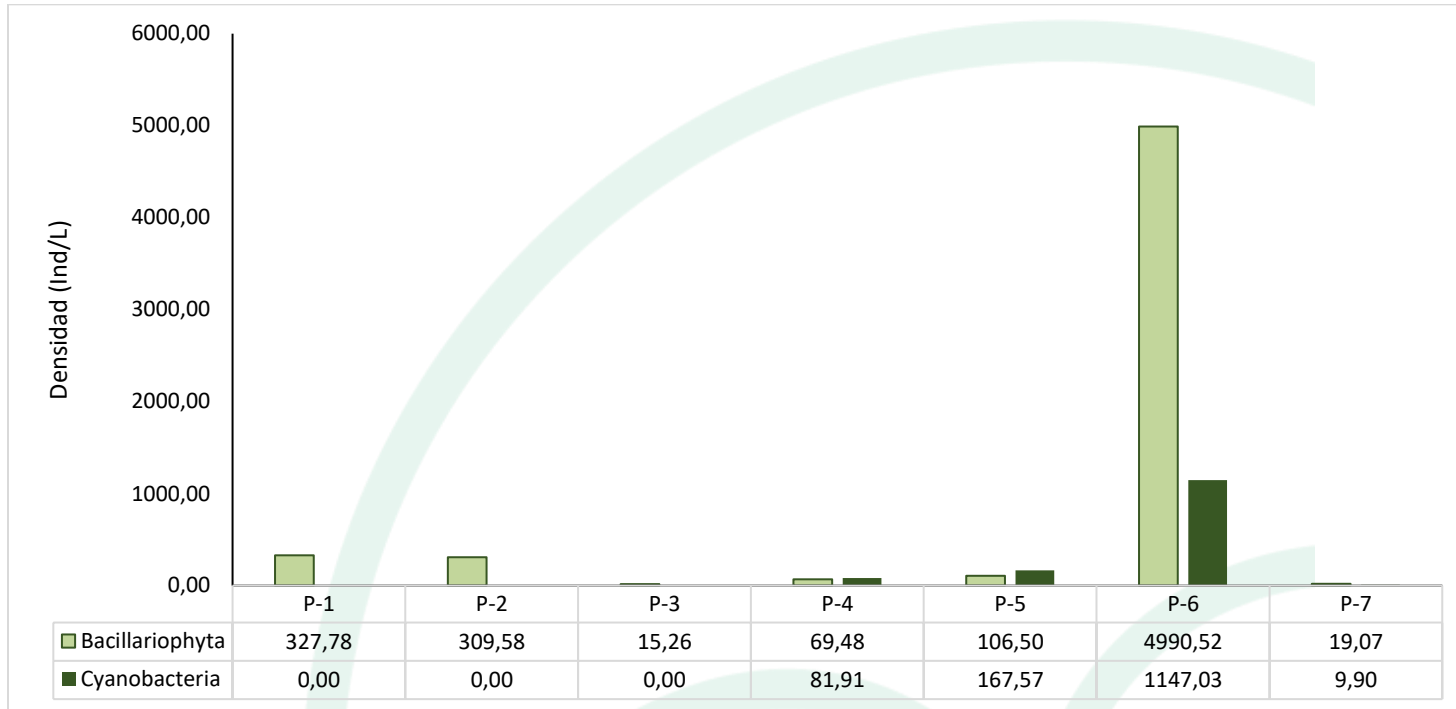


Figura 14. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



En cuanto a la estructura de la comunidad fitoplancton descrita a través de los índices ecológicos (**Tabla 22**), según el índice de Shannon-Wiener la ciénaga de Mallorquín presentó una diversidad moderada con valores entre 0,68- 2,7 bits/individuos. Los puntos con diversidades altas fueron P1, P-2 y P-7, siendo mayor en el punto P-1 ($d=2,7$) con 28 morfoespecies; la equidad presentó valores altos, a excepción del punto P6 donde las densidades de las morfoespecies tienden a desiguales por lo que el índice de dominancia presentó valores altos indicando que hay prevalencia de ciertas morfoespecies. El índice de Margalef indicó, en general, una diversidad ligeramente moderada para ciertos puntos, siendo muy baja en P-3 y P-6, dado que sus valores fueron inferiores a 2; según Margalef (1995) valores superiores a 2.0 son relacionados con zonas de una diversidad normal y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Tabla 22. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J'	H'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson (1- λ)	d
P-1	28	327.76	0.8218	2.738	0.1042	0.8958	4.661
P-2	26	309.59	0.7234	2.357	0.1867	0.8133	4.359
P-3	2	15.27	0.9938	0.6889	0.5043	0.4957	0.367
P-4	7	151.4	0.7399	1.44	0.3374	0.6626	1.195
P-5	17	274.09	0.5983	1.695	0.3748	0.6252	2.85
P-6	7	6137.6	0.3623	0.7049	0.6321	0.3679	0.688
P-7	14	28.98	0.8136	2.147	0.1704	0.8296	3.861

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.1.1.2.2 Zooplancton

La comunidad zooplanctónica de la ciénaga de Mallorquín se estructuró a partir de 49 morfoespecies, pertenecientes a 25 familias, 19 órdenes, 14 clases de nueve (9) Phylum, tal como se observa en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Clasificación taxonómica del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Amoebozoa	Lobosa	Arcellinida	Diffugiidae	<i>Diffugia spp</i>
Annelida	Polychaeta	Polychaeta ND	Polychaeta ND	<i>Polychaeta ND Morfoespecie (L)</i>
				<i>Polychaeta ND Morfoespecie (L) 2</i>
				<i>Polychaeta ND Morfoespecie (L) 3</i>
Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida	Calanoida ND	<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>
		Cyclopoida	Cyclopoida ND	<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>
			Cyclopidae	<i>Ergasilus spp</i>
		Maxillopoda ND	Maxillopoda ND	<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>
	Malacostraca	Decapoda	Decapoda ND	<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>
	Ostracoda	Ostracoda ND	Ostracoda ND	<i>Ostracoda Morfoespecie 2</i>
				<i>Ostracoda Morfoespecie 3</i>
				<i>Ostracoda Morfoespecie 4</i>
	Maxillopoda	Cyclopoida	Cyclopoida ND	<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 3</i>
	Chordata	Chordata ND	Chordata ND	Chordata ND
<i>Chordata ND Morfoespecie (H) pez 2</i>				
Ciliophora	Ciliatea	Ciliatea-ND	Ciliatea-ND	<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>
				<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>
				<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 3</i>
		Hypotrichida	Euplotidae	<i>Euplotes spp</i>
		Oligotrichida	Ascampbelliellidae	<i>Acanthostomella minutissima</i>
			Codonellidae	<i>Codonella galea</i>
				<i>Tintinnopsis directa</i>
				<i>Tintinnopsis sp1</i>
				<i>Tintinnopsis spp</i>
			Codonellopsidae	<i>Codonellopsis sp</i>
			<i>Codonellopsis spp</i>	
			Ptychocylididae	<i>Favella sp</i>
			Tintinnidae	<i>Brandtiella sp 2</i>
				<i>Brandtiella spp</i>
		<i>Canthariella spp</i>		
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>				



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
		Peritrichida	Vorticellidae	<i>Vorticella sp 4</i>
				<i>Vorticella sp 5</i>
Foraminifera	Granuloreticulosea	Foraminiferida	Foraminiferida ND	<i>Foraminifera ND Morfoespecie 4</i>
	Granuloreticulosea	Foraminiferida	Foraminiferida ND	<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>
Mollusca	Bivalvia	Bivalvia ND	Bivalvia ND	<i>Bivalvia ND Morfoespecie de bivalvo 1 (L)</i>
	Gasteropoda	Gasteropoda ND	Gasteropoda ND	<i>Gastropoda ND Morfoespecie Proconcha 1 (L)</i>
				<i>Gastropoda ND Morfoespecie Proconcha 2 (L)</i>
				<i>Gastropoda ND Morfoespecie Proconcha 3 (L)</i>
Radiozoa	Radiozoa ND	Radiozoa ND	Radiozoa ND	<i>Radiozoa ND Morfoespecie 1</i>
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus angularis</i>
				<i>Brachionus calyciflorus</i>
				<i>Brachionus plicatilis</i>
				<i>Brachionus spp</i>
				<i>Keratella americana</i>
				<i>Keratella tropica</i>
			<i>Notholca sp</i>	
			Lecanidae	<i>Lecane spp</i>
9	14	19	25	49

*Larva :(L); Huevo (H)

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Estos resultados permitieron evidenciar que el Phylum Ciliophora contribuyó con la mayor proporción de morfoespecies (3.4%, 17 morfoespecies), seguido por los aportes de Arthropoda (20.8%, 10 morfoespecies), Rotifera (16.7%, 8 morfoespecies), Mollusca (8.3%, 4 morfoespecies), Chordata y Foraminifera (4.2%, 2 morfoespecies cada una) y Amoebozoa y Radiozoa (2.1%, 1 morfoespecie cada uno), como se observa en la **Figura 15**.

La distribución espacial de la riqueza por Phylum permitió evidenciar el predominio de artrópodos en los puntos P3 (35.3%, 6 morfoespecies), P4 (42.9%, 6 morfoespecies), P6 (41.7%, 5 morfoespecies) y P7 (38.5%, 5 morfoespecies), de ciliados en P1 (40.9%, 9 morfoespecies) y P2 (47.6%, 10 morfoespecies), mientras que en el P5 se observaron la misma cantidad de morfoespecies para los Phylum Arthropoda, Ciliophora y Mollusca (28.6%, 4 morfoespecies) (**Figura 15**).



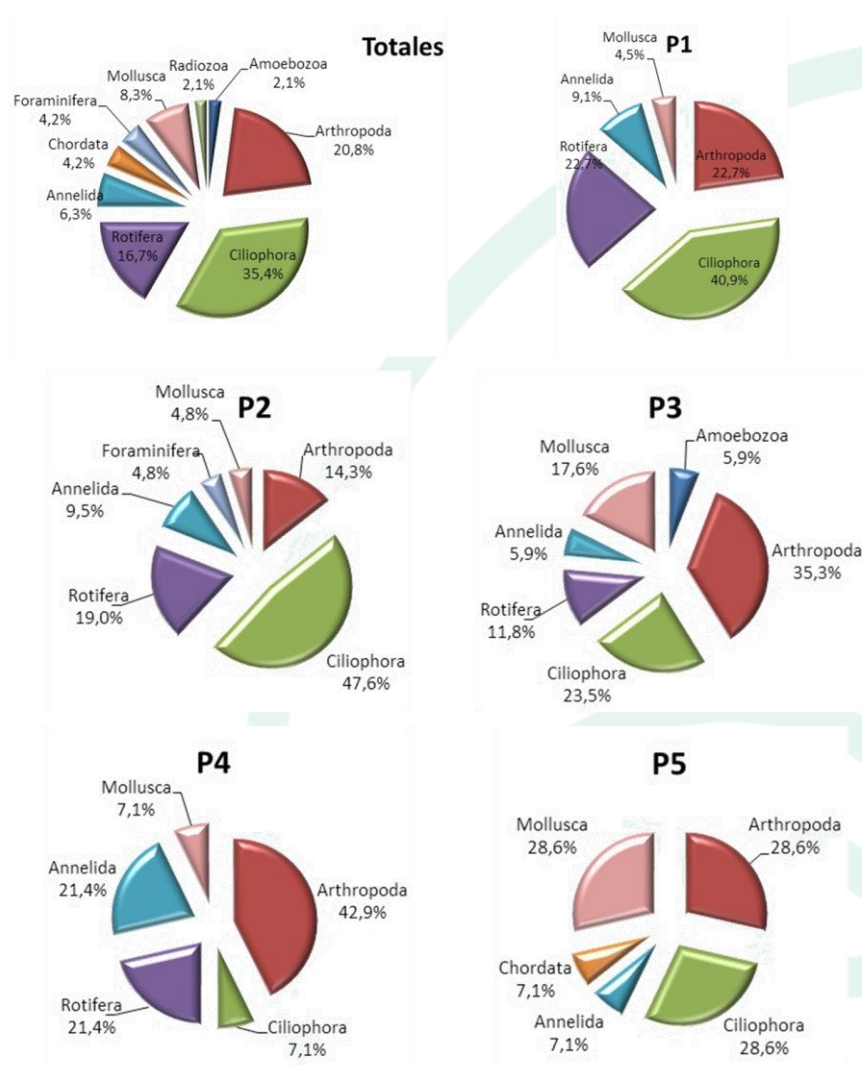


Figura 15. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La importancia de los artrópodos, especialmente los copépodos, consiste en ser un eslabón importante en la trama alimenticia acuática, transformando la proteína vegetal en animal, al ser fuente de alimento importante para peces planctívoros, como para los estadios larvales de la mayoría de peces, igualmente sus excretas sirven de fuente de alimento a organismos bentónicos facilitando el intercambio de materia tanto en la columna de agua, como con el sedimento, así mismo, algunas especies han sido usadas como bioindicadores de calidad del agua en sistemas



saprobios (Smith y Fernando, 1980; Morales y Vargas, 1995 y Martínez-Barragán, *et al.*, 2009). Por otra parte, es de resaltar que la mayoría de los trabajos documentados sobre la importancia y bioindicación de los ciliados, generó resultados que los involucran a la fauna asociada a fangos activos de sistemas de depuración de aguas (Centro de investigación y tecnología del agua, 2021), lo que podría ser indicador de la baja calidad de la misma. Por último, los moluscos, especialmente los gasterópodos, prefieren aguas límpidas, transparentes y con abundante contenido de calcio, aunque también frecuentan los lugares pantanosos y los ambientes salobres, como los existentes en la desembocadura de los ríos al mar (Camacho y Del Rio, 2021).

El análisis de la abundancia permitió determinar el predominio de integrantes del Phylum Ciliophora en P-1, P-2 y P-5 con 31.0 Ind/L, 257.8 Ind/L y 29.10 Ind/L respectivamente, seguidos del Phylum Arthropoda en los puntos restantes (**Figura 16**). Se evidenció además que la abundancia fue mayor en P-2 (310.53 Ind/L), seguido de P-6 (268.48 Ind/L), mientras que los puntos P-7 y P-1 presentaron las menores abundancias con 55.94 y 75.38 Ind/L, respectivamente (**Tabla 24, Tabla 25,**

Tabla 26).



Tabla 24. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. Parte I.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Difflugia spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	3.00	1.75	7.60	0.00	4.50	27.50
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 2</i>	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 3</i>	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	6.00	0.00	0.00	1.45	0.00	13.75
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	4.13
<i>Ergasilus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	6.00	14.00	9.50	8.70	78.00	48.13
<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>	1.50	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00
<i>Ostracoda Morfoespecie 2</i>	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ostracoda Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ostracoda Morfoespecie 4</i>	1.50	0.00	1.90	0.00	1.50	0.00
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>	0.00	8.75	0.00	8.70	0.00	1.38
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Euplotes spp</i>	0.00	1.75	0.00	2.90	0.00	0.00
<i>Acanthostomella minutissima</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Codonella galea</i>	9.00	0.00	11.40	11.60	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis directa</i>	1.50	17.50	277.40	17.40	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis sp1</i>	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	0.00	17.10	0.00	3.00	0.00
<i>Codonellopsis sp</i>	7.50	1.75	152.00	0.00	0.00	0.00
<i>Codonellopsis spp</i>	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Favella sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
<i>Brandtiella sp 2</i>	0.00	0.00	7.60	0.00	0.00	0.00
<i>Brandtiella spp</i>	0.00	0.00	5.70	0.00	0.00	0.00
<i>Canthariella spp</i>	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella sp 4</i>	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella sp 5</i>	0.00	0.00	1.90	0.00	1.50	0.00
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 4</i>	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Bivalvia ND Morfoespecie Larva de bivalvo 1</i>	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 1</i>	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	4.13
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Radiozoa ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus angularis</i>	0.00	10.50	0.00	17.40	0.00	0.00
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.00	14.00	0.00	20.30	0.00	0.00
<i>Brachionus plicatilis</i>	0.00	15.75	0.00	13.05	0.00	0.00
<i>Brachionus spp</i>	0.00	5.25	0.00	20.30	0.00	0.00
<i>Keratella americana</i>	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Keratella tropica</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
<i>Notholca sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
<i>Lecane spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	51.00	99.75	497.80	123.25	99.00	107.25

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 25. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. Parte II.

Morfoespecie	P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Diffugia spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	29.40	6.30	3.45	45.60	11.28	31.05	12.93	5.20
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 2</i>	1.23	2.10	0.00	0.00	0.00	3.45	0.00	2.60
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 3</i>	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60
<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	20.83	14.70	8.05	14.25	11.28	53.48	5.88	6.50
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	3.68	8.40	0.00	0.00	1.03	6.90	2.35	0.00
<i>Ergasilus spp</i>	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	67.38	46.20	27.60	0.00	23.58	372.60	21.15	35.10
<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>	2.45	2.10	1.15	0.00	1.03	0.00	4.70	2.60
<i>Ostracoda Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ostracoda Morfoespecie 3</i>	3.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ostracoda Morfoespecie 4</i>	0.00	0.00	2.30	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 1</i>	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	51.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Euplotes spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Acanthostomella minutissima</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
<i>Codonella galea</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis directa</i>	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis spp</i>	2.45	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Morfoespecie	P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Codonellopsis sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Codonellopsis spp</i>	0.00	0.00	2.30	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00
<i>Favella sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brandtiella sp 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brandtiella spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Canthariella spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella sp 4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella sp 5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00
<i>Bivalvia ND Morfoespecie Larva de bivalvo 1</i>	2.45	0.00	0.00	7.13	1.03	10.35	0.00	1.30
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 1</i>	0.00	0.00	2.30	7.13	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 2</i>	0.00	0.00	0.00	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 3</i>	0.00	0.00	0.00	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Radiozoa ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	1.73	0.00	0.00
<i>Brachionus angularis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus plicatilis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Keratella americana</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Keratella tropica</i>	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Notholca sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lecane spp</i>	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	137.20	86.10	52.90	142.50	57.40	479.55	48.18	63.70

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020

Tabla 26. Densidad promedio y por punto de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	Total
<i>Diffflugia spp</i>	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	2.38	3.80	16.00	17.85	24.53	21.16	9.06	94.78
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 2</i>	0.00	0.73	0.00	1.66	0.00	1.73	1.30	5.41
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva 3</i>	0.75	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	1.30	4.15
<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	3.00	0.73	6.88	17.76	11.15	32.38	6.19	78.08
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	4.31	6.04	0.00	3.96	1.18	15.49
<i>Ergasilus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.61
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	10.00	9.10	63.06	56.79	13.80	198.09	28.13	378.96
<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>	0.75	0.00	2.25	2.28	0.58	0.51	3.65	10.01
<i>Ostracoda Morfoespecie 2</i>	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
<i>Ostracoda Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	1.84



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	Total
<i>Ostracoda Morfoespecie 4</i>	0.75	0.95	0.75	0.00	1.15	0.51	0.00	4.11
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.59
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	1.95	2.53
<i>Chordata ND Morfoespecie huevo de pez 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.65
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>	4.38	4.35	0.69	0.00	0.00	0.00	0.65	10.06
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	1.39
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	25.65	0.00	0.00	25.65
<i>Euplotes spp</i>	0.88	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.33
<i>Acanthostomella minutissima</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.65
<i>Codonella galea</i>	4.50	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00
<i>Tintinnopsis directa</i>	9.50	147.40	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	158.05
<i>Tintinnopsis sp1</i>	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	8.55	1.50	1.23	1.15	0.00	0.00	12.43
<i>Codonellopsis sp</i>	4.63	76.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.63
<i>Codonellopsis spp</i>	3.75	0.00	0.00	0.00	1.15	0.51	0.00	5.41
<i>Favella sp</i>	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
<i>Brandtiella sp 2</i>	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
<i>Brandtiella spp</i>	0.00	2.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.85
<i>Canthariella spp</i>	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
<i>Vorticella sp 4</i>	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
<i>Vorticella sp 5</i>	0.00	0.95	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 4</i>	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.51
<i>Bivalvia ND Morfoespecie Larva de bivalvo 1</i>	1.50	0.00	0.00	1.23	3.56	5.69	0.65	12.63
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 1</i>	0.00	0.95	2.06	0.00	4.71	0.00	0.00	7.73
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 2</i>	0.00	0.00	0.69	0.00	5.70	0.00	0.00	6.39
<i>Gastropoda ND Morfoespecie Larva Proconcha 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.85	0.00	0.00	2.85
<i>Radiozoa ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.91	0.00	2.91
<i>Brachionus angularis</i>	5.25	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.95
<i>Brachionus calyciflorus</i>	7.00	10.15	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	18.20
<i>Brachionus plicatilis</i>	7.88	6.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40
<i>Brachionus spp</i>	2.63	10.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.78
<i>Keratella americana</i>	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75
<i>Keratella tropica</i>	0.00	0.00	0.69	0.61	0.00	0.00	0.00	1.30
<i>Notholca sp</i>	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69
<i>Lecane spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.61
Total	75.38	310.53	103.13	111.65	97.70	268.48	55.94	1022.79

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

El comportamiento anterior es indicador de aguas con tendencia a la eutrofia en la mayoría de los puntos monitoreados en la ciénaga de Mallorquín. La dominancia de morfotipos del Phylum



Ciliophora, puede se relaciona con el estado eutrófico de sus aguas, con bajos niveles de oxígeno y posible presencia de mayor carga orgánica. Por su parte los miembros del Arthropoda que alcanzaron su mayor representatividad en los puntos P-3 y P-4 (**Figura 16**) caracterizan a cuerpos de agua meso y eutróficos ya que requieren de concentraciones de nutrientes importantes para su supervivencia. Los copépodos de forma particular están adaptados a condiciones variables de salinidad y algunas de sus especies son resilientes a alta turbidez y bajas concentraciones de clorofila (Derisio *et al.* 2014). En general, este grupo coloniza de manera exitosa ambientes costeros y estuarinos; además de los copépodos se registraron ostrácodos, los cuales juega un papel muy importante en la productividad secundaria en los cuerpos de agua, debido a que son alimento de peces.



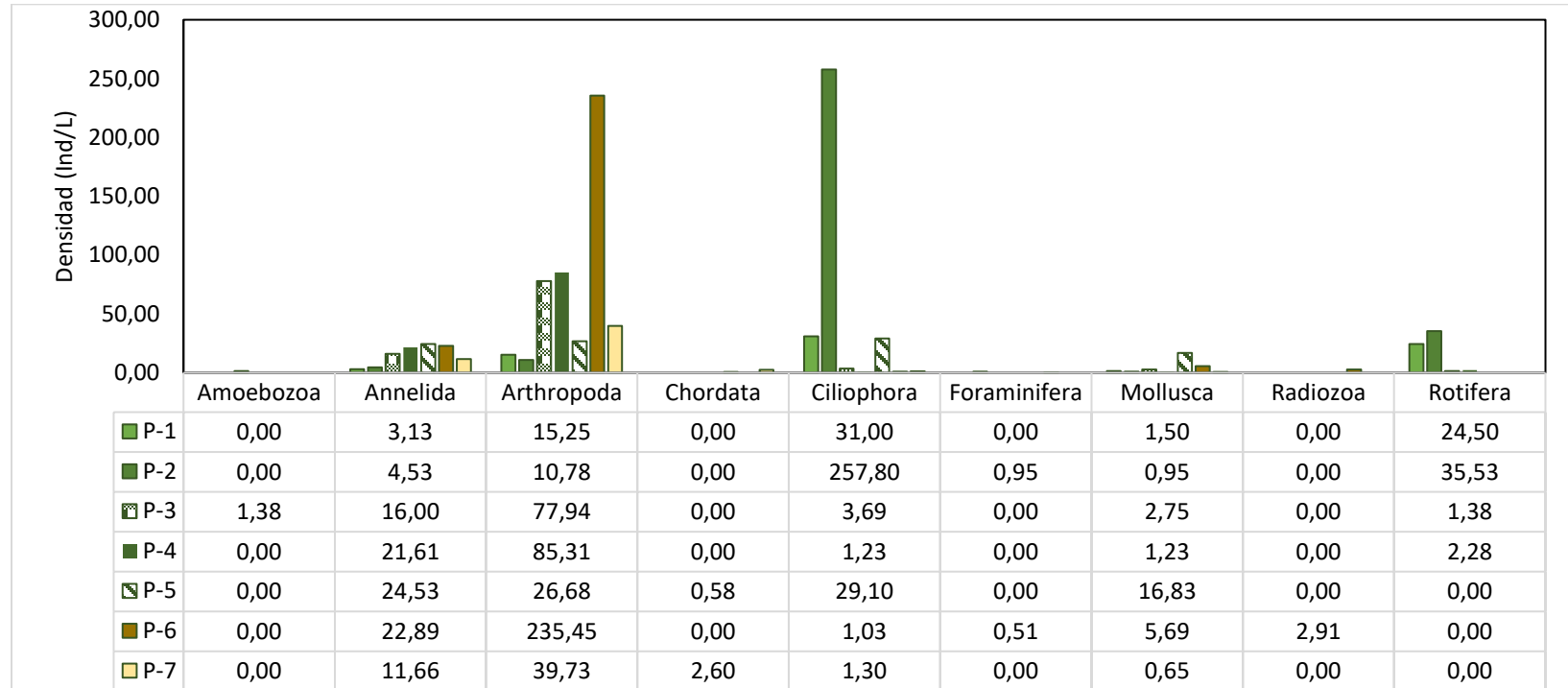


Figura 16. Abundancia Total y distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplankton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Al calcular los índices ecológicos, se determinó que la estructura de la comunidad zooplanctónica de la ciénaga de Mallorquín, según el índice de Shannon-Wiener, presenta una diversidad baja en P-6, con valor de 0.96, diversidad medio-alta en P-1 y P-5 con 2.78 y 2.02 respectivamente y diversidad baja en los puntos restantes; valores que son consistentes con la dominancia inversa de Simpson ($1-\lambda$), siendo esta máxima en los puntos P-1 y P-5. De la misma manera, el índice de equidad de Pielou (J'), demostró una estructura poco uniforme, con una equidad baja, en P-6 ($J':0.38$), alta en P-1 ($J':0.88$) y media en los puntos restantes. Por su parte, el índice de Margalef (d) reportó valores relacionados con una riqueza moderada a alta, siendo máxima en el punto P-1 ($d:5.08$). Margalef (1983) señala que las comunidades con valores superiores a cinco (5) constan de poblaciones bien estructuradas y diversas donde la distribución de los recursos tróficos resulta bastante homogénea, de tal manera que permite una adecuada y optima utilización, así disminuyen las interacciones de competencia, y las poblaciones se comportan como un verdadero ensamblaje ecológico.

Tabla 27.
Tabla 27. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga Mallorquín en diciembre de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$).

Índice	Taxa	N	J'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	H'	d
P-1	23	75.42	0.8871	0.07676	0.9232	2.782	5.089
P-2	21	310.54	0.5847	0.2922	0.7078	1.78	3.485
P-3	16	103.14	0.5262	0.4057	0.5943	1.459	3.235
P-4	14	111.66	0.6063	0.3141	0.6859	1.6	2.757
P-5	14	97.71	0.7684	0.1734	0.8266	2.028	2.837
P-6	12	268.47	0.3882	0.566	0.434	0.9646	1.967
P-7	13	55.95	0.659	0.2989	0.7011	1.69	2.982

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.1.1.2.3 Perifiton

La comunidad de Perifiton en la ciénaga de Mallorquín estuvo constituida por 17 morfoespecies, distribuidas en 12 familias, 10 órdenes, cuatro (4) clases y tres (3) divisiones (**Tabla 28**). La división más diversificada fue la Bacillariophyta (diatomeas) con el 73% de las morfoespecies seguida de Cyanobacterias (algas verdeazules) con el 14%, por último, Euglenophyta con el 13% de la riqueza del sistema.

Tabla 28. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Pseudanabaenaceae	<i>Anabaena sp1</i>
		Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus sp1</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp3</i>
		Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp2</i>
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp3</i>
				<i>Navicula sp4</i>
				<i>Gyrosigma sp2</i>
		Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp1</i>
				<i>Nitzschia sp2</i>
				<i>Nitzschia sp3</i>
	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp2</i>	
		Cymbellaceae	<i>Cymbella sp1</i>	
		Cymbellaceae	<i>Cymbella sp2</i>	
Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes sp1</i>		
Fragilariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella sp3</i>	
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenales	Phacaceae	<i>Lepocinclis sp1</i>
			Euglenaceae	<i>Euglena sp2</i>
3	4	10	12	17

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En los puntos de muestreo la distribución de la riqueza fue diferente. En el punto P-1 las Bacillariophyta tuvieron la mayor diversidad representadas con un 75%, seguida de las Cyanobacterias con un 25% de la riqueza total. Por el contrario, para el punto P4 la riqueza fue más baja, solo con morfoespecies de Bacillariophyta (100%). Para los puntos P5 y P6 las diatomeas



registraron la mayor riqueza total de las morfoespecies, seguida por el phylum Euglenozoa y por último las Cyanobacterias (**Figura 17**).

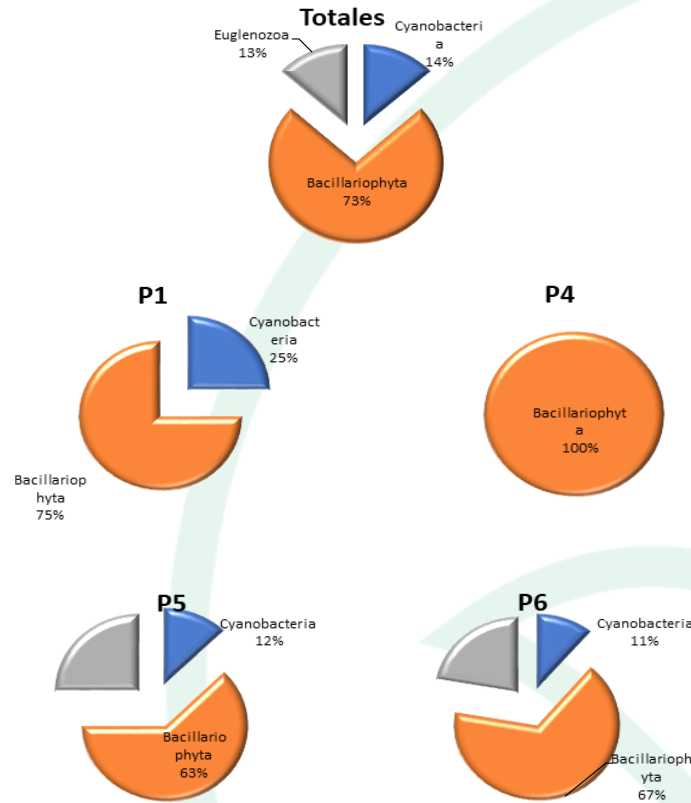


Figura 17. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Las morfoespecies con densidades promedio más altas en la ciénaga fueron *Nitzschia* sp2, *Oscillatoria* sp y *Cymbella* sp con 3323.69 Ind/cm², 1617.70 Ind/cm² y 1058.99 Ind/cm² respectivamente (**Tabla 29**, **Tabla 30**). Las diatomeas de los géneros *Nitzschia* y *Cymbella* se encuentran relacionadas con condiciones meso y eutróficas de acuerdo con Roldán y Ramírez (2008); características que también son consistentes en cuerpos de agua dominados por *Oscillatoria* spp, que además es indicador de sedimentos y conductividad altos, tolerancia a pesticidas,



estratificación térmica y química eutrofica (Duque y Donato 1992; Donato et al., 1987; Donato, 1987).

El punto P-7 registró la densidad promedio más alta, con 2640.89 Ind/cm², siendo *Cymbella* sp2 y *Nitzschia* sp2 las morfoespecies más abundantes con 840.81 Ind/cm² y 360.60 Ind/cm² respectivamente. A nivel general, *Oscillatoria* sp3 realizó aportes importantes, estando mejor representada en los puntos P-1, P-6 y P-7 (Tabla 29, Tabla 30).

Tabla 29. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1		P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Anabaena</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	261.29	236.92
<i>Chroococcus</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	21.40	33.57	0.00	0.00	52.26	0.00
<i>Oscillatoria</i> sp3	272.50	189.47	0.00	0.00	0.00	0.00	1046.12	1342.91	226.45	157.95
<i>Oedogonium</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	156.77	217.18
<i>Navicula</i> sp3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.20	143.88	226.45	296.15
<i>Navicula</i> sp4	55.00	37.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gyrosigma</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	107.02	100.70	0.00	71.94	0.00	0.00
<i>Nitzschia</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia</i> sp2	107.50	67.96	1365.42	1879.61	1155.79	704.90	285.31	359.71	365.81	355.38
<i>Nitzschia</i> sp3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	118.88	95.92	34.84	0.00
<i>Gomphonema</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.35	261.53	215.83	278.71	375.13
<i>Cymbella</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cymbella</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.05	285.31	0.00	714.19	967.44
<i>Achnanthes</i> sp1	0.00	0.00	71.86	128.16	149.82	83.92	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Surirella</i> sp3	30.00	30.89	556.95	768.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lepocinclis</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.57	142.65	143.88	121.94	197.44
<i>Euglena</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.57	95.10	0.00	0.00	39.49
Total	465.00	325.39	1994.24	2776.70	1434.04	1191.61	2425.10	2374.08	2438.71	2843.08

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad total promedio de la comunidad perifítica de la ciénaga de Mallorquín fue de 9133.97 Ind/cm², siendo máxima en P-7 y mínima en P-1 (Tabla 30) A nivel espacial, la estructura del perifiton registró un comportamiento heterogéneo, el grupo Bacillariophyta fue el más diverso, y obtuvo su mayor contribución en P-4 donde registró 2385.47 Ind/cm², por su parte la densidad mínima de este grupo fue observada en P-1 con 164.21 Ind/cm². La división Cyanobacteria reportó contribuciones



importantes, estando menor representada en el punto P-6 donde obtuvo 1194.52 Ind/cm², las divisiones Chlorophyta y Euglenozoa registraron densidades menores y estuvieron asociadas únicamente a los puntos P-5, P-6 y P-7(Figura 18).

Tabla 30. Densidad promedio de la comunidad perifítica por punto de monitoreo en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P-1	P-4	P-5	P-6	P-7	Total
<i>Anabaena sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	249.11	249.11
<i>Chroococcus sp1</i>	0.00	0.00	27.48	0.00	26.13	53.61
<i>Oscillatoria sp3</i>	230.98	0.00	0.00	1194.52	192.20	1617.70
<i>Oedogonium sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	186.98	186.98
<i>Navicula sp3</i>	0.00	0.00	0.00	167.04	261.30	428.35
<i>Navicula sp4</i>	46.03	0.00	0.00	0.00	0.00	46.03
<i>Gyrosigma sp2</i>	0.00	0.00	103.86	35.97	0.00	139.83
<i>Nitzschia sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp2</i>	87.73	1622.52	930.34	322.51	360.60	3323.69
<i>Nitzschia sp3</i>	0.00	0.00	0.00	107.40	17.42	124.82
<i>Gomphonema sp2</i>	0.00	0.00	25.17	238.68	326.92	590.77
<i>Cymbella sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cymbella sp2</i>	0.00	0.00	75.52	142.65	840.81	1058.99
<i>Achnanthes sp1</i>	0.00	100.01	116.87	0.00	0.00	216.88
<i>Surirella sp3</i>	30.45	662.94	0.00	0.00	0.00	693.39
<i>Lepocinclis sp1</i>	0.00	0.00	16.78	143.27	159.69	319.74
<i>Euglena sp2</i>	0.00	0.00	16.78	47.55	19.74	84.08
Total	395.19	2385.47	1312.82	2399.59	2640.89	9133.97

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



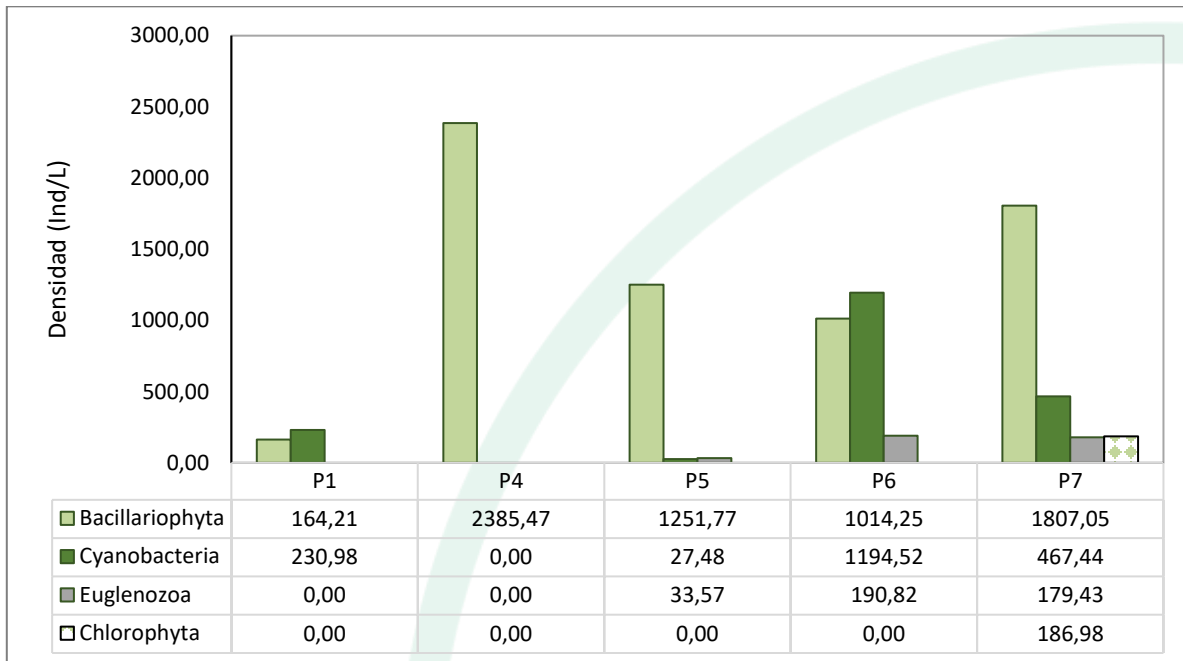


Figura 18. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Mallorcaín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a la estructura de la comunidad perifítica descrita a través de los índices ecológicos (**Tabla 31**). Los valores de diversidad arrojados por el índice de Shannon-Wiener muestran una diversidad baja con valores entre 0.75 a 2.01 bits/individuo, y variable por punto de monitoreo, entendible dado que es un cuerpo de agua muy extenso. Los puntos con diversidades moderadas fueron P5, P6 y P7, siendo mayor en P7 (2,01) con 11 morfoespecies; la equidad presentó valores medios a altos, siendo menor en P-4 y P-5, donde la morfoespecie *Nitzschia* sp2 registró una dominancia significativa sobre el ensamblaje perifítico, lo que es consistente con los máximos del índice de dominancia en estos puntos (λ : 0.54 y 0.52). El índice de Margalef indicó una diversidad baja, dado que sus valores fueron inferiores a 2. Según Margalef (1995), valores superiores a 2.0 se relacionan con zonas de una diversidad normal y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.



Tabla 31. Índices ecológicos para el perifiton en la Ciénaga de Mallorquín, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J	H'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson (1- λ)	d
P-1	4	395.19	0.7906	1.096	0.4104	0.5896	0.5017
P-4	3	2385.47	0.6836	0.751	0.5416	0.4584	0.2572
P-5	8	1312.8	0.5254	1.093	0.5208	0.4792	0.9749
P-6	9	2399.59	0.75	1.648	0.2903	0.7097	1.028
P-7	11	2640.9	0.8381	2.01	0.1682	0.8318	1.269

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.1.1.2.4 Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín estuvieron representados por cinco (5) morfoespecies, las cuales estuvieron vinculadas a dos (2) divisiones, tres (3) clases, cuatro (4) órdenes e igual número de familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 32**.

Tabla 32. Clasificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga de Mallorquín.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Mollusca	Bivalvia	Mytiloidea	Mytilidae	<i>Mytilus sp</i>
		Venerida	Veneridae	<i>Leukoma sp</i>
	Gastropoda	Cycloneritimorpha	Neritidae	Neritina sp
Annelida	Polychaeta	Capitellida	Capitellidae	Capitellidae spp
2	3	4	4	5

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La división Mollusca, fue la más representativa en términos de riqueza, ya que registró el 80% de las morfoespecies; mientras que el 20% restante le correspondió a Annelida (**Figura 19**). Las condiciones euhalinas de la ciénaga de Mallorquín, favorecen la presencia de especies de ambientes marinos; en los cuales la división Mollusca se encuentra bien representada. Su dominancia, también puede estar explicada por la gran oferta de alimento representada por materia orgánica, algas y



otros organismos que hacen parte de los hábitos alimenticios de muchos de estos organismos (Deluque *et al.*, 2006)

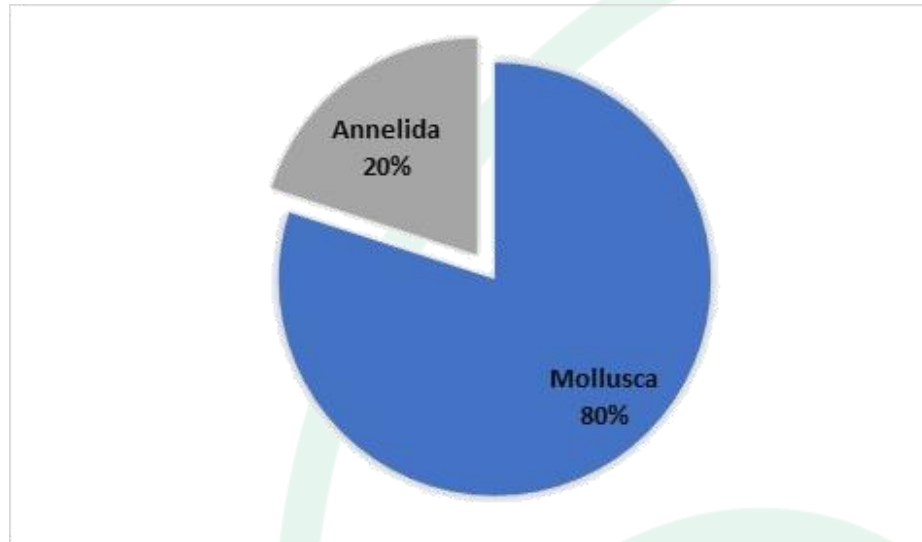


Figura 19. Representatividad específica de las divisiones bentónicas en la ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

A nivel espacial, la división Mollusca continuó con su patrón de dominancia en todos los puntos de monitoreo, a excepción de P7, donde obtuvo una abundancia similar a la división Annelida. En general, los moluscos estuvieron mejor representados en los puntos P3 y P5 donde alcanzaron un máximo de 69.44 Ind/m² y 61.11 Ind/m² respectivamente; mientras que sus densidades más bajas se observaron en P1 y P7. Los anélidos solo fueron reportados en P7 con 4.6 Ind/m²; el punto P6 no registró morfoespecies de macroinvertebrados (**Figura 20**).



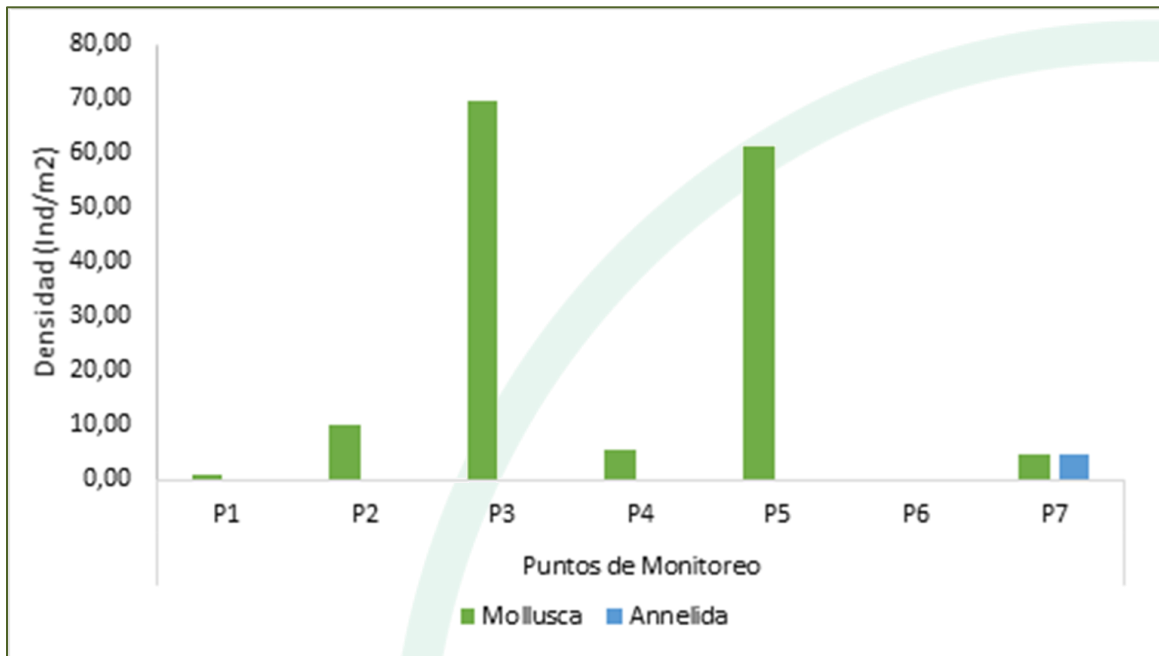


Figura 20. Contribución a la densidad total de las divisiones bentónicas registradas en la ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín fue relativamente baja y sus valores más altos se observaron en el punto P-3, el cual obtuvo el 44% del valor total de la densidad, seguido de P-5 (39%), P-7 (6%), P-2 (6%) y P-4 (4%) (**Figura 21**). Estas diferencias observadas en las densidades obtenidas para cada punto de monitoreo son atribuidas a los aportes diferenciales de la morfoespecie *Mytilus* sp, los cuales fueron altos, pero no homogéneos a nivel espacial, ya que estuvo ausente en los puntos P-1, P-2, P-4 y P-6. Asimismo, *Amnomalocardia* sp que fue reportada solo en P-2, P-3, P-4 y P-5.



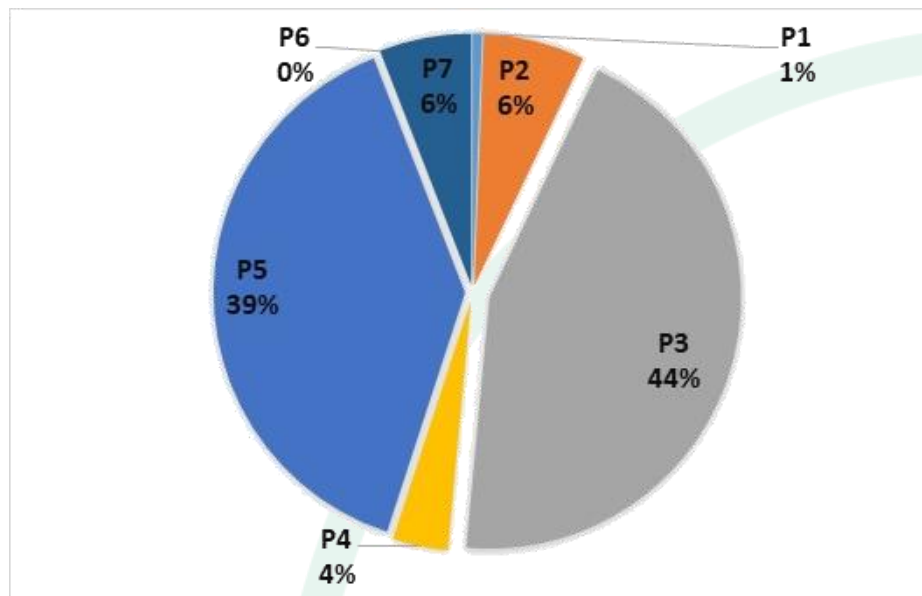


Figura 21. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Las morfoespecies más abundantes fueron *Mytilus* sp., *Neritina* sp. y *Anomalocardia* sp. con densidades máximas de 94.41 Ind/m², 23.15 Ind/m² y 23.15 Ind/m² respectivamente, mientras que las menos representativas fueron *Leukoma* sp. y *Capitellidae* sp. (Tabla 33 y Figura 22). Los bivalvos del género *Mytilus* presenta una amplia distribución en América del sur, se les conoce como mejillones y son capaces de tolerar grandes variaciones de salinidad y temperatura por lo que se le puede encontrar en zonas con condiciones estuarinas como la ciénaga de Mallorquín y en el mar, aunque la ubicación de sus poblaciones también está determinada por factores biológicos como depredación y competencia (Bianchinotti, 2017).



Tabla 33. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín. Parte I.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6		P-7	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Mytilus sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	46.30	59.26	0.00	0.00	38.89	35.19	0.00	0.00	5.56	3.70
<i>Leukoma sp</i>	1.85	0.00	3.70	7.41	0.00	0.00	3.70	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Amnomalocardia sp</i>	0.00	0.00	0.00	5.56	9.26	3.70	0.00	1.85	14.81	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Neritina sp</i>	0.00	0.00	1.85	1.85	7.41	12.96	0.00	0.00	9.26	12.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Capitellidae spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	3.70
Total (Ind/m²)	1.85	0.00	5.56	14.81	62.96	75.93	3.70	7.41	62.96	59.26	0.00	0.00	11.11	7.41

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 34. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Mytilus sp</i>	0.00	0.00	52.78	0.00	37.04	4.63	94.44
<i>Leukoma sp</i>	0.93	5.56	0.00	4.63	0.00	0.00	11.11
<i>Amnomalocardia sp</i>	0.00	2.78	6.48	0.93	12.96	0.00	23.15
<i>Neritina sp</i>	0.00	1.85	10.19	0.00	11.11	0.00	23.15
Capitellidae spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.63	4.63
Total (Ind/m²)	0.93	10.19	69.44	5.56	61.11	9.26	156.48

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a *Neritina*, incluye especies de hábitos detritívoros y algunas ramoneadoras, habitan típicamente en zonas estuarinas, por lo tanto, presentan cierta franja de tolerancia a los cambios en la salinidad (Moreno-Ríos, 2007), De acuerdo con Díaz y Puyana (1994) pueden habitar sobre casi cualquier sustrato duro en aguas de características tranquilas, salobres y estuarinas. De igual manera son capaces de tolerar ambientes por completo salinos y dulces por tiempos moderados. Se destaca además que prefiere colocar sus huevos sobre otras conchas de moluscos, ya sea vivos o muertos, inclusive en sus propios semejantes (Cosel, 1986).

Por su parte, *Amnomalocardia*, según menciona Theede (1973) este género tiene resistencia a factores físicos y químicos, por ejemplo, la deficiencia de oxígeno disuelto y la presencia de sulfuro de hidrógeno; (Barreira; Araújo, 2005) indican que se encuentra relacionado con una gran variedad de hábitats, debido a que presentan una facilidad para adaptarse al medio en el que viven.



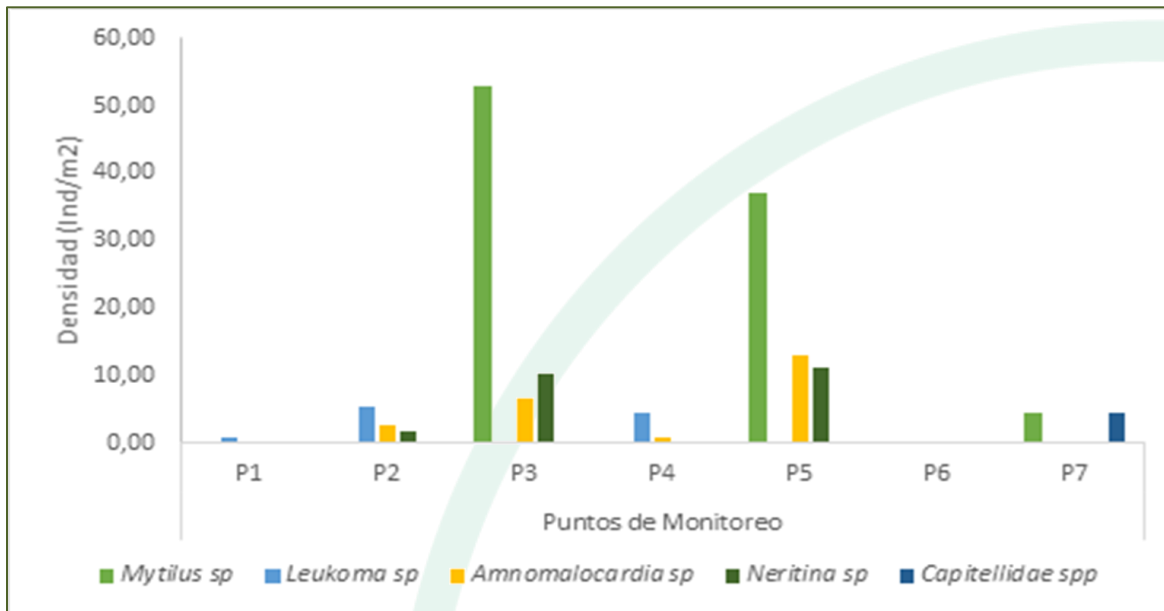


Figura 22. Contribución a la densidad total de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en la ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.1.1.2.5 Ictiofauna

El ensamblaje de peces de la ciénaga de Mallorquín estuvo representado por cuatro especies pertenecientes a cuatro familias y tres órdenes, que en total presentaron una abundancia de 31 individuos, que fue dominada por *Mugil cephalus* con 18 individuos (Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37).

Tabla 35. Clasificación taxonómica, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la ciénaga de mallorquín en diciembre de 2020 a enero de 2021.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Carangidae	<i>Caranx hippos</i>
			Gerreidae	<i>Gerres cinereus</i>
		Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>
		Siluriformes	Ariidae	<i>Notarius bonillai</i>
1	1	3	4	4

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Tabla 36. Abundancia por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P1		P-2		P-4	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Caranx hippos</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gerres cinereus</i>	2.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00
<i>Mugil cephalus</i>	0.00	0.00	2.00	7.00	4.00	5.00
<i>Notarius bonillai</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	3.00
Total	3.00	0.00	6.00	7.00	7.00	8.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 37. Abundancia total por punto de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-4	Total
<i>Caranx hippos</i>	1.00	0.00	0.00	1.00
<i>Gerres cinereus</i>	2.00	4.00	0.00	6.00
<i>Mugil cephalus</i>	0.00	9.00	9.00	18.00
<i>Notarius bonillai</i>	0.00	0.00	6.00	6.00
Total	3.00	13.00	15.00	31.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En la ciénaga de Mallorquín, a pesar que se realizó un esfuerzo de muestreo grande (7 puntos de muestreo con una réplica), el valor del número de especies registrado fue bajo si se compara con lo descrito por Arrieta y de la Rosa (2003), quienes registraron un total de 42 especies. Por tal razón se descartó la posibilidad de realizar análisis ecológicos de la estructura del ensamblaje de peces de la ciénaga.

La composición de las especies registradas concuerda con el carácter de laguna costera de la ciénaga de Mayorquín. *Mugil cephalus* y *Gerres cinereus* son especies eurihalinas, *Caranx hippos* es estuarina-marina y *Notarius bonillai* es estenohalina, pero parece que puede tolerar bajas salinidades (Acero y Betancourt-R, 2006).

La presencia de *Notarius bonillai* en la cuenca baja del Magdalena y la cuenca del Caribe es importante porque es una especie rara, de la que se cuentan muy pocos registros de la parte alta y media de la cuenca del Magdalena, de allí que Maldonado-Ocampo *et al.* (2008) la listaran sólo para



esas partes de la cuenca. Pero, además, su registro en la ciénaga de Mallorquín, es muy importante porque esta especie ha sido descrita como la única especie dulceacuícola de la familia Ariidae, por lo que su registro en un ambiente estuarino constituye un hito para la especie. Observación que debe ser verificada a futuro y contrastada con valores de salinidad del agua.

Notarius bonillai se encuentra categorizada como una especie En Peligro EN (B1, 2cd) en el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (Mojica *et al.*, 2012) y por la IUCN (Acero, 1996), además fue incluida en la Resolución 1912 de 2017 del MADS (MADS, 2017), en donde fue tratada como *Ariopsis sp.*

Caranx hippos es categorizada como Vulnerable en el libro rojo de peces marinos de Colombia (Chasqui *et al.*, 2017) y en la Resolución 1912 de 2017 del MADS (MADS, 2017).

Gerres cinereus es reconocida a nivel internacional como una especie migratoria anfídroma (Riede, 2004) y *Caranx hippos* a nivel nacional como una especie migratoria oceanódroma (Naranjo y Amaya-Espinel, 2009).



6.1.2 Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga de Mallorquín.

Para el cálculo del índice de calidad para ciénagas costeras (ICAcc), se tuvo en cuenta las variables disponibles de calidad de agua en columna de agua y sedimentos. Para este último, solo se consideró la variable hidrobiológica, puesto que no se realizaron análisis de caracterización fisicoquímica del sedimento.

Los resultados de laboratorio para calidad de agua, presentaron en general valores con frecuencia por debajo del límite de cuantificación para una gran parte de las variables estimadas, en particular metales pesados, grasas y aceites, hidrocarburos totales de petróleo, detergentes y nitrógeno amoniacal, dejando incertidumbres en el cálculo de algunos de los subíndices, como el Subíndice de metales pesados, el Subíndice de contaminación residual y el Subíndice de productividad.

Por lo anterior, se hace el análisis de cada subíndice por separado y se explica cada caso, teniendo en cuenta el resultado que se resume en la siguiente **Tabla 38**, en la que se indica el valor del índice ICAcc para la ciénaga y se discrimina cada subíndice que lo compone. Para el caso el índice ICAcc, dio como resultado un valor de 55.8 para toda la ciénaga, fluctuando entre cada sector monitoreado, con valores entre 52.4 y 60.5 (Anexo 6. Subíndice de calidad). Resultados de los análisis de laboratorio), en todo caso indicando calidad ambiental regular en casi toda la extensión de la ciénaga, lo cual estuvo determinado en mayor medida por las condiciones del sedimento. Solo el punto P5 con 60.5, fue indicada con un ambiente de buena calidad (**Figura 23**).



Tabla 38. Valores de los subíndices y del índice ICAcc para la ciénaga de Mallorquín.

Condición	Variable	Resultados Subíndices Dic-2020	
Subl: METALES PESADOS	As	100	93.18
	Cd	95.8	
	Pb	93.17	
	Cu	90.07	
	Hg	85.54	
Subl: COND. DEL MEDIO	OD	77.36	68.62
	pH	91.72	
	SAL	72.82	
	SST	28.08	
Subl: COND SED.	SED MO	-	6.65
	SED pH	-	
	MACROINV D	6.65	
Subl: MO Y MICROBIOL	COLTT	86.43	56.3
	DBO ₅	58.01	
	PSEUDOM	32.46	
Subl: CONT. RESIDUAL	DET	81.71	48.8
	GyA	15.89	
	HTP	-	
Subl: PRODUCTIVIDAD	NH ₃	43.47	75.78
	NO ₃	53.65	
	PO ₄	84.8	
	FITO	99	
ICA _{cc}		55.88	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Llama la atención que la distribución de la calidad ambiental estimada a través del ICAcc, tenga una distribución muy homogénea del status indicador de calidad regular, lo cual estuvo determinado por diferentes factores en cada sector de la ciénaga, que se encuentra flanqueada por múltiples fuentes de disturbio como el arroyo León al oeste, al suroeste con el Barrio La playa, al sureste con el barrio Las Flores y al noreste con la entrada de aguas desde el río Magdalena, que es necesario, pero aporta inevitablemente sedimentos y contaminantes al ecosistema. Sin embargo, al sur de la ciénaga, en el sector del punto P5, se registró una buena calidad ambiental, con relación a la preservación de flora y fauna, justo en el sector, llamado Punta de Félix, que es intermedio y más lejano entre los barrios Las Flores y La Playa, y coincide con una de las coberturas de manglar mejor conservadas, sugiriendo gran importancia en la protección de esta vegetación como parte de los



mecanismos del ecosistema para su autodepuración y para la conservación de procesos biológicos, que tienen que ver con el intercambio de materia y energía entre el manglar y el sistema acuático.

Los manglares, son importantes de diversas formas, como hábitat para muchas especies, como zona de amortiguamiento contra inundaciones, como refugio de fauna regional y migratoria, y como biofiltro entre otros aspectos. Por su función de biofiltro, son considerados como los “riñones” del medio ambiente, puesto que remueven cantidades importantes de nutrientes procedentes de las descargas antrópicas, urbanas y agrícolas, manteniendo de esta forma, con ayuda de la dilución con el agua marina, la calidad del agua de las lagunas costeras (Flores *et al*, 2007).

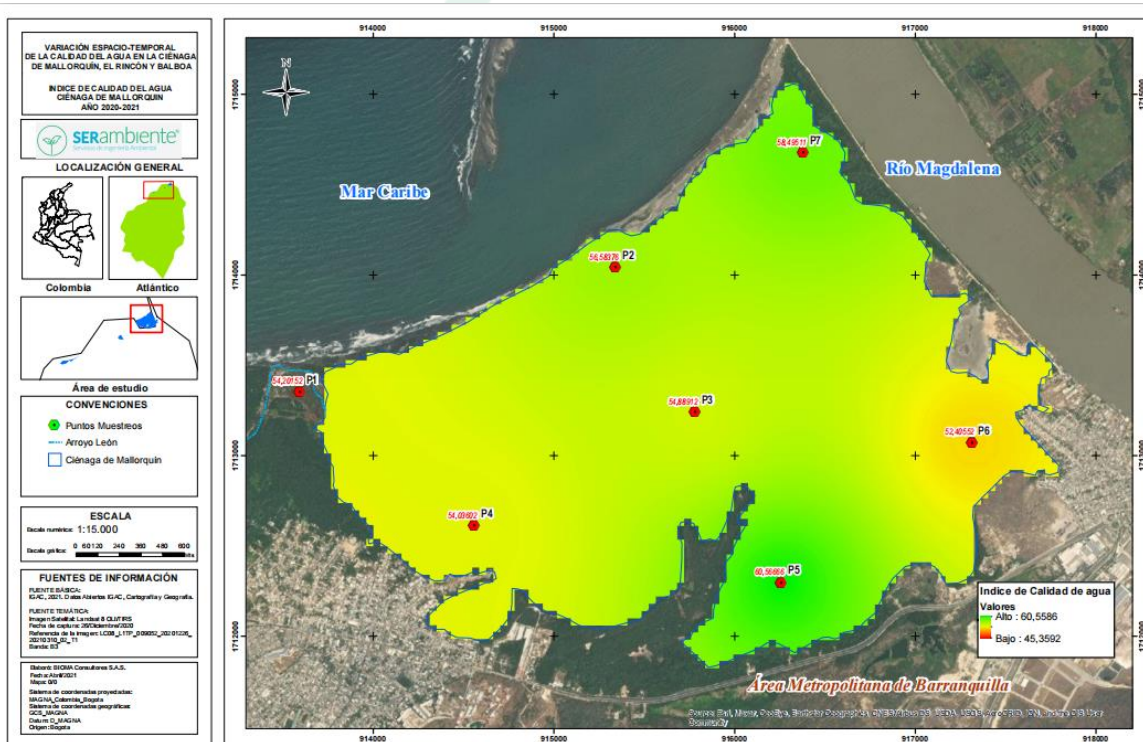


Figura 23. Mapa de variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga de Mallorcaín.
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



6.3.3.5. Subíndice Metales Pesados.

El subíndice metales pesados presentó alguna variabilidad para el plomo y para el cobre, mientras que el arsénico, cadmio y mercurio registraron valores por debajo del límite de cuantificación, cuya magnitud se empleó para el cálculo del indicador, teniendo en cuenta que este límite está por debajo de las referencias normativas y bibliográficas en evaluaciones de calidad del agua para preservación de flora y fauna. El valor del índice tuvo una variación entre las estaciones de 92.59 y 93.58 (Anexo 6. Subíndices de calidad), con un promedio de 93.18, lo que se interpreta como muy buena calidad con relación a estas variables, al menos en lo que tiene que ver con la columna de agua, puesto que los sedimentos podrían estar atrapando metales pesados junto con la materia orgánica formando fracciones inmóviles no biodisponibles, difíciles de liberarse a la columna de agua, como sucede en algunos ecosistemas de manglar, donde los metales se precipitan enlazándose a sulfuros, materia orgánica meteorizada y minerales secundarios (Parra y Espinosa, 2008).

6.3.3.6. Subíndice Condiciones del medio.

El subíndice condiciones del medio conjuga algunas de las variables indicadoras más importantes como el oxígeno disuelto, pH, Salinidad y Sólidos Suspendidos Totales. Estas variables se relacionan con características ambientales determinantes en la sobrevivencia de los organismos acuáticos, lo cual dependerá de sus capacidades fisiológicas y adaptaciones a dichas características. Estos parámetros son algunos de los que registraron mayor variabilidad y se relacionan con la heterogeneidad del ecosistema; así mismo sus magnitudes fueron interpretadas de acuerdo con las curvas de calidad y agrupadas en este subíndice arrojando valores entre 56.83 y 78.90, con un promedio de 68.62 lo que se interpreta como una calidad buena, es decir, que existen condiciones apropiadas para la flora y fauna presente.

Los sólidos suspendidos totales (SST), aportaron significativamente al índice, por presentar los valores más bajos de acuerdo con su curva de calidad, con estimaciones que estuvieron en la escala



para calidad muy baja, en particular para las estaciones P4 (0) y P6 (0) que se encuentran en el sector de influencia del Barrio La Playa y Las Flores respectivamente. No obstante, las otras variables y la ponderación de algunas en particular el oxígeno disuelto, con un peso del 40%, empujaron la expresión final del índice de manera favorable.

6.3.3.7. Subíndice Condiciones del sedimento.

Este subíndice se calcula con base en las magnitudes de variables fisicoquímicas (MO y pH) y biológicas (Diversidad de macroinvertebrados), no obstante, en el monitoreo no se tuvo disponibilidad de las variables MO y pH, por lo que todo el peso del subíndice fue soportado por la variable hidrobiológica. Esta variable entonces, registró valores del subíndice entre cero (0) y 17.16, con un promedio de 6.65, indicador de muy mala calidad. Se debe aclarar que los valores de cero corresponden a los casos en los que la diversidad, a partir del índice de Shannon, resultó en valores de cero, asociados a muestras con una sola especie.

La escasa diversidad de invertebrados encontrada en los muestreos, puede estar asociada al tamaño de la muestra empleado. Sin embargo, el resultado, puede estar asociado a cambios históricos de la comunidad macro bentónica en la ciénaga debido a las condiciones cambiantes en su hidrodinámica, la calidad y cantidad de sedimentos, la salinidad, los contaminantes y otros aspectos que causan efectos agudos y crónicos que motivan cambios estructurales importantes en esta comunidad dependiente del fondo lagunar. Por ejemplo, en la Ciénaga Grande de Santa Marta, hay evidencias de que los cambios en la salinidad y la sedimentación han provocado cambios en la estructura de la comunidad, pasando de más de 30 especies para grupos como los moluscos, a solo 4 especies y en mucha menor densidad, en un lapso de tiempo de cerca de 20 años (Márquez, 2005).

6.3.3.8. Subíndice Materia orgánica y condiciones microbiológicas.

El subíndice de materia orgánica y condiciones microbiológicas es uno de los más importantes y útiles para definir el estado de calidad del agua del sistema pues se relaciona con las condiciones sanitarias que lo afectan, y que son determinadas en buena medida por las actividades antrópicas,



por lo que resulta en un buen “termómetro” de la gestión que se hace sobre el tratamiento de aguas residuales y la protección del ambiente. Igualmente resulta en un buen indicador de seguimiento de la capacidad de autodepuración y la sensibilidad del ecosistema para soportar actividades de aprovechamiento. Este Subíndice tuvo en promedio para diciembre de 2020, un valor de 56.3, que se relaciona con aguas de calidad regular, en la que las condiciones son parcialmente favorables para la sobrevivencia de los organismos, con algunas variables en el límite de calidad.

De las variables que componen el índice, la concentración de *Pseudomonas aeruginosa*, tuvo la expresión más desfavorable, con un promedio de 32.46 en la escala, indicando muy mala calidad, con valores del índice que llegaron a cero (0) en la estación P3 ubicada en el sector central de la ciénaga, a lo que le siguieron valores indicadores de mala calidad alrededor de 20 en el índice (Anexo 6. Subíndices de calidad. Materia orgánica y condiciones microbiológicas), en las estaciones P2 y P7 que corresponden al sector cercano a la barra de arena, y en el sector de influencia del box coulvert que conducen agua desde el río Magdalena. Llama la atención que los sectores de mayor concentración de *P. aeruginosa*, coincide con las aguas de intercambio con el río y con el mar, teniendo en cuenta que la boca de la barra se encontraba abierta al momento de la toma de muestras. En contraste, el punto P5 presentó para este componente microbiológico, un valor en el índice de 62.5, indicador de buena calidad.

En cuanto a la DBO₅, presentó valores muy heterogéneos en el índice, desde mala calidad en el punto P1 asociado a la desembocadura del arroyo León, pasando por estaciones con calidad regular en los puntos P4, P5 y P7 asociados respectivamente a los sectores cercanos al barrio La Playa, el sector punta de Felix donde está una de las zonas de manglar mejor conservadas, y el sector de mezcla de aguas del río Magdalena conducidas por los box coulvert, hasta sectores con calidad buena, asociados a las estaciones P2, P3 y P6, que corresponden respectivamente, al sector de la barra (abierto al momento de muestreo), sector central y cerca al barrio Las Flores.

Finalmente, la variable microbiológica, coliformes termotolerantes, registró valores del índice indicadores de muy buena calidad, excepto en el punto P6, que con un valor de 17 indica muy malas



condiciones sanitarias, posiblemente derivadas del aporte de aguas servidas sin tratamiento derivadas del barrio Las Flores.

6.3.3.9. Subíndice Contaminación Residual.

Este subíndice incluye las variables detergentes, Grasas y aceites e hidrocarburos totales de petróleo (HTP). Aunque las tres variables presentaron valores para todas las estaciones por debajo del límite de cuantificación, solo se tuvo en cuenta este límite como cifra para el cálculo, utilizando los detergentes y las grasas y aceites, pues el límite de cuantificación es bajo o coincide con lo establecido en los objetivos de calidad (Resolución 000258 de 2011 de la CRA). Así mismo se prescindió de HTP, porque el límite (10 mg/L) es muy elevado con respecto a todas las referencias de calidad del agua. Sin embargo, con estos valores, el resultado del subíndice fue de 48.8 indicando una calidad regular, lo cual estuvo determinado por la cercanía de los valores, en particular grasas y aceites, al estar cerca del límite establecido en los objetivos de calidad para este cuerpo de agua.

6.3.3.10. Subíndice Productividad.

El subíndice de productividad, incluye variables asociadas a los procesos fotosintéticos realizado por los organismos autótrofos, para la síntesis de la materia orgánica a partir de la energía lumínica. Los valores del subíndice reflejan el estado de productividad del sistema, en particular lo que tiene que ver con los productores primarios fitoplanctónicos y la disponibilidad de nutrientes para la síntesis orgánica, en particular iones de nitrógeno y fósforo. Este subíndice, registró un promedio de 75.78 indicando una calidad buena para a ciénaga de Mallorquín. Este promedio estuvo determinado por las bajas concentraciones en la densidad fitoplanctónica, lo que se presentó como evidencia del intercambio activo con agua del mar (menos productiva), siendo tal conectividad determinante en la salud de los sistemas lagunares costeros y en la calidad de sus aguas. Sin embargo, los indicadores asociados a los nutrientes nitrogenados, mostraron valores intermedios, alrededor de 40 (Anexo 6. Subíndices de calidad.) indicando calidad regular para NH_3 y NO_3 . En el caso de NH_3 , se empleó el límite de cuantificación que resultó muy alto con respecto a las referencias de calidad del agua,



mientras que NO_3 registró magnitudes intermedias, sugiriendo fuentes de nitrógeno importantes, lo cual es de esperarse de la descomposición de la materia orgánica y del de la nitrificación en el ciclo del nitrógeno.

Cabe recordar que las lagunas costeras son altamente productivas de manera natural y está relacionada con los ecosistemas de manglar encontrándose fuertemente vinculados funcionalmente. Los manglares pueden ser hasta 20 veces más productivos que el mar, y hasta cinco veces superior a la productividad en las zonas de surgencia (Flores *et al.* 2007). Esta productividad fluye hacia los sistemas lagunares adyacentes en forma de materia orgánica particulada por efecto de las mareas, aumentando la producción primaria, que en gran parte es exportada hacia la zona costera adyacente.

6.1.3 Análisis por sensores remotos.

De acuerdo con el análisis sobre antecedentes en el uso de sensores remotos para determinación de calidad de aguas, se escogieron como punto de partida, las variables pH, oxígeno disuelto, DBO_5 , sólidos suspendidos totales y concentración de fitoplancton, teniendo como antecedente los trabajos de Gitelson *et al.* (2000), Yupeng (2004), Hernandez y Hernandez (2013), Gómez y Dalence (2014), Aiman (2014), Perdomo (2015), Kiefer (2015), Berdugo y Reales (2016), Amado *et al.* (2019), Sebastián *et al.* (2019), Kim *et al.* (2020), entre otros.

La reflectancia capturada con la banda 6 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 del potencial de hidrógeno en la ciénaga de Mallorquín es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.01119 \mu - 0.038437 \mu$), presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 683 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de pH en el cuerpo de agua son muy similares en la totalidad de su extensión. Para la muestra de 2020, la reflectancia capturada con la misma banda permanece y se mantiene muy baja en comparación con la del año 2018, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.009673 \mu - 0.04193 \mu$), presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 649 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de pH en el cuerpo de



agua son muy similares según su distribución espacial, sin embargo, existen algunas variaciones de valores atípicos debido a la distorsión espectral que se presenta por las nubes capturas en la toma de imagen. La variación espacial del pH en la ciénaga de Mallorquín entre los años 2018 al 2020 se presenta como estable en la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 son similares al año 2020 (**Figura 25**), esto en términos radiométricos sobre un porcentaje aproximado del 10% influyen aspectos climáticos y las correcciones atmosféricas relacionadas con la imagen satelital, sin embargo, los valores tomados en campo evidencia la estabilidad en las zonas del cuerpo de agua, así mismo, las áreas donde se observan aumento de reflectancia son errores causados por la nubosidad presente en la captura de la imagen satelital (**Figura 24, Figura 25 y Figura 26**).

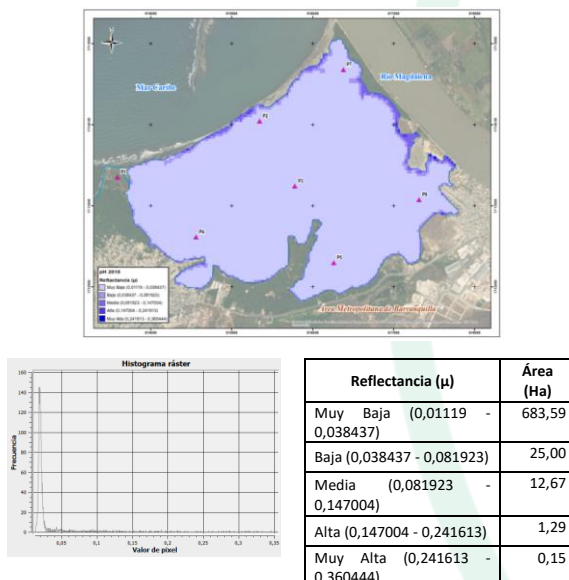


Figura 24. Reflectancia del potencial de hidrogeniones, ciénaga de Mallorquín, 2018

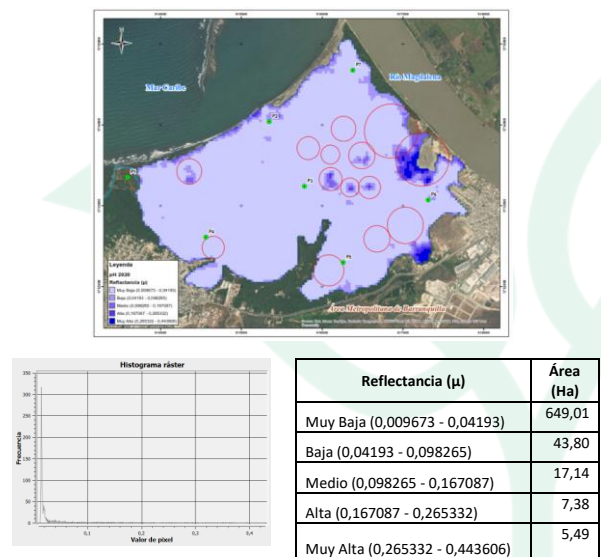


Figura 25. Reflectancia del potencial de hidrogeniones, ciénaga de Mallorquín, 2020

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



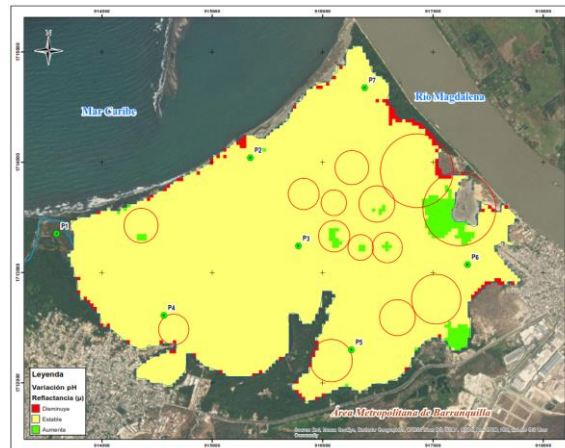
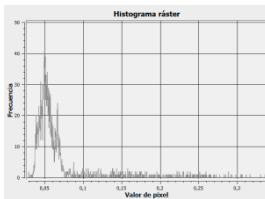
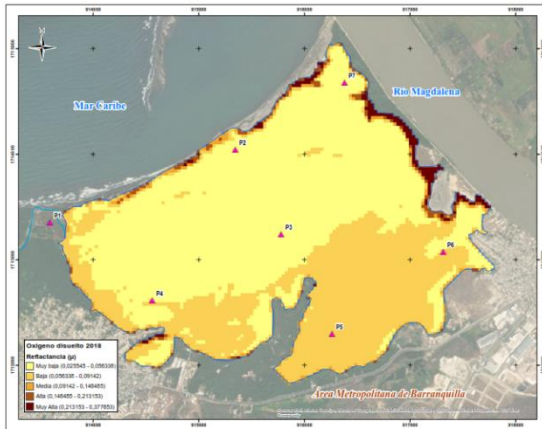


Figura 26. Variación espacial del pH en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

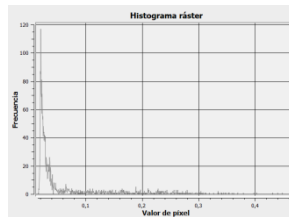
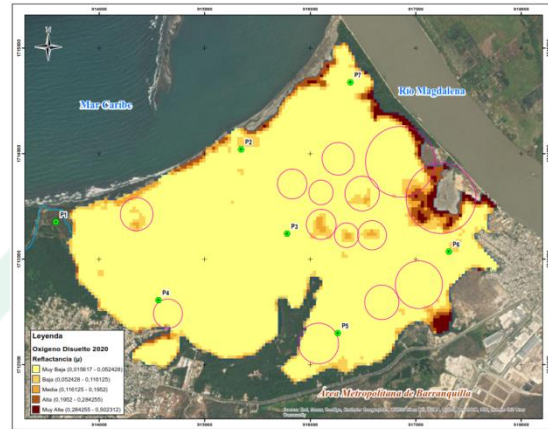
Para la variable oxígeno disuelto, la reflectancia capturada con la banda 5 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 se encuentra entre muy baja y baja, dado que está dentro del rango espectral ($0.025545 \mu - 0.09142 \mu$), presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 679 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de *Oxígeno Disuelto* en el cuerpo de agua se encuentran distribuidas algunos valores bajos de reflectancia desde el centro de la ciénaga en dirección a la barra de arena y los valores con un poco de variación positiva predominantemente hacia el sur, alrededor del sector llamado Punta de Felix.

La variación espacial del Oxígeno Disuelto (OD) de la ciénaga de Mallorquín entre los años 2018 al 2020 se presenta de manera variable en la superficie, en donde las áreas que disminuyeron en concentración entre los dos periodos son las próximas a áreas donde se encuentran la vegetación más cercana y al área poblada de Barranquilla; las áreas que permanecieron estables se presentan en más del 50% de la superficie del cuerpo de agua, demostrando que se mantienen valores similares de concentración de OD (**Figura 27, Figura 28 y Figura 29**).





Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy baja (0,025545 - 0,056338)	438,84
Baja (0,056338 - 0,09142)	241,81
Media (0,09142 - 0,146485)	17,15
Alta (0,146485 - 0,213153)	12,25



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,015617 - 0,052428)	627,60
Baja (0,052428 - 0,116125)	40,04
Media (0,116125 - 0,1952)	23,37
Alta (0,1952 - 0,284255)	19,08
Muy Alta (0,284255 - 0,502412)	12,65

Figura 27. Reflectancia del oxígeno disuelto, ciénaga de Mallorquín, 2018.

Figura 28. Reflectancia del oxígeno disuelto, ciénaga de Mallorquín, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

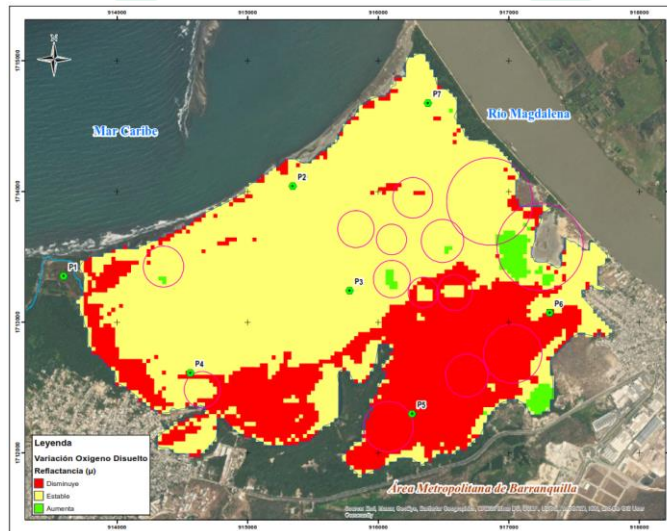


Figura 29. Variación espacial del OD en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020.

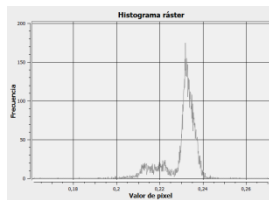
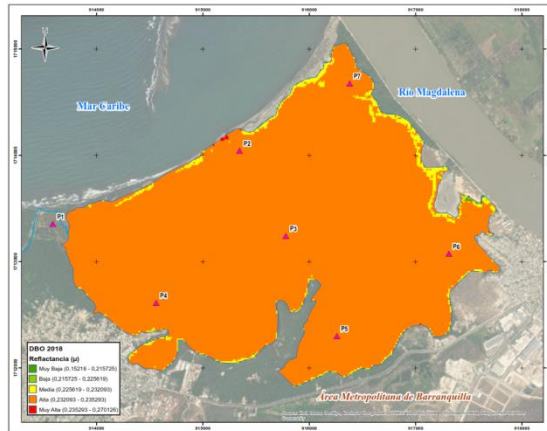
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



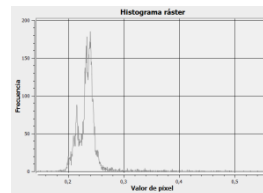
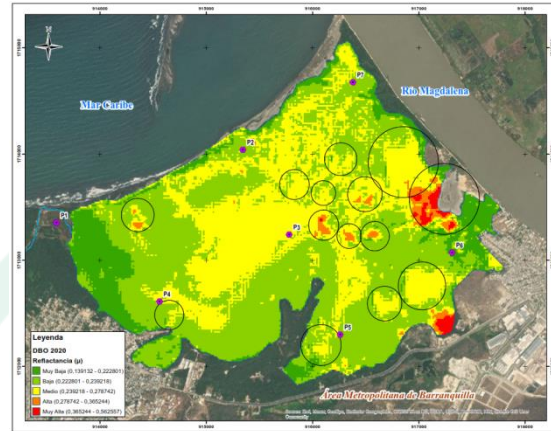
La reflectancia capturada con la banda 2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en la ciénaga de Mallorquín es alta, dado que se encuentran dentro del rango espectral (0.232093 μ - 0.235293 μ), presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 702 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de DBO₅ en el cuerpo de agua son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según su distribución espacial. Con relación al 2020, la reflectancia capturada es baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral (0.222801 μ - 0.239218 μ), presentando una distribución heterogénea con un área aproximada de 362 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, no obstante, presenta reflectancia media entre (0.239218 μ - 0.278742 μ) concentrada en el centro de la ciénaga y la reflectancia muy baja (0.139132 μ - 0.222801 μ) con un área aproximada de 83 hectáreas en los extremos superiores e inferiores de Mallorquín. Cabe resaltar que existen algunas variaciones de valores atípicos debido a la distorsión espectral que se presenta por las nubes capturas en la toma de imagen.

La variación espacial de la DBO₅ de la ciénaga de mallorquín entre los años 2018 al 2020 se presenta como disminución de la variable en casi la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 fueron mayores que los del 2020, esto en términos radiométricos sobre un porcentaje aproximado del 10% influyen aspectos climáticos y las correcciones atmosféricas relacionadas con la imagen satelital. Los valores tomados en campo evidencian la variabilidad y la disminución en ciertas zonas del cuerpo de agua, asimismo, las áreas donde se observa estabilidad de reflectancia son errores causados por la nubosidad presente en la captura de la imagen satelital (**Figura 30, Figura 31 y Figura 32**).





Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,15216 -	0,20
Baja (0,215725 -	0,32
Media	19,56
Alta (0,232093 -	702,48
Muy Alta (0,235293 -	0,31



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,139132 -	83,83
Baja (0,222801 -	362,55
Medio	257,45
Alta (0,278742 -	12,87
Muy Alta (0,365244 -	6,17

Figura 30. Reflectancia de DBO₅, ciénaga de Mallorquín, 2018.

Figura 31. Reflectancia de DBO₅, ciénaga de Mallorquín, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

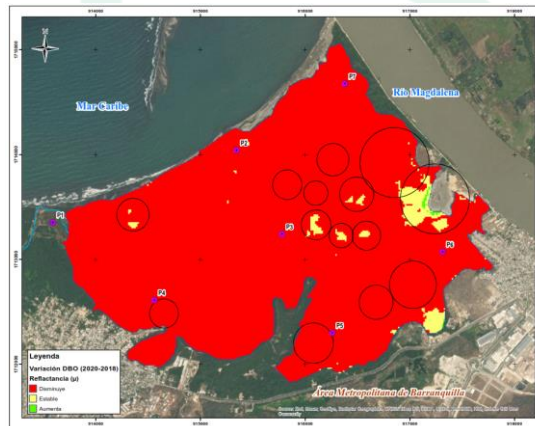


Figura 32. Variación espacial de DBO₅ en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020.

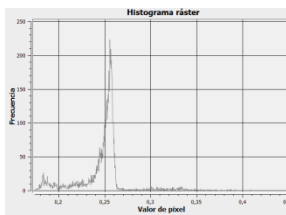
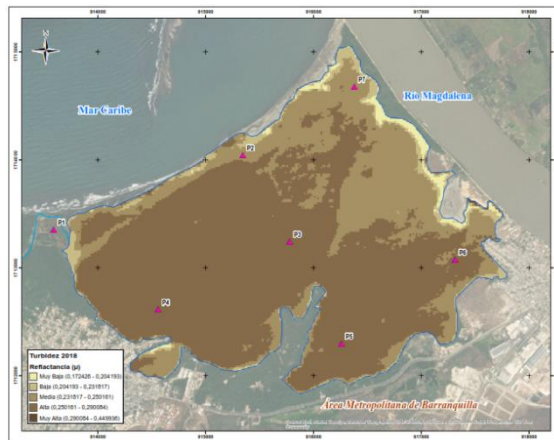
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020).



La reflectancia capturada con la banda 4 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de SST en la ciénaga de Mallorquín es alta, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.250161 \mu - 0.290084 \mu$), presentando una distribución variada con un área aproximada de 486 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua colindante con el área metropolitana de Barranquilla, así mismo, la firma espectral entre ($0.231817 \mu - 0.250161 \mu$) categorizada como reflectancia media presenta 192 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua colindando con el mar Caribe y el río Magdalena, es decir, que los valores de SST en el cuerpo de agua dependen de la movilidad de los caudales causados por los distintos agentes externos. Para 2020, la reflectancia capturada es baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.188792\mu - 0.21507\mu$), presentando una distribución variada con un área aproximada de 348 hectáreas en la superficie circundante del cuerpo de agua, así mismo, la firma espectral entre ($0.143976\mu - 0.188792\mu$) categorizada como reflectancia muy baja presenta 230 hectáreas en el centro de la superficie del cuerpo de agua.

La variación espacial de SST en la ciénaga de Mallorquín entre los años 2018 al 2020 se presenta como una disminución en casi la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 fueron en general, mayores que los del 2020, esto en términos radiométricos sobre un porcentaje aproximado del 10% influyen aspectos climáticos y las correcciones atmosféricas relacionadas con la imagen satelital. Los valores de los análisis para la variable SST evidencian la variabilidad y la disminución en ciertas zonas del cuerpo de agua, asimismo, las áreas donde se observan estabilidad de reflectancia están asociadas a la proximidad con áreas de vegetación y corrientes de aguas que se mantienen con SST bajos debido a la dinámica hidráulica del cuerpo de agua, del mismo modo, se observan otras áreas con estabilidad de reflectancia debido a los errores causados por la nubosidad presente en la captura de la imagen satelital y sectores próximos a vegetación vigorosa (**Figura 33, Figura 34 y Figura 35**).

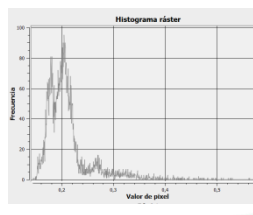
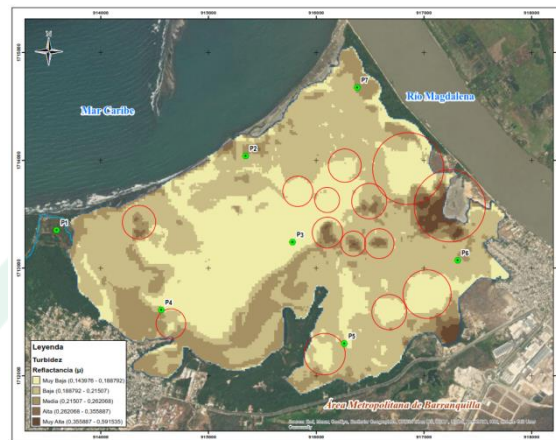




Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,172426 - 0,204193)	12,58
Baja (0,204193 - 0,231817)	30,10
Media (0,231817 - 0,250161)	192,8
Alta (0,250161 - 0,290084)	486,9
Muy Alta (0,290084 - 0,449936)	0,28

Figura 33. Reflectancia de SST, ciénaga de Mallorquín, 2018.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,143976 - 0,188792)	230,57
Baja (0,188792 - 0,21507)	348,69
Media (0,21507 - 0,262068)	119,76
Alta (0,262068 - 0,355887)	14,79
Muy Alta (0,355887 - 0,591535)	9,02

Figura 34. Reflectancia de SST, ciénaga de Mallorquín, 2020.

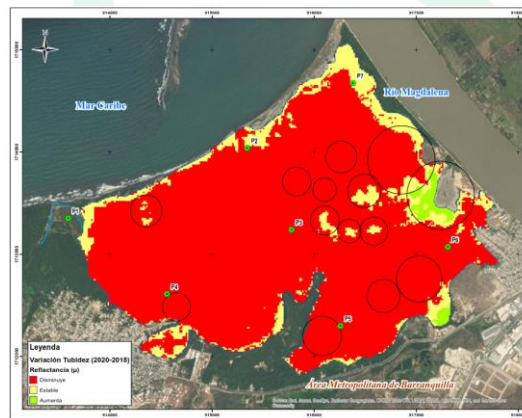


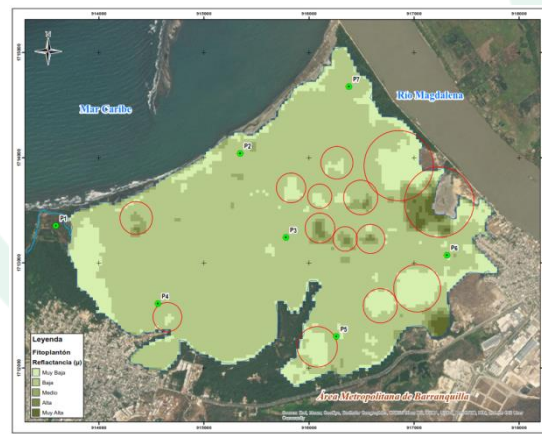
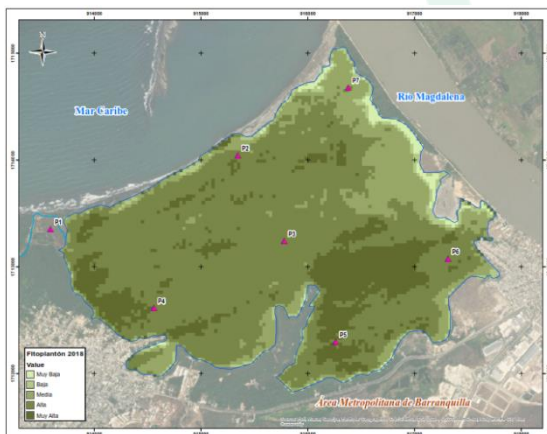
Figura 35. Variación espacial de SST en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020.

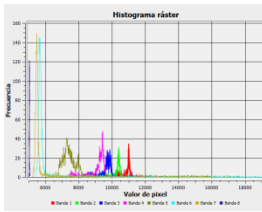
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



Finalmente, la reflectancia capturada con combinación de las bandas 5, 6 y 2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la densidad de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Mallorquín es alta, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.268549\mu - 0.349510\mu$), presentando una distribución variada con un área aproximada de 453 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, el resto de la reflectancia se encuentran en muy alta concentraciones en la parte extrema inferior y media en la zona extrema superior de Mallorquín. Para 2020, La reflectancia capturada de fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín es baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.231677\mu - 0.242359\mu$), presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 572 hectáreas en la superficie en la parcialidad del cuerpo de agua, no obstante, la reflectancia muy baja ($0.205796\mu - 0.231677\mu$) abarca 110 hectáreas en la ciénaga.

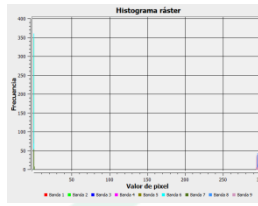
La variación espacial del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín entre los años 2018 al 2020 se presenta como una disminución en casi la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 fueron mayores que los del 2020, esto en términos radiométricos sobre un porcentaje aproximado del 10% influyen aspectos climáticos y las correcciones atmosféricas relacionadas con la imagen satelital. Los valores de los análisis evidencian la variabilidad y la disminución en ciertas zonas del cuerpo de agua, así mismo, las áreas donde se observa estabilidad de reflectancia son errores causados por la nubosidad presente en la captura de la imagen satelital y sectores próximos a vegetación vigorosa (**Figura 36, Figura 37 y Figura 38**).





Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,195259 - 0,222454)	12,54
Baja (0,222454 - 0,24047)	22,58
Medio (0,24047 - 0,268549)	113,6
Alta (0,268549 - 0,34951)	453,8
Muy Alta (0,34951 - 0,561323)	120,2

**Figura 36. Reflectancia de fitoplancton (densidad),
 ciénaga de Mallorquín, 2018.**



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,205796 - 0,231677)	110,15
Baja (0,231677 - 0,242359)	572,45
Media (0,242359 - 0,250457)	24,22
Alta (0,250457 - 0,271112)	11,09
Muy Alta (0,271112 - 0,338248)	5,11

**Figura 37. Reflectancia de fitoplancton (densidad),
 ciénaga de Mallorquín, 2020.**

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

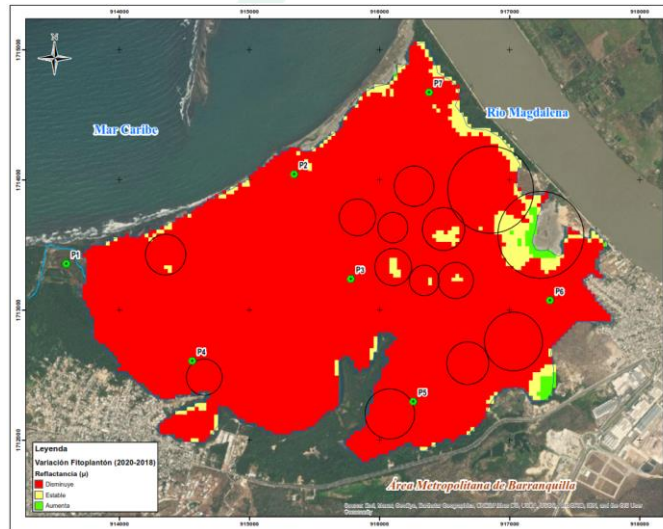


Figura 38. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Mallorquín, 2018-2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

6.1.4 Prueba y modelo estadístico.

Para esta ciénaga se validó la existencia de correlaciones mediante la prueba de Pearson, empleando tanto los datos de cada período por separado (2018 y 2020), así como con el conjunto de datos, tanto para los datos en bruto como para los datos obtenidos a partir de la curva de calidad de cada variable. Se escogieron las variables SST, DBO₅, OD, pH y Fitoplancton (densidad), teniendo en cuenta los antecedentes que existen sobre el uso de firmas espectrales para el análisis mediante sensores remotos para determinación de calidad del agua. Otras variables no fueron empleadas,



debido a la falta de variabilidad en los datos, a la escasez de antecedentes y a la poca evidencia teórica sobre la relación de esas variables con análisis multispectrales. De acuerdo con los resultados de las pruebas, solo se encontró una correlación significativa (*valor P*<0,005) para las variables oxígeno disuelto, fitoplancton y el subíndice para fitoplancton (**Tabla 39**). Cabe aclarar que la correlación encontrada con el índice es negativa (inversa) lo cual se relaciona con la escala de expresión del índice, puesto que, a mayor concentración de fitoplancton, menor es el valor en la escala y mayor es la reflectancia.

Tabla 39. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga de Mallorquín.

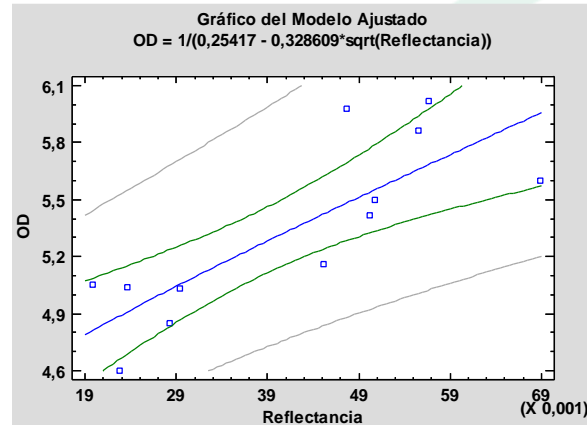
PERIODO Prueba Estadística	REFLECTANCIA / combinada		REFLECTANCIA/2018		REFLECTANCIA/2020	
	PEARSON	Valor-P	PEARSON	Valor-P	PEARSON	Valor-P
SST	0.2234	0.4853	0.5502	0.258	-0.4978	0.3149
Subl SST	-0.0845	0.7941	-0.7828	0.0841	0.2712	0.6032
DBO ₅	0.2253	0.461	0.0202	0.9696	0.3052	0.5564
Subl DBO ₅	-0.3865	0.2145	-0.0909	0.864	-0.448	0.373
OD	0.809	0.0014	-0.0624	0.9066	0.4783	0.3373
Subl OD	0.4702	0.1229	-0.0286	0.9571	0.4764	0.3395
pH	-0.01129	0.9707	0.2125	0.6861	-0.5841	0.2235
Subl pH	-0.1153	0.7212	-0.2011	0.7025	0.571	0.2366
Fitoplancton	0.9261	0	0.0998	0.8508	-0.3635	0.4788
Subl Fito	-0.9745	0	-0.0925	0.8616	0.2693	0.6058

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

La correlación es relativamente fuerte entre la reflectancia evaluada y la concentración de oxígeno disuelto, pero es más fuerte para con relación a la concentración de fitoplancton, lo cual sugiere la posibilidad de emplear la firma espectral, como herramienta para la evaluación remota y en tiempo real de estas características relacionadas con las condiciones del medio y la productividad. Para poder hacer esto, se requiere tener un modelo estadístico que permita, a partir de las imágenes satelitales y la firma espectral encontrada, realizar pronósticos de tales condiciones, independientes de la obtención de muestras en campo. Por esto, se realizaron regresiones, con el objeto de encontrar el modelo numérico que mejor se ajuste a los datos, con una significancia estadística. Para el caso del oxígeno disuelto, puesto que el valor *P*, es menor que 0.05, se considera que existe una relación estadísticamente significativa entre el OD y la reflectancia con un nivel de la confianza



del 95% y el modelo (**Figura 39**), explicaría el 68.09% de la variabilidad con una correlación que se considera moderadamente fuerte.



Análisis de varianza. Valor P : 0.001

Coefficiente de correlación: -0.82

R^2 : 68.09

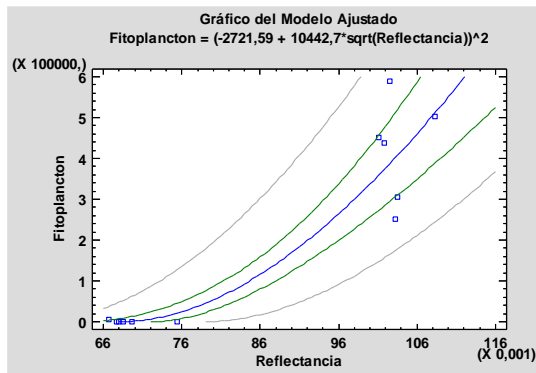
$$\text{Ecuación: } OD = \frac{1}{0,25417 - 0,328609 \cdot \sqrt{\text{Ref}}}$$

Figura 39. Gráfico del modelo ajustado para oxígeno disuelto (OD). Ciénaga de Mallorcaín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Para el caso del fitoplancton, se muestran a continuación los modelos que mejor describen la correlación entre la variable y su reflectancia, que con un nivel de confianza del 95% ($P < 0.005$) muestran una correlación significativa y relativamente fuerte. Los modelos, seleccionados representan el 93.39% y el 95.44% de la variabilidad para Fitoplancton (densidad) y el Subl Fitoplancton (**Figura 40, Figura 41**).





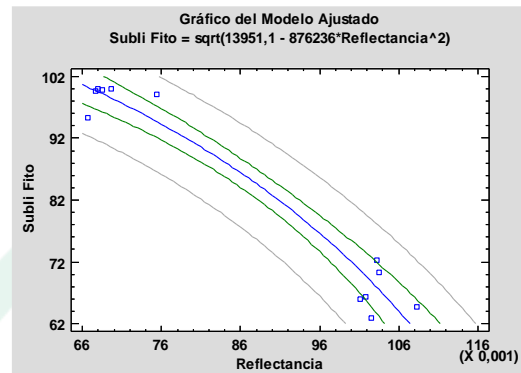
Análisis de varianza. Valor P : 0.000

Coefficiente de correlación: 0.96

R^2 : 93.39

Ecuación: $\text{Fitoplancton} \left(\frac{\text{ind}}{L}\right) = (-2721.59 + 10442.7 \cdot \sqrt{\text{ref}})^2$

Figura 40. Gráfico del modelo ajustado para fitoplancton (densidad). Ciénaga de Mallorquín.



Análisis de varianza. Valor P : 0.000

Coefficiente de correlación: -0.95.44

R^2 : -0.97

Ecuación: $\text{SubliFito} = \sqrt{(13951.1 - 873236 \cdot \text{ref}^2)}$

Figura 41. Gráfico del modelo ajustado para Subli fitoplancton. Ciénaga de Mallorquín.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020).



6.2 Ciénaga El Rincón

Esta ciénaga, ubicada en el municipio de Puerto Colombia, tiene una profundidad alrededor de 3 metros y una extensión de 38 hectáreas. Se encuentra ubicada dentro de la cuenca hidrográfica de la ciénaga de Mallorquín, en la parte baja del Arroyo León. Cuenta con una subcuenca que aporta caudales de escorrentía superficial, y se encuentra conectada con el cauce del Arroyo León, que aporta considerablemente en temporadas de alto nivel y caudal. Aledaña a esta ciénaga se encuentra una unidad continua que forma un plano alrededor del cuerpo de agua, prolongándose por el bosque ripario, conectándose con el complejo de manglares del plano inundable de la ciénaga de mallorquín y Manatías. Cumple una función hidráulica vital para el funcionamiento de todo el ecosistema hidrográfico, caracterizado por la amortiguación hidráulica que le brinda a la ciénaga de Mallorquín ante los aportes de los arroyos Grande y León. Entre los aspectos más sobresalientes de su deterioro están la modificación de regímenes hidráulicos, la contaminación físico-química, la sobre explotación de recursos biológicos y la apropiación indebida del sistema cenagoso-riberaño (CRA, 2015).

6.2.1 Caracterización.

6.2.1.1. Variables Físicoquímicas.

El pH en la ciénaga varió entre 7,10 y 9,24 UpH, registrándose los mayores valores en P3 y P4 con 8,12 y 9,24 UpH respectivamente, y el menor en P1. El menor valor de pH estaría relacionado con la entrada de aguas tratadas del arroyo León, su principal afluente. Los valores registrados cumplen en su mayoría con el objetivo de calidad establecido por la CRA (7,0 a 9,0 UpH) y el criterio de calidad para preservación de flora y fauna de aguas cálidas dulces (4,5 a 9,0 UpH) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República, al igual que registros de años anteriores, como los que se presentan en la **Figura 42 A**.

En cuanto a P4, ubicado en el arroyo León, el valor de pH es más alto que los registrados en la ciénaga, quizá por el arrastre de sales carbonatadas de origen natural, que pueden encontrarse en



mayor o menor concentración dependiendo del volumen de la corriente de agua y la actividad fotosintética de microalgas y macrófitas que remueven el CO₂. En todo caso, los valores registrados, tanto en la ciénaga como en el arroyo, de acuerdo con Sierra-Ramírez (2011), a pesar de su concentración pueden ser habitas ideales para poblaciones de peces (6,5 a 9,0 UpH).

La ciénaga El Rincón, presenta una alta mineralización. Según Roldán y Ramírez (2008), los valores habituales de conductividad son menores de 50 µS/cm en aguas continentales de bajo contenido iónico, mientras que aguas fuertemente mineralizadas pueden presentar valores entre 500 y 2000 µS/cm. Sin embargo, en este cuerpo de agua la conductividad registró concentraciones entre 412 y 571 µS/cm (**Figura 42 B**), que para Cirujano (1995).

Con respecto a monitoreos anteriores, se observa que los valores de conductividad en la ciénaga siempre han sido altos, sobrepasado los 4000 µS/cm, lo cual posiblemente está relacionado con la geología del terreno sobre el cual está ubicado la ciénaga y que le aporta gran parte de los elementos que aumentan su mineralización.

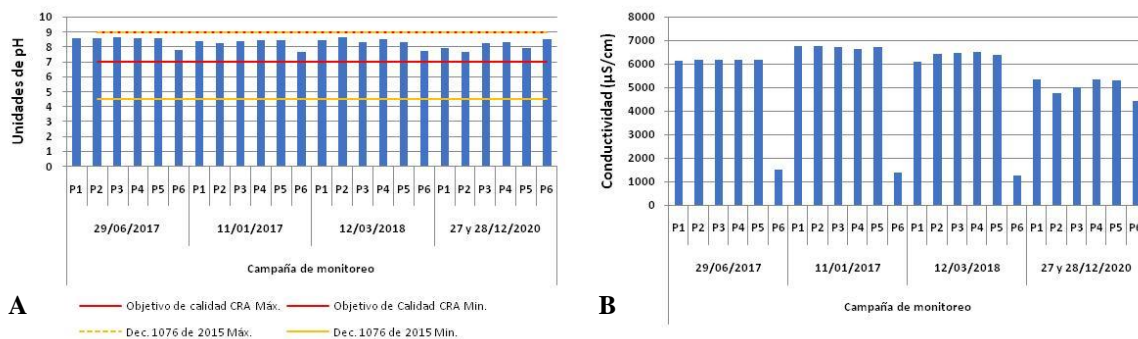


Figura 42. Variación del pH y la conductividad en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

El oxígeno disuelto (OD) presentó variaciones entre puntos de monitoreo inferiores a 1 mg/L, registrando su valor más alto en P3 con 5.61 mg/L y el menor en P5 con 3.96 mg/L. Estos resultados cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (>3 mg/L) y



el criterio de calidad para aguas cálidas dulces (4 mg/L) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República (**Figura 43 A**). Se acepta que un valor aproximado a 4 mg/L es aceptable para la sobrevivencia de la mayoría de los organismos acuáticos (Sawyer y McCarty, 1978), sin embargo, algunas especies, como las tilapias, pueden soportar bajas concentraciones, aproximadamente 1 mg/L, aunque lo más conveniente para ellas son valores mayores de 2 ó 3 mg/L, particularmente en ausencia de luz (Arredondo, 1993).

En tanto, la DBO₅ registró valores entre 2,0 y 11,7 mg/L, los puntos P1 y P4 registraron valores superiores a 8 mg/L y el punto ubicado en el arroyo León (P6) donde se obtuvieron 7.5 mg/L, los valores cumplen el límite de control (<7 mg/L) estipulado como objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 de la Resolución 258 de 2011 de la CRA (**Figura 43 B**). Por su parte, la DQO registró valores entre 34 mg/L en P4 y 65 mg/L en P3 (**Figura 43 C**). Tanto en el punto ubicado en el arroyo León como en P1, P3 y P4 de la ciénaga El Rincón, es evidente que existe leve contaminación por materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

Con relación a monitoreos anteriores, es apreciable que en P1, P3 y P4 de la ciénaga El Rincón y P6 arroyo León, son los puntos donde se registran las mayores concentraciones de DBO₅ y DQO. Los registros en P1, indican que, en este punto, por donde entran las aguas tratadas del arroyo León, se filtra contaminación que dispara los valores de estas variables, mientras que en P3 (sector oeste de la ciénaga) y P4 (sector norte, Club Lagos del Caujaral) los requerimientos de oxígeno podrían estar asociados a procesos de descomposición de vegetación acuática.

Utilizando el criterio de evaluación de las aguas continentales de CONAGUA- SEMARNAT (2014) de México, se podría decir que las aguas de la ciénaga El Rincón, en cuanto a la DBO₅, presentan aguas de buena calidad en P2, P3 y P5 (>3 y ≤6 mg/L) y aguas de calidad aceptable en P1 y P4 (>6 y ≤30 mg/L). Además, tienen calidad aceptable con respecto a la DQO en P1, P4 y P5 (>20 y ≤40 mg/L) y se encuentran contaminadas en P2 y P3 (>40 y ≤200 mg/L).



Para los SST, se registraron valores que superan el objetivo de calidad estipulado para la cuenca por la CRA (<30 mg/L) en todos los puntos de muestreo (**Figura 43 D**). Los registros de mayor a menor fueron: P3 con 1564,0 mg/L, en P4 con 552,0 mg/L, P6 con 393,0 mg/L, P2 con 184,5 mg/L, P1 con 125,0 mg/L y P5 con 46,0 mg/L. Es probable que en este cuerpo de agua se presenten procesos permanentes de circulación, corrientes y turbulencias, ocasionadas por los vientos que Re suspenden las partículas sólidas desde los sedimentos, ocasionando que permanezcan más tiempo sobre la columna de agua. Esto se hace visible en los registros de años anteriores, donde se presenta casi el mismo comportamiento de la variable en los puntos de monitoreo.

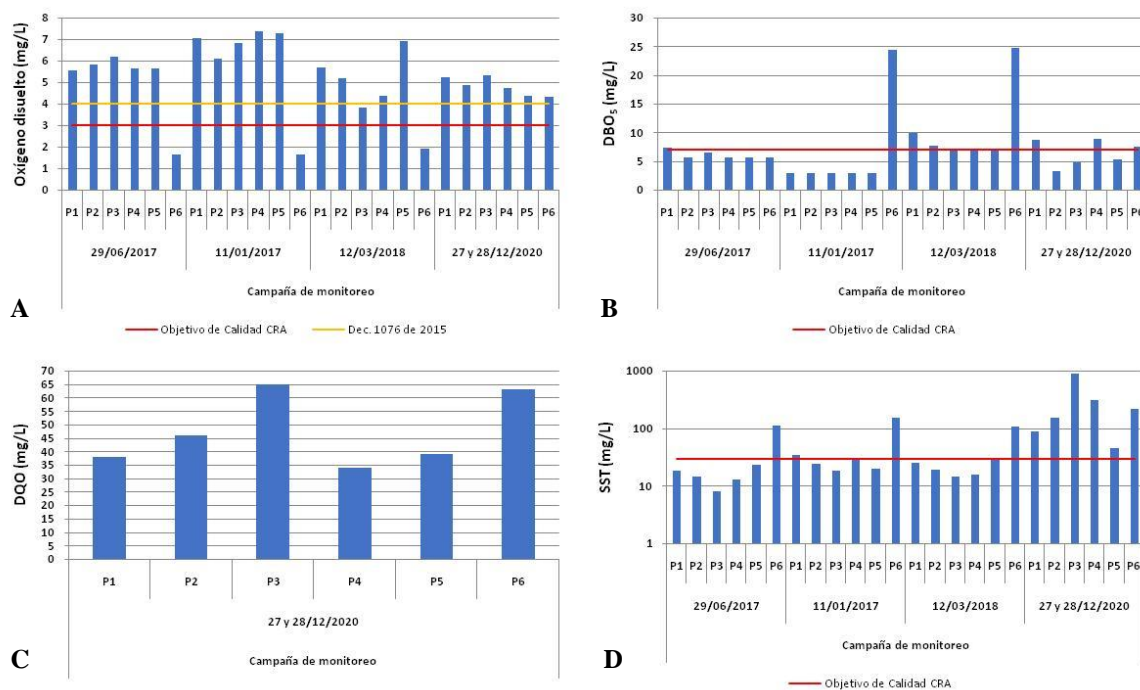


Figura 43. Variación del oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

La ciénaga El Rincón se caracterizó por presentar concentraciones de GyA <10 mg/L en todos los puntos de monitoreo, es decir, los valores cumplen con el objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 establecido por la CRA mediante la Resolución 258 de 2011, para las cuencas y tramos



ordenados en Clase I, cuyo potencial uso es la preservación de flora y fauna (<10 mg/L). En cuanto al criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República, cuya comparación no se pudo realizar debido al método empleado para su análisis, se puede observar su comportamiento durante los años de monitoreo (**Figura 44 A**), no es posible realizar una comparación, debido a que los resultados obtenidos por el método empleado no muestran valores inferiores a <10 mg/L. De los monitoreos anteriores, en 2017 (2) y en 2018, se registraron concentraciones sobre el límite de control. Del mismo modo, los HTP presentaron concentraciones por debajo del límite de detección del método (<10 mg/L) (**Figura 44 B**), sin embargo, en monitoreos anteriores se registraron concentraciones que al ser comparadas con la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense para aguas marinas (En: Quintero et al, 2010), y los valores de concentración de hidrocarburos por clase de calidad de la Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, de la extinta Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA, 2004), arroja que los valores superan el límite de 0.110 mg/L para protección acuática de la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense, y superan en algunos puntos el rango máximo de calidad de la guía chilena (0.05-1.0 mg/L) que son las aguas de Clase 3 (Regular calidad), consideradas aptas para actividades portuarias, navegación u otros usos de menor requerimiento en calidad de agua, es decir, en años anteriores se ha evidenciado contaminación por HTP.

En cuanto a los detergentes, registraron concentraciones <0.40 mg/L en todos los puntos de muestreo (**Figura 44 C**). Aunque para esta variable tampoco se han establecido límites de referencia en el país, es posible que las concentraciones encontradas sean tóxicas. Los detergentes son un importante indicador de calidad del agua debido a que inducen a la proliferación de algas y procesos de eutrofización por el aumento de fosfatos.



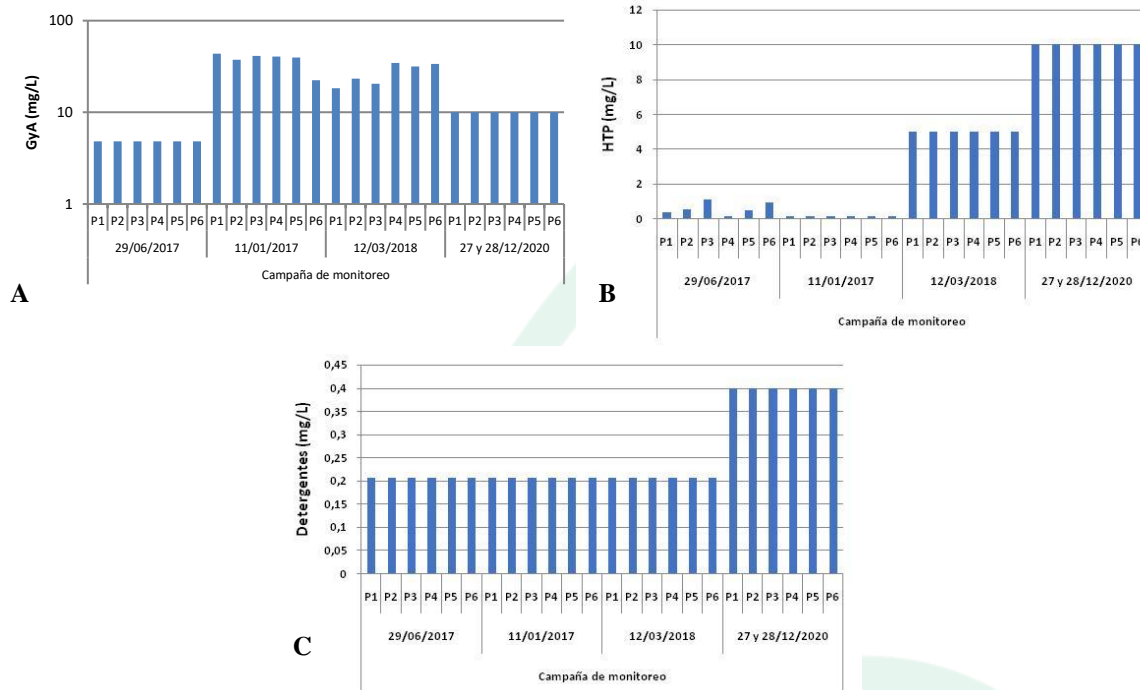


Figura 44. Variación de las grasas y aceites (GyA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Los NO_3 registraron bajas concentraciones, similares entre puntos de muestreo, entre 1.6081 mg/L y 1.91051 mg/L, que al igual que en años anteriores, cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (<10 mg/L) (Figura 45 A). De otro lado el NH_3 presentó concentraciones <1.000 mg/L (Figura 45 B).

US EPA (1999, 2006), EEA (2000, 2005), Environment Canada (2001) y Alonso (2005) han recomendado concentraciones máximas dentro del rango 0,05-0.35 mg/L NH_3 durante exposiciones de corta duración, y concentraciones máximas dentro del rango 0.004-0.02 mg/L NH_3 durante exposiciones de larga duración, para proteger a las especies más sensibles de la toxicidad del amoníaco. Los ambientes acuáticos sin contaminar contienen pequeñas cantidades de nitrógeno



amoniaco, generalmente menores a 0.1 mg/L, pero pueden alcanzar de 2 a 3 mg/L, y concentraciones más altas pueden indicar que existe contaminación de origen orgánico procedente de aguas residuales (Sierra-Ramírez, 2011).

En cuanto a los Ortofosfatos ($P-PO_4$), registraron concentraciones entre 0.09 mg/L en P2 y 0.21 mg/L en P4, cumpliendo solo en P2 el objetivo de calidad establecido por la CRA (<0.1 mg/L). Estos resultados demuestran eutrofización por $P-PO_4$ en la ciénaga, de acuerdo a lo expuesto por Ramírez et al. (1999), quien manifiesta que valores por encima de 0,01mg/L de PO_4 son propios de aguas eutrofizadas.

La producción de Ortofosfatos se inicia en la mineralización de la materia orgánica presente en los sedimentos, es decir, se liberan fosfatos al descomponerse dicha materia. También se puede dar la liberación de fosfatos en las capas superficiales del humedal antes de la sedimentación. La eutrofización ocurre cuando se tienen grandes cantidades de materia orgánica en los sedimentos que provocan exorbitantes concentraciones de fosfatos, los cuales en exceso son tóxicos para los organismos y plantas presentes. Asimismo, estos los liberan en la excreción y suministran grandes cantidades de fosfatos al agua, contaminándola (Roldán y Ramírez, 2008).



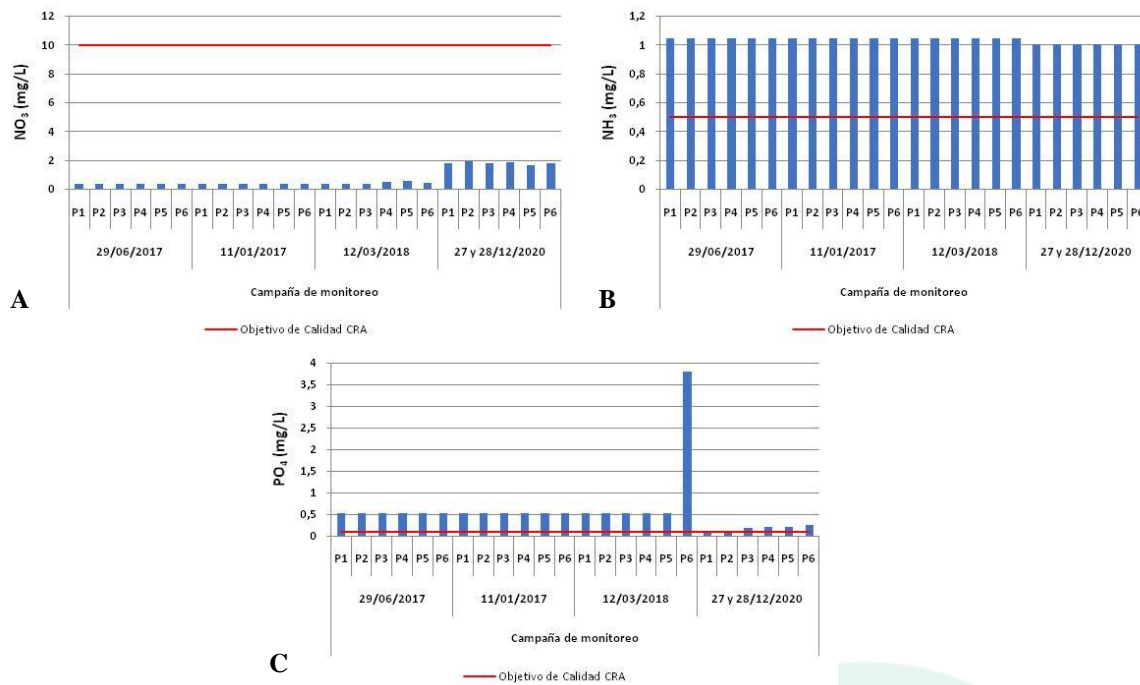


Figura 45. Variación de los nitratos (NO_3^-), amoníaco (NH_3) y fosfatos (PO_4) en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

En cuanto a las concentraciones de metales pesados, estos no pudieron ser comparados debido al método empleado por el laboratorio para su análisis, con los valores estipulados de concentración letal para la destinación del recurso en la preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República. El Ar, Cd y Hg reportaron concentraciones por debajo del límite de detección del método en todos los puntos muestreados, mientras que el Pb registró 0,0030 mg/L en P1, P2 y P6 (arroyo León), 0,0080 mg/L en P4 y P5, y 0,0090 mg/L en P3, mientras que el Cu registró 0,0030 mg/L en P1, P2 y P3, 0,0040 mg/L en P4 y P4, y 0,0040 mg/L en P6 (**Figura 46**).



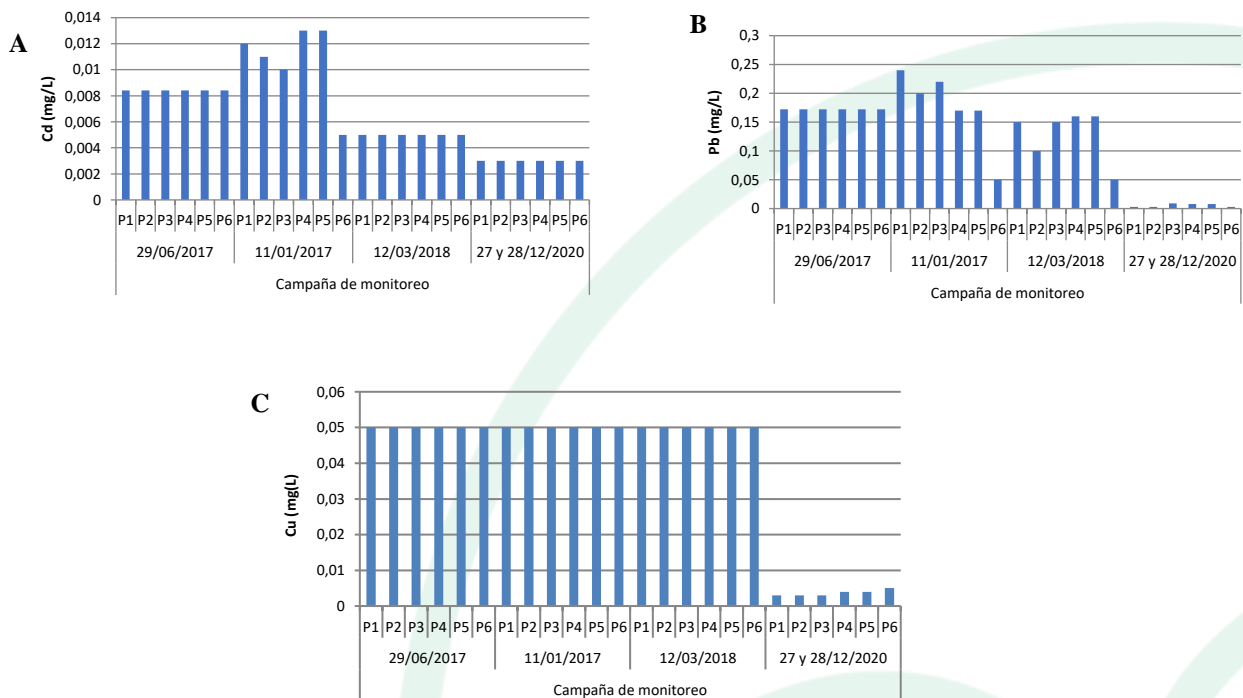


Figura 46. Variación del cadmio, plomo y cobre en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Los CTE y CT registraron concentraciones que cumplen con los objetivos de calidad establecidos por la CRA en la Resolución 258 de 2011 ($CTE < 2000$ NMP/100 mL y $CT < 5000$ NMP/100 mL), presentándose los valores más altos en P1 con 225.9 NMP/100 mL de CTE y 875 NMP/100 mL de CT, cercanos a la entrada del arroyo León, que arrastra consigo descargas domésticas, así mismo, P2 registró una concentración cercana a la de P1, 800 NMP/100 mL (**Figura 47 A y B**).

Los registros de coliformes no representan contaminación microbiológica grave, mientras que los valores de Pseudomonas obtuvieron concentraciones altas en casi todos los puntos monitoreados (excepto P3 con 83 NMP/100 mL). El valor más alto se obtuvo en P1 con 24193 NMP/100 mL, seguido de P2 con 6867 NMP/100 mL y P4 con 4106 NMP/100 mL (**Figura 47 C**). Los altos valores en



estos puntos indican que a través del arroyo León están entrando descargas de aguas residuales con heces disueltas con presencia de estos microorganismos, que, además, tienen pocos requerimientos de nutrientes y factores ambientales para multiplicarse. De Vicente et al., (1991) menciona que estas bacterias no se consideran autóctonas del agua y tienen origen en las heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con contaminación por descarga de aguas residuales, por lo tanto, hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación (De Vicente et al. 1991).

Los valores de P6 que se muestran en la (Figura 47 A, B y C) corresponden a un punto monitoreado en el arroyo León, en él, las concentraciones de coliformes no cumplen con los objetivos de calidad y las Pseudomonas registraron una concentración relativamente alta 2420 NMP/100 mL.

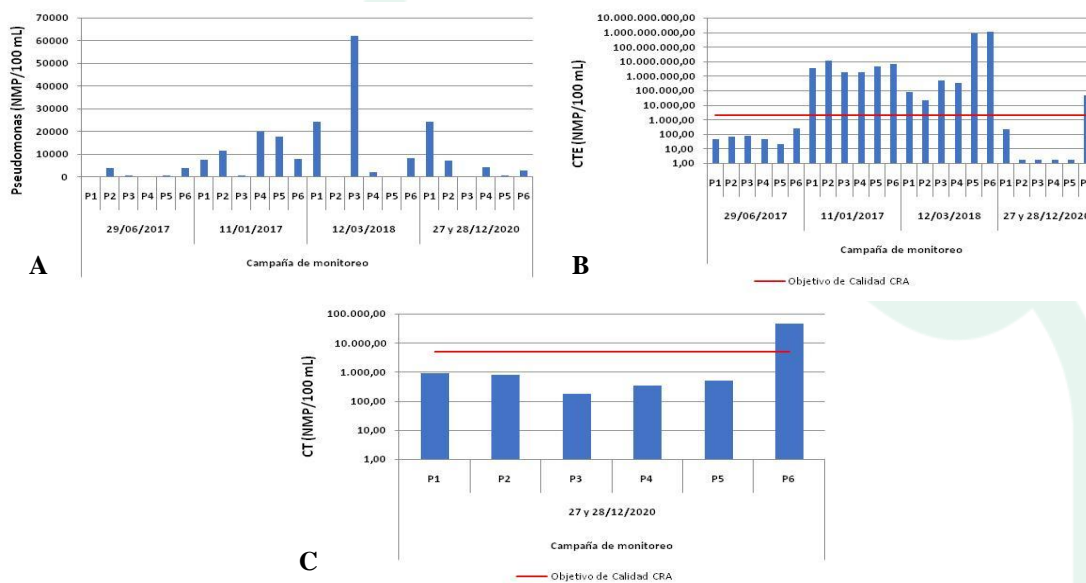


Figura 47. Variación de coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



6.2.1.2. Variables Hidrobiológicas

6.2.1.2.1 Fitoplancton

La comunidad de fitoplancton en la ciénaga El Rincón registró una densidad total de 4349937.47 Ind/ml distribuidos en 43 morfoespecies, 19 familias, 11 órdenes, siete (7) clases y cinco (5) divisiones (**Tabla 40**). La división más diversificada fue la Chlorophyta (algas verdes) con el 64% de las morfoespecies seguida por las Euglenophyta con el 15% de la riqueza en el sistema.

La alta variedad de clorófitas es una condición típica de muchos sistemas tropicales dulceacuícolas, aunque en términos de densidad y biomasa tienden a ser relevadas por otros grupos (Ramírez, 2000).

La presencia de euglenófitos se debe a que crecen en aguas ricas en nutrientes y materia orgánica aportando oxígeno evitando condiciones anóxicas, permitiendo el crecimiento de bacterias anaeróbicas que depuran el agua. Otro grupo importante son las diatomeas que indican procesos de eutrofización (Arcos y Gómez, 2006; Pinilla, 2010).

Tabla 40. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie	
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia sp1</i>	
			Pseudanabaenaceae	<i>Aphanocapsa sp</i>	
			Coelosphaeriaceae	<i>Pseudanabaena sp1</i>	
		Chroococcales	Microcystaceae	<i>Coelosphaerium sp</i>	
			Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Microcystis sp1</i>
					<i>Oscillatoria sp3</i>
Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Oscillatoria sp4</i>			
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	<i>Spirulina sp1</i>	
			Scenedesmaceae	<i>Selenastrum sp1</i>	
				<i>Scenedesmus acuminatus</i>	
				<i>Scenedesmus ecornisecornis</i>	
				<i>Scenedesmus cuadricauda</i>	
				<i>Scenedesmus sp1</i>	
				<i>Scenedesmus sp2</i>	
<i>Desmodesmus denticulatus</i>					



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie	
				<i>Desmodesmus armatusbicaudatus</i>	
				<i>Desmodesmus intermedius</i>	
				<i>Desmodesmus sp2</i>	
				<i>Tetrastrum triangulare</i>	
				<i>Tetrastrum sp</i>	
				<i>Coelastrumcfindicum</i>	
			Hydrodictyceae	<i>Tetraedron sp1</i>	
				<i>Tetraedron sp2</i>	
			Neochloridaceae	<i>Golenkinia sp</i>	
			Chlamydomonadales	Trebouxiophyceae	Chlorellales
	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas sp</i>			
	Oocystaceae	<i>Oocystis sp1</i>			
		<i>Oocystis sp2</i>			
		<i>Tetrachlorella sp</i>			
<i>Crucigeniella sp</i>					
Chlorellaceae	<i>Actinastrum sp1</i>				
	<i>Dicellula sp</i>				
	<i>Chlorella sp</i>				
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp2</i>	
	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella sp</i>	
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena sp1</i>	
				<i>Euglena sp2</i>	
				<i>Euglena sp3</i>	
				<i>Trachelomonas sp1</i>	
			Phacaceae	<i>Lepocinclis sp1</i>	
				<i>Lepocinclis sp2</i>	
				<i>Lepocinclis sp3</i>	
Cryptophyta	Cryptophyceae	Cryptomonadales	Hemiselmidaceae	<i>Chroomonas sp</i>	
5	7	11	19	43	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Para los puntos P-1 a P-3, las Chlorophyta registraron la mayor riqueza total de las morfoespecies, seguida por el phylum Euglenozoa y por último las Cyanobacterias, por el contrario, para P4 solo estuvo representada por cuatro divisiones siendo también las Chlorophytas y Euglenophyta las que registraron el mayor porcentaje de riqueza. Para P5, al igual que los demás puntos, las Chlorophyta fueron las más representativas con el 65% seguido de las cianobacterias con el 15%. En cuanto al punto P6 las Cyanobacterias registraron la mayor riqueza total con un 34%, seguida por el phylum



Chlorophyta con el 33%. Este punto fue el que tuvo la menor similitud con respecto a los demás puntos por la riqueza (**Figura 48**).

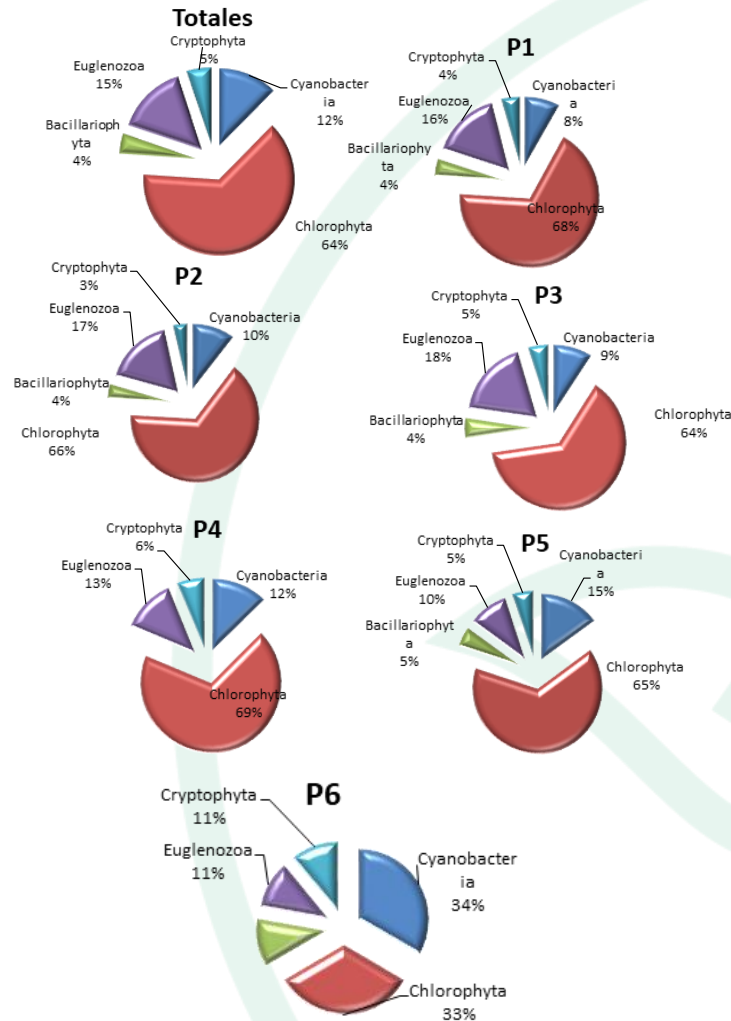


Figura 48. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga El Rincón en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

A nivel espacial, la densidad de especies registró proporciones diferentes entre los phylum, el grupo Chlorophyta fue el más diverso y tuvo la mayor densidad. El punto P-6 tuvo una mayor densidad con



1048040.59 Ind/L, seguido del punto P-1 (656073.59 Ind/L), P-2 (413051.59 Ind/L), P-3 (283003.50 Ind/L), P-4 (127538.38 Ind/L) y P-5 (85988.07 Ind/L) (**Figura 49**).

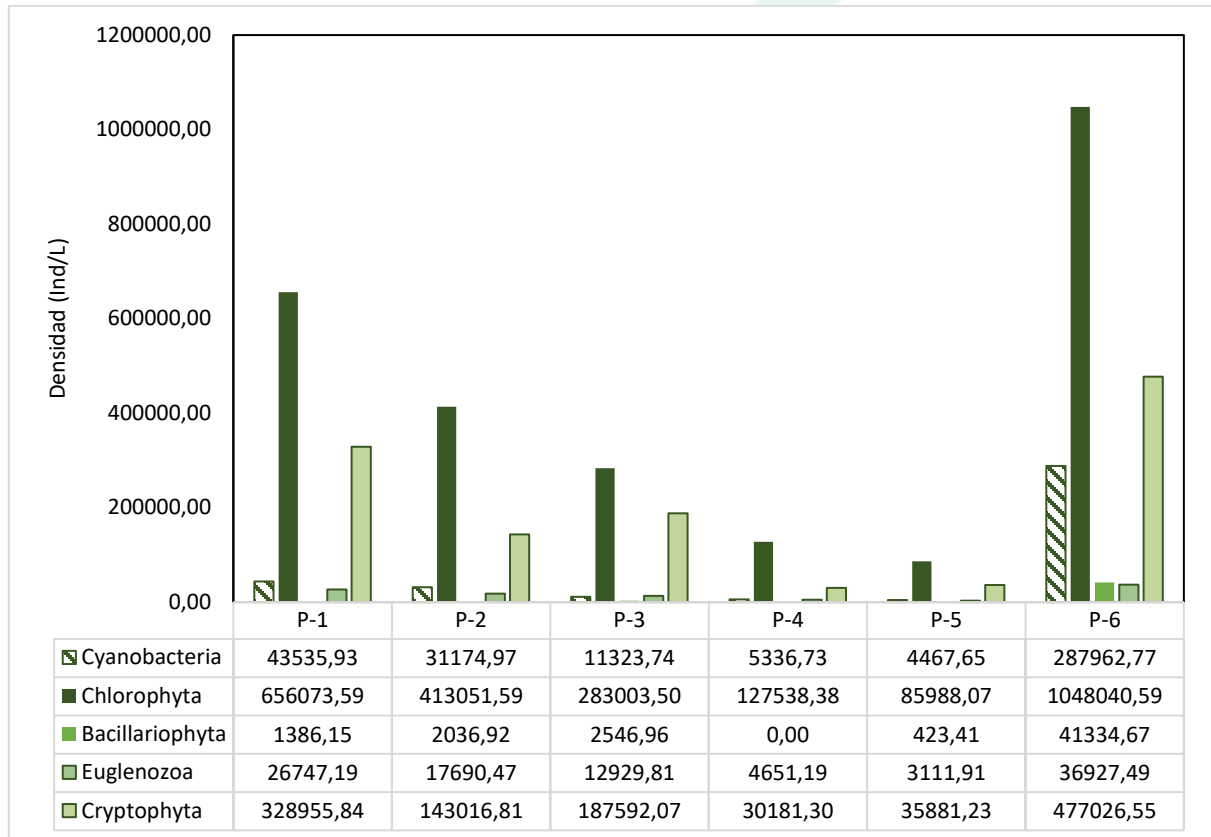


Figura 49. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga El Rincón.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad más alta se registró en P6 (1891292. 1Ind/L). Para todos los puntos, a excepción de P-6 las morfoespecies con mayor densidad fueron las *Chlamydomonas* sp, seguidas de *Oocystis* sp1 para todos los puntos a excepción de P6 (**Tabla 41,Tabla 42, Tabla 43**). El género *Chlamydomonas* se desarrollan en condiciones extremas, como la ausencia de oxígeno. De hecho, tienen la capacidad de romper la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno, utilizando el oxígeno para su respiración y liberando el hidrógeno.



En efecto, estas algas son de naturaleza adaptable. Logrando desarrollarse en ausencia total de luz, usando sales orgánicas como fuentes alternativas de carbono. El grupo de Clorofíceas como es el caso del género *Oocystis* pueden ser encontradas en ambientes oligotróficos (Sarmiento y Ruiz, 2018). En general, de acuerdo con la densidad fitoplanctónica registrada en la ciénaga estas son consideradas eutróficas según Margalef (1983).

Tabla 41. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón. Parte I.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Merismopedia sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pseudanabaena sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Aphanocapsa sp</i>	41142.86	41272.73	28000.00	32567.38	11729.73	10647.48
<i>Coelosphaerium sp</i>	0.00	0.00	0.00	170.21	0.00	0.00
<i>Microcystis sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp3</i>	2171.43	2484.85	931.51	680.85	270.27	0.00
<i>Oscillatoria sp4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Spirulina sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Selenastrum sp1</i>	0.00	0.00	0.00	113.48	0.00	0.00
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	628.57	727.27	821.92	964.54	378.38	172.66
<i>Scenedesmus ecornis ecornis</i>	457.14	363.64	547.95	624.11	0.00	115.11
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1314.29	1151.52	1753.42	1248.23	0.00	0.00
<i>Scenedesmus sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	54.05	115.11
<i>Scenedesmus sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Desmodesmus denticulatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	270.27	0.00
<i>Desmodesmus armatus bicaudatus</i>	857.14	1090.91	1534.25	1418.44	432.43	633.09
<i>Desmodesmus intermedius</i>	1257.14	0.00	493.15	567.38	0.00	0.00
<i>Desmodesmus sp2</i>	19257.14	22727.27	15616.44	14921.99	9567.57	11856.12
<i>Tetrastrum triangulare</i>	628.57	484.85	767.12	624.11	0.00	0.00
<i>Tetrastrum sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	162.16	0.00
<i>Coelastrum cf indicum</i>	1028.57	909.09	657.53	510.64	162.16	287.77
<i>Tetraedron sp1</i>	685.71	121.21	109.59	0.00	0.00	0.00
<i>Tetraedron sp2</i>	1485.71	1272.73	1205.48	1021.28	0.00	0.00
<i>Golenkinia sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Spondylomorom sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chlamydomonas SP</i>	449085.71	420727.27	305863.01	267858.16	184702.70	228776.98
<i>Oocystis sp1</i>	35657.14	35575.76	27506.85	26382.98	13189.19	16978.42
<i>Oocystis sp2</i>	4800.00	4060.61	2027.40	1702.13	0.00	0.00
<i>Tetrachlorella sp</i>	514.29	727.27	547.95	397.16	270.27	230.22
<i>Crucigeniella sp</i>	3600.00	3151.52	1150.68	964.54	972.97	575.54



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Actinastrum sp1</i>	0.00	0.00	0.00	113.48	0.00	0.00
<i>Dicellula sp</i>	26400.00	26424.24	18958.90	17078.01	11405.41	15712.23
<i>Chlorella sp</i>	106914.29	138060.61	60328.77	49702.13	32324.32	36661.87
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclotella sp</i>	1257.14	1515.15	1917.81	2156.03	2216.22	2877.70
<i>Euglena sp1</i>	400.00	666.67	109.59	0.00	162.16	57.55
<i>Euglena sp2</i>	0.00	0.00	164.38	397.16	0.00	115.11
<i>Euglena sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lepocinclis sp1</i>	22057.14	26606.06	15780.82	17304.96	13783.78	11568.35
<i>Lepocinclis sp2</i>	1314.29	1090.91	602.74	794.33	0.00	172.66
<i>Lepocinclis sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Trachelomonas sp1</i>	571.43	787.88	0.00	226.95	0.00	0.00
<i>Chroomonas sp</i>	298457.14	359454.55	23452.05	262581.56	190378.38	184805.76
Total	1021942.86	1091454.55	510849.32	703092.20	472432.43	522359.71

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 42. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga El Rincón. Parte II.

Morfoespecie	P-4		P-5		P-6	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Merismopedia sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	55939.85	62489.51
<i>Pseudanabaena sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	227368.42	224391.61
<i>Aphanocapsa sp</i>	5984.73	4166.67	3579.66	4729.93	0.00	0.00
<i>Coelosphaerium sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Microcystis sp1</i>	0.00	0.00	162.71	291.97	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp3</i>	244.27	277.78	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp4</i>	0.00	0.00	54.24	116.79	0.00	0.00
<i>Spirulina sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2827.07	2909.09
<i>Selenastrum sp1</i>	0.00	222.22	596.61	525.55	0.00	0.00
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	0.00	0.00	108.47	58.39	0.00	0.00
<i>Scenedesmus ecornis ecornis</i>	0.00	0.00	0.00	58.39	0.00	0.00
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.00	166.67	271.19	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus sp2</i>	0.00	0.00	108.47	116.79	0.00	0.00
<i>Desmodesmus denticulatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>D. armatus bicaudatus</i>	0.00	111.11	0.00	58.39	0.00	0.00
<i>Desmodesmus intermedius</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Desmodesmus sp2</i>	6595.42	8500.00	5206.78	5138.69	0.00	0.00
<i>Tetrastrum triangulare</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tetrastrum sp</i>	0.00	55.56	54.24	116.79	0.00	0.00
<i>Coelastrum cf indicum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tetraedron sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Morfoespecie	P-4		P-5		P-6	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Tetraedron sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Golenkinia sp</i>	61.07	0.00	108.47	175.18	0.00	0.00
<i>Spondylomorum sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	7699.25	8671.33
<i>Chlamydomonas SP</i>	112977.10	91888.89	61125.42	59678.83	869593.98	877650.35
<i>Oocystis sp1</i>	3358.78	4833.33	8244.07	11737.23	0.00	0.00
<i>Oocystis sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tetrachlorella sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Crucigeniella sp</i>	305.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Actinastrum sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Dicellula sp</i>	5557.25	6555.56	4013.56	5722.63	0.00	0.00
<i>Chlorella sp</i>	8610.69	5277.78	4664.41	4087.59	163067.67	169398.60
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	36571.43	46097.90
<i>Cyclotella sp</i>	0.00	0.00	379.66	467.15	0.00	0.00
<i>Euglena sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Euglena sp2</i>	0.00	166.67	108.47	291.97	0.00	0.00
<i>Euglena sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	31157.89	35524.48
<i>Lepocinclis sp1</i>	4580.15	4555.56	2494.92	3328.47	0.00	0.00
<i>Lepocinclis sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lepocinclis sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3368.42	3804.20
<i>Trachelomonas sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chroomonas sp</i>	29862.60	30500.00	32813.56	38948.91	471759.40	482293.71
Total	178137.40	157277.78	124094.92	135649.64	1869353.38	1913230.77

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Tabla 43. Densidad promedio por punto de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Mallorquín.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Merismopedia sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59214.68	59214.68
<i>Pseudanabaena sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	225880.01	225880.01
<i>Aphanocapsa sp</i>	41207.79	30283.69	11188.61	5075.70	4154.79	0.00	91910.58
<i>Coelosphaerium sp</i>	0.00	85.11	0.00	0.00	0.00	0.00	85.11
<i>Microcystis sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	227.34	0.00	227.34
<i>Oscillatoria sp3</i>	2328.14	806.18	135.14	261.03	0.00	0.00	3530.48
<i>Oscillatoria sp4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	85.51	0.00	85.51
<i>Spirulina sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2868.08	2868.08
<i>Selenastrum sp1</i>	0.00	56.74	0.00	111.11	561.08	0.00	728.93
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	677.92	893.23	275.52	0.00	83.43	0.00	1930.10
<i>Scenedesmus ecornis ecornis</i>	410.39	586.03	57.55	0.00	29.20	0.00	1083.17
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1232.90	1500.83	0.00	83.33	135.59	0.00	2952.65
<i>Scenedesmus sp1</i>	0.00	0.00	84.58	0.00	0.00	0.00	84.58
<i>Scenedesmus sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	112.63	0.00	112.63
<i>Desmodesmus denticulatus</i>	0.00	0.00	135.14	0.00	0.00	0.00	135.14
<i>Desmodesmus armatus bicaudatus</i>	974.03	1476.34	532.76	55.56	29.20	0.00	3067.88
<i>Desmodesmus intermedius</i>	628.57	530.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1158.83
<i>Desmodesmus sp2</i>	20992.21	15269.21	10711.84	7547.71	5172.73	0.00	59693.70
<i>Tetrastrum triangulare</i>	556.71	695.62	0.00	0.00	0.00	0.00	1252.33
<i>Tetrastrum sp</i>	0.00	0.00	81.08	27.78	85.51	0.00	194.37
<i>Coelastrum cf indicum</i>	968.83	584.09	224.97	0.00	0.00	0.00	1777.88
<i>Tetraedron sp1</i>	403.46	54.79	0.00	0.00	0.00	0.00	458.26
<i>Tetraedron sp2</i>	1379.22	1113.38	0.00	0.00	0.00	0.00	2492.60
<i>Golenkinia sp</i>	0.00	0.00	0.00	30.53	141.83	0.00	172.36
<i>Spondylomorom sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8185.29	8185.29
<i>Chlamydomonas sp</i>	434906.49	286860.58	206739.84	102432.99	60402.13	873622.17	1964964.21
<i>Oocystis sp1</i>	35616.45	26944.91	15083.80	4096.06	9990.65	0.00	91731.87



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Oocystis sp2</i>	4430.30	1864.76	0.00	0.00	0.00	0.00	6295.07
<i>Tetrachlorella sp</i>	620.78	472.55	250.24	0.00	0.00	0.00	1343.58
<i>Crucigeniella sp</i>	3375.76	1057.61	774.26	152.67	0.00	0.00	5360.30
<i>Actinastrum sp1</i>	0.00	56.74	0.00	0.00	0.00	0.00	56.74
<i>Dicellula sp</i>	26412.12	18018.46	13558.82	6056.40	4868.09	0.00	68913.90
<i>Chlorella sp</i>	122487.45	55015.45	34493.10	6944.23	4376.00	166233.14	389549.36
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41334.67	41334.67
<i>Cyclotella sp</i>	1386.15	2036.92	2546.96	0.00	423.41	0.00	6393.43
<i>Euglena sp1</i>	533.33	54.79	109.86	0.00	0.00	0.00	697.99
<i>Euglena sp2</i>	0.00	280.77	57.55	83.33	200.22	0.00	621.88
<i>Euglena sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33341.19	33341.19
<i>Lepocinclis sp1</i>	24331.60	16542.89	12676.06	4567.85	2911.69	0.00	61030.10
<i>Lepocinclis sp2</i>	1202.60	698.53	86.33	0.00	0.00	0.00	1987.46
<i>Lepocinclis sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3586.31	3586.31
<i>Trachelomonas sp1</i>	679.65	113.48	0.00	0.00	0.00	0.00	793.13
<i>Chroomonas sp</i>	328955.84	143016.81	187592.07	30181.30	35881.23	477026.55	1202653.80
Total	1056698.70	606970.76	497396.07	167707.5912	129872.275	1891292.08	4349937.47

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



En cuanto a la estructura de la comunidad fitoplancton descrita a través de los índices ecológicos en la **Tabla 44**, los valores sugieren que el ensamblaje registrado en la ciénaga Rincón presenta una diversidad moderada para algunos puntos y baja para otros; la equidad presentó valores medios, siendo máxima en P-6 y mínima en P-3, este comportamiento es explicado por la dominancia de las morfoespecies *Chlamydomonas* sp, *Chroomonas* sp y *Aphanocapsa* sp que realizaron aportes bastante superiores a las morfoespecies restantes en el ensamblaje, por lo que el índice de dominancia presentó valores que tienden a ser altos. El índice de Margalef indicó una diversidad baja dado que sus valores fueron inferiores a 2 a excepción del punto P-2 ($d = 2,1$). Según Margalef (1995), valores inferiores a 2.0 son relacionados con zonas de baja diversidad y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Tabla 44. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga El Rincon en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	H'	d
P-1	25	1056698.69	0.4998	0.284	0.716	1.609	1.73
P-2	29	606970.75	0.491	0.2939	0.7061	1.653	2.103
P-3	22	497396.08	0.4698	0.3231	0.6769	1.452	1.601
P-4	16	167707.58	0.4798	0.4127	0.5873	1.33	1.247
P-5	20	129872.26	0.5247	0.3042	0.6958	1.572	1.614
P-6	10	1891292.09	0.6428	0.3008	0.6992	1.48	0.6227

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.2.1.2.2 Zooplancton

La comunidad zooplanctónica de la ciénaga Rincón se integró por 60 morfoespecies pertenecientes a 29 familias, 13 órdenes, ocho (8) clases y ocho (8) Phylum, como se observa en la **Tabla 45**.

Tabla 45. Clasificación taxonómica del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie		
Amoebozoa	Lobosa	Arcellinida	Centropyxidae	<i>Centropyxis spp</i>		
			Diffugiidae	<i>Diffugia binucleata</i>		
				<i>Diffugia cf linearis</i>		
				<i>Diffugia spp</i>		
				<i>Diffugia acutissima</i>		
Nebelidae	<i>Nebela lageniformis</i>					
Annelida	Polychaeta	Polychaeta ND	Polychaeta ND	<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>		
Arthropoda	Maxillopoda	Cyclopoida	Cyclopoida ND	<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>		
				<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>		
			Cyclopidae	<i>Ergasilus spp</i>		
		Maxillopoda ND	Maxillopoda ND	<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>		
Chordata	Actinopterygii	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poeciliidae Morfoespecie juvenil</i>		
				<i>Poeciliidae Morfoespecie larva</i>		
Ciliophora	Ciliatea	Ciliatea-ND	Ciliatea-ND	<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>		
				<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 4</i>		
		Choreotrichida	Hypotrichida	Euplotidae	<i>Euplotes spp</i>	
					Tintinnidae	<i>Eutintinus spp</i>
			Tintinnidae	<i>Brandtiella spp</i>		
				Tintinnidae-ND	<i>Tintinnidae-ND Morfoespecie</i>	
			Codonellidae		<i>Codonella galea</i>	
				<i>Tintinnopsis nana</i>		
				<i>Tintinnopsis parvula</i>		
				<i>Tintinnopsis spp</i>		
			Peritrichida	Vorticellidae	<i>Ascampbelliellidae</i>	<i>Ascampbelliella spp</i>
					<i>Vorticella sp 6</i>	
		<i>Vorticella spp</i>				
		<i>Vorticella sp 3</i>				
Mollusca	Bivalvia	Bivalvia ND	Bivalvia ND	<i>Bivalvia ND Morfoespecie Larva de bivalvo 1</i>		
Protozoa NA	Filosia	Aconchulinida	Euglyphidae	<i>Euglypha spp</i>		
Rotifera	Eurotatoria	Flosculariaceae	Trochosphaeridae	<i>Filinia longiseta</i>		
				<i>Filinia terminalis</i>		



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie				
		Ploima	Testudinellidae	<i>Pompholyx spp</i>				
			Flosculariidae	<i>Ptygura sp5</i> <i>Sinatherina spp</i>				
			Asplanchnidae	<i>Asplanchnopus sp2</i> <i>Asplanchna sp2</i> <i>Asplanchnopus spp</i>				
				Brachionidae	<i>Anuraeopsis sp2</i> <i>Brachionus angularis</i> <i>Brachionus calyciflorus</i> <i>Brachionus dimidiatus</i> <i>Brachionus plicatilis</i> <i>Notholca sp</i> <i>Brachionus caudatus</i>			
					Dicranophoridae	<i>Encentrum spp</i>		
			Epiphanidae		<i>Epiphanes clavatula</i>			
			Gastropodidae		<i>Gastropus sp8</i> <i>Gastropus sp9</i> <i>Ascomorpha spp</i> <i>Gastropus sp10</i>			
					Notommatidae	<i>Monommata sp</i>		
					Proalidae	<i>Proales sp1</i> <i>Proales sp2</i> <i>Proales sp</i>		
				Synchaetidae		<i>Ploeosoma spp</i> <i>Synchaeta sp2</i> <i>Synchaeta sp3</i>		
			Trichocercidae			<i>Trichocerca sp2</i> <i>Trichocerca spp</i> <i>Trichocerca pusilla</i>		
					8	8	13	29

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Estos resultados permitieron evidenciar que el Phylum Rotifera contribuyó con la mayor proporción de morfoespecies (51.7%, 31 morfoespecies), seguido por los aportes de Ciliophora (23.3%, 14 morfoespecies), Amoebozoa (10%, 6 morfoespecies), Arthropoda (6.7%, 4 morfoespecies), Chordata (3.3%, 2 morfoespecies) y Annelida, Mollusca y Protozoa (1.7 %, 1 morfoespecie cada uno), como se observa en la **Figura 50**.



La distribución espacial de la riqueza por Phylum permitió evidenciar el predominio de rotíferos en todos los puntos de muestreo, sumado a proporciones elevadas de artrópodos en P3 (21.1%) y ciliados en P4 (20 %), así como de artrópodos y ciliados en los puntos P1 (20% cada uno), P5 (15% cada uno) y P6 (18.2% cada uno) (**Figura 50**). La importancia ecológica de los rotíferos radica en varios puntos, el primero, corto tiempo de generación y tasa alta de renovación poblacional, promueven la transferencia de materia desde las bacterias hasta los consumidores, tanto plantónicos como vertebrados y son muy susceptibles a los cambios físico y químicos en el ambiente (Nogradyet *al.* 1993 En: Zoppi de Roa y Pardo, 2003), por lo que los cambios en la estructura y composición los convierten en buenos indicadores de la calidad del agua. Por su parte la importancia de los artrópodos, especialmente los copépodos, consiste en ser un eslabón importante en la trama alimenticia acuática, transformando la proteína vegetal en animal, al ser fuente de alimento importante para peces planctívoros, como para los estadios larvales de la mayoría de peces, igualmente sus excretas sirven de fuente de alimento a organismos bentónicos facilitando el intercambio de materia tanto en la columna de agua, como con el sedimento, así mismo, algunas especies han sido usadas como bioindicadores de calidad del agua en sistemas saprobios (Smith y Fernando, 1980; Morales y Vargas, 1995 y Martínez-Barragán, *et al.*, 2009)



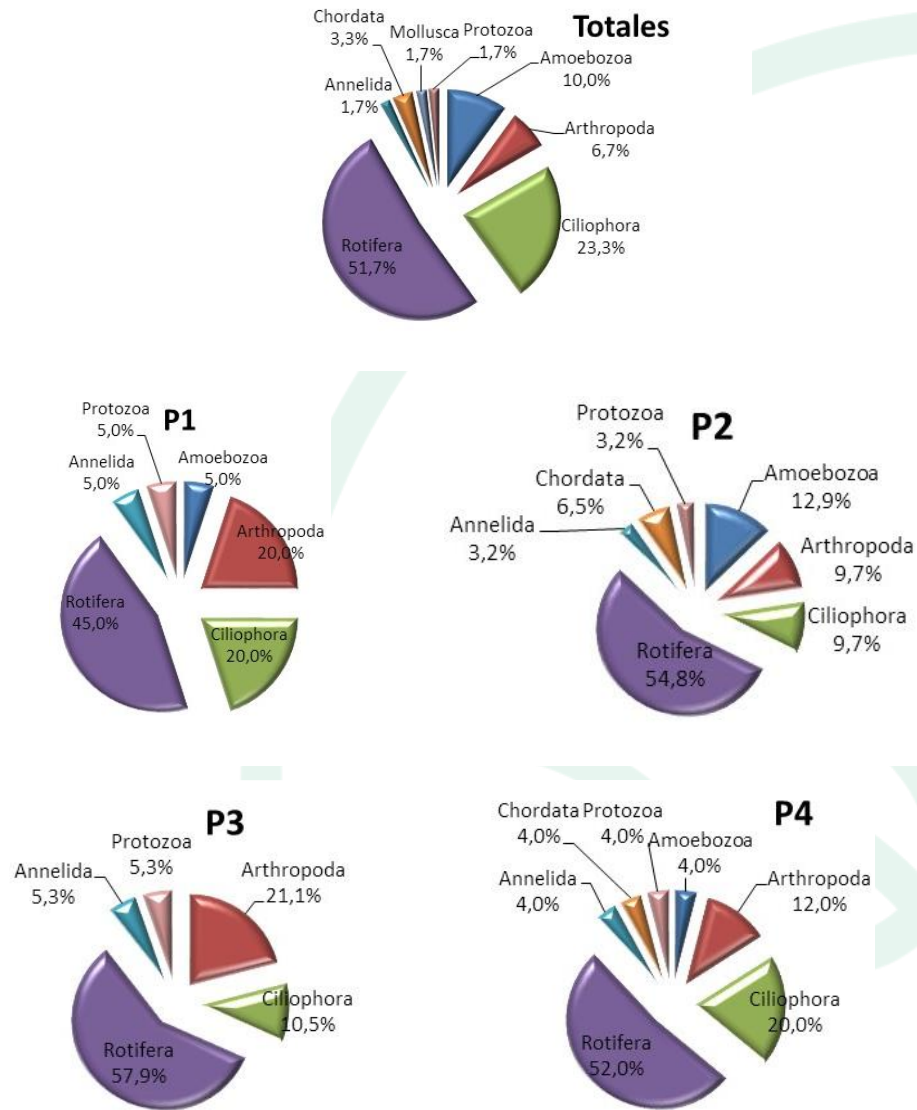


Figura 50. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., (2021)

Por su parte, el análisis de la abundancia permitió determinar que, en todos los puntos de muestreo, predominaron los rotíferos, exceptuando a P-1 donde fueron desplazados por morfoespecies del Phylum Arthropoda; los protozoos y ciliados realizaron aportes menores, aunque se observaron



valores importantes en el punto P-5; mientras que anélidos y larvas de peces (Chordata) se asociaron únicamente P-1, P-2 y P-4 **Figura 51**. A nivel de morfoespecies, los aportes más altos correspondieron a Morfoespecie Larva Nauplio, *Trichocerca* sp2 y *Brachionus angularis* con 1795.56 Ind/L, 1246.40 Ind/L y 1060.13 Ind/L respectivamente (**Tabla 46,Tabla 47**).

Los copépodos de Arthropoda se caracterizan por su capacidad para ocupar hábitats diferentes, debido a un patrón corporal general que consiste en el desarrollado de modificaciones estructurales, fisiológicas y de comportamiento, además sus larvas nauplios poseen un alto potencial de dispersión y mecanismos adaptativos que le permiten una colonización expansiva en sistemas someros (Dole-Olivier *et al.*, 2000). En general, suele encontrárseles en pequeñas lagunas ríos y quebradas con algún grado de eutrofia. En cuanto a los rotíferos, su abundancia se considera una observación frecuente en los sistemas acuáticos tropicales, esta tendencia estaría asociada a un hábitat fluctuante, con cambios temporales importantes en la condición física y química, que favorecen a aquellos organismos provistos de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas necesarias para enfrentar dichos cambios, como es el caso de los rotíferos pues al presentar estrategias de selección tipo r sus poblaciones pueden lograr recuperarse frente a condiciones adversas con la concomitante producción de nuevas generaciones en intervalos de tiempo más cortos que otros grupos del zooplancton. Al igual que los rotíferos las formas Nauplios de Copepoda presentan características que las hace exitosas en los sistemas continentales, por lo que están ampliamente extendidas en este tipo de ambientes.



Tabla 46. Densidad por día de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Centropyxis spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.95	0.00	0.00
<i>Diffflugia binucleata</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Diffflugia cf linearis</i>	1.28	0.00	36.30	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Diffflugia spp</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Diffflugia acutissima</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	0.00
<i>Nebela lageniformis</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>P.ND Morfoespecie Larva</i>	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>C.ND Morfoespecie 1</i>	0.00	5.00	19.80	23.45	1.88	62.90	0.00	15.60	0.00	85.55	0.00	0.00
<i>C.Morfoespecie 2</i>	0.00	117.50	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00
<i>Ergasilus spp</i>	1.28	61.25	16.50	0.00	1.88	91.80	0.00	5.20	0.00	67.85	0.00	0.00
<i>M.Larva Nauplio</i>	30.60	1826.25	412.50	338.35	9.38	198.90	1.55	167.70	1.15	604.75	0.00	0.00
<i>P.Morfoespecie juvenil</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>P.Morfoespecie larva</i>	0.00	0.00	0.00	8.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ciliatea. Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50
<i>Ciliatea.Morfoespecie 4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00
<i>Euplotes spp</i>	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Eutintinus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brandtiella spp</i>	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>T.ND Morfoespecie</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Codonella galea</i>	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis nana</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis parvula</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	1.30	0.00	5.90	0.00	0.00
<i>Ascampbelliella spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80	0.00	50.15	1.85	0.00
<i>Vorticella sp 6</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella spp</i>	0.00	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Vorticella sp 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>B.L. bivalvo 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	0.00
<i>Euglypha spp</i>	99.45	55.00	0.00	67.00	97.50	56.10	44.95	65.00	81.65	147.50	0.00	0.00
<i>Filinia longiseta</i>	0.00	7.50	0.00	10.05	5.63	20.40	0.00	26.00	0.00	11.80	0.00	0.00
<i>Filinia terminalis</i>	0.00	0.00	0.00	3.35	0.00	3.40	0.00	13.00	0.00	14.75	0.00	0.00
<i>Pompholyx spp</i>	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ptygura sp 5</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sinantherina spp</i>	0.00	1.25	0.00	1.68	0.00	3.40	0.00	0.00	6.90	0.00	0.00	0.00
<i>Asplanchnopus sp 2</i>	0.00	0.00	0.00	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Asplanchna sp 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Asplanchnopus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Anuraeopsis sp 2</i>	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus angularis</i>	5.10	22.50	429.00	216.08	31.88	447.10	1.55	104.00	4.60	858.45	0.00	0.00
<i>Brachionus calyciflorus</i>	1.28	23.75	316.80	113.90	5.63	188.70	4.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Brachionus dimidiatus</i>	0.00	0.00	13.20	0.00	0.00	8.50	0.00	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus plicatilis</i>	6.38	10.00	75.90	16.75	0.00	15.30	1.55	18.20	4.60	29.50	3.70	0.00
<i>Notholca sp</i>	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachionus caudatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	1.15	0.00	0.00	11.25
<i>Encentrum spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00
<i>Epiphanes clavatula</i>	0.00	0.00	0.00	11.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastropus sp 8</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastropus sp 9</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ascomorpha spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Gastropus sp 10</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Monommata sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Proales sp 1</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Proales sp 2</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Proales sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ploeosoma spp</i>	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Synchaeta sp 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Synchaeta sp 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00
<i>Trichocerca sp 2</i>	2.55	51.25	8.25	425.45	11.25	156.40	1.55	1336.40	1.15	498.55	0.00	0.00
<i>Trichocerca spp</i>	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Trichocerca pusilla</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	150.45	2200.00	1338.15	1254.58	168.75	1268.20	58.90	1796.60	105.80	2377.70	12.95	16.25

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



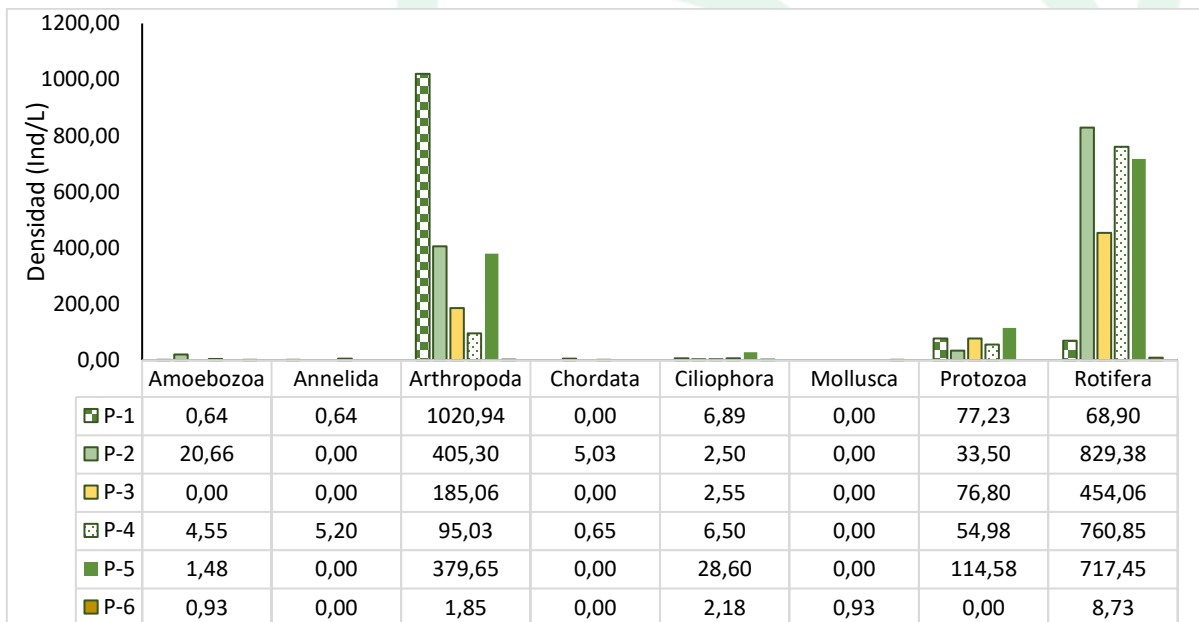
Tabla 47. Densidad promedio y por punto de monitoreo del zooplancton registrado en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Centropyxis spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	0.00	1.48
<i>Diffflugia binucleata</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Diffflugia cf linearis</i>	0.64	18.15	0.00	4.55	0.00	0.00	23.34
<i>Diffflugia spp</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Diffflugia acutissima</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93
<i>Nebela lageniformis</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	0.64	0.00	0.00	5.20	0.00	0.00	5.84
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	2.50	21.63	32.39	7.80	42.78	0.00	107.09
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	58.75	0.00	1.70	0.00	0.00	1.85	62.30
<i>Ergasilus spp</i>	31.26	8.25	46.84	2.60	33.93	0.00	122.88
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	928.43	375.43	104.14	84.63	302.95	0.00	1795.56
<i>Poeciliidae Morfoespecie juvenil</i>	0.00	0.84	0.00	0.65	0.00	0.00	1.49
<i>Poeciliidae Morfoespecie larva</i>	0.00	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19
<i>Ciliata-ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	1.25
<i>Ciliata-ND Morfoespecie 4</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.58
<i>Euplotes spp</i>	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Eutintinus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
<i>Brandtiella spp</i>	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Tintinnidae-ND Morfoespecie</i>	0.00	0.83	0.00	0.65	0.00	0.00	1.48
<i>Codonella galea</i>	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64
<i>Tintinnopsis nana</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Tintinnopsis parvula</i>	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	1.70
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	0.00	0.85	0.65	2.95	0.00	4.45
<i>Ascampbelliella spp</i>	0.00	0.00	0.00	3.90	25.08	0.93	29.90
<i>Vorticella sp 6</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Vorticella spp</i>	3.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75
<i>Vorticella sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
<i>Bivalvia ND Morfoespecie Larva de bivalvo 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93
<i>Euglypha spp</i>	77.23	33.50	76.80	54.98	114.58	0.00	357.08
<i>Filinia longiseta</i>	3.75	5.03	13.01	13.00	5.90	0.00	40.69
<i>Filinia terminalis</i>	0.00	1.68	1.70	6.50	7.38	0.00	17.25
<i>Pompholyx spp</i>	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Ptygura sp 5</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Sinantherina spp</i>	0.63	0.84	1.70	0.00	3.45	0.00	6.61
<i>Asplanchnopus sp2</i>	0.00	2.51	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51
<i>Asplanchna sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
<i>Asplanchnopus spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.63
<i>Anuraeopsis sp2</i>	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>Brachionus angularis</i>	13.80	322.54	239.49	52.78	431.53	0.00	1060.13
<i>Brachionus calyciflorus</i>	12.51	215.35	97.16	2.33	0.00	0.00	327.35
<i>Brachionus dimidiatus</i>	0.00	6.60	4.25	1.95	0.00	0.00	12.80



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Brachionus plicatilis</i>	8.19	46.33	7.65	9.88	17.05	1.85	90.94
<i>Notholca sp</i>	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
<i>Brachionus caudatus</i>	0.00	0.00	0.00	1.30	0.58	5.63	7.50
<i>Encentrum spp</i>	0.00	0.00	0.85	0.00	0.58	0.00	1.43
<i>Epiphanes clavatula</i>	0.00	5.86	0.00	0.00	0.00	0.00	5.86
<i>Gastropus sp8</i>	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
<i>Gastropus sp9</i>	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
<i>Ascomorpha spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.63
<i>Gastropus sp 10</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
<i>Monommata sp</i>	0.00	0.00	2.55	0.00	0.00	0.00	2.55
<i>Proales sp1</i>	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
<i>Proales sp2</i>	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
<i>Proales sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
<i>Ploeosoma spp</i>	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
<i>Synchaeta sp2</i>	0.00	0.00	1.88	1.55	0.00	0.00	3.43
<i>Synchaeta sp3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	1.15
<i>Trichocerca sp2</i>	26.90	216.85	83.83	668.98	249.85	0.00	1246.40
<i>Trichocerca spp</i>	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
<i>Trichocerca pusilla</i>	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.65
Total	1175.23	1296.36	718.48	927.75	1241.75	14.60	5374.16

FUENTE: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.


Figura 51. Distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



La densidad promedio total de la comunidad de zooplancton de la ciénaga El Rincón obtuvo un valor de 5374.16 Ind/L, registrando su máximo en P-2 con 1296.36 Ind/L y su mínimo en P-6 con 14.60 Ind/L. En general, las densidades a nivel espacial presentaron un comportamiento heterogéneo, lo que resulta común en este tipo de comunidades que responde a las fluctuaciones ambientales, mediadas por gradientes ecológicos que ocurren en los diferentes puntos de monitoreo que proporcionan una variedad de microhábitats a las morfoespecies.

Al calcular los índices ecológicos, se determinó que la estructura de la comunidad zooplanctónica de la ciénaga El Rincón presenta una diversidad media, siendo mayor en P-3 ($H':1,98$); los puntos P-1 y P-4 reportaron los valores más bajos relacionados con una menor equitatividad del ensamblaje ($J' < 0.5$), la cual influencia de manera negativa al índice de Shannon. En general todos los puntos presentaron equitatividad baja a excepción de P-3 y P-6, comportamiento que es explicado por la dominancia de Morfoespecie Larva Nauplio, *B.angularis* y *Trichocerca* sp2. El índice de diversidad de Simpson obtuvo resultados consistentes con lo obtenido por Shannon, lo que demuestra la conceptualidad de los mismos que indica que incrementan de manera proporcional a la riqueza y abundancia de individuos. Por su parte, la riqueza de Margalef relacionó valores asociados a diversidad alta ya que estos fueron superiores a dos, el valor más alto fue registrado en P-2 donde se observaron 30 morfoespecies **Tabla 48**.

Tabla 48. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga el Rincón en de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$)

Índice	Taxa	N	J'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	H'	d
P-1	20	1175.25	0.3112	0.6325	0.3675	0.9322	2.688
P-2	30	1296.44	0.5466	0.2039	0.7961	1.859	4.046
P-3	18	718.49	0.6865	0.1822	0.8178	1.984	2.585
P-4	25	927.78	0.3592	0.5355	0.4645	1.156	3.512
P-5	17	1241.8	0.6063	0.2319	0.7681	1.718	2.246
P-6	9	14.63	0.8634	0.2032	0.7968	1.897	2.982

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.2.1.2.3 Perifiton

La comunidad de perifiton registró en total 21 morfoespecies, distribuidas en 10 familias, nueve (9) órdenes, cuatro (4) clases y tres (3) divisiones (**Tabla 49**). La división más diversificada fue la Bacillariophyta (diatomeas) con el 63% de las morfoespecies seguida por las Cyanobacterias (algas verdeazules) con el 21% y Chlorophyta (Algas verdes) con el 16% de la riqueza en el sistema. Las diatomeas se encuentran dentro de los grupos más tolerantes a condiciones de mineralización, contaminación orgánica y sólidos suspendidos (Ramírez y Viña, 1998) En cuanto a las Cianobacterias, miembros muy comunes e importantes de las comunidades de algas de arroyos y dominantes en varios sistemas fluviales en todo el mundo (Aboal 1989, Whitton 1992). La alta variedad de clorófitas es una condición típica de muchos sistemas tropicales dulceacuícolas, aunque en términos de densidad y biomasa tienden a ser relevadas por otros grupos (Ramírez 2000).

Tabla 49. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga El Rincón.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia sp1</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp1</i> <i>Oscillatoria sp2</i>
		Nostocales	Calothricaceae	<i>Calothrix sp</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus quadricaudus</i>
				<i>Tetrademuslagerheimii</i>
				<i>Scenedesmus sp1</i>
				<i>Desmodesmus sp1</i>
		<i>Desmodesmus intermedius</i>		
Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp1</i>		
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Navicula sp1</i>
				<i>Navicula sp2</i>
				<i>Nitzschia sp1</i>
				<i>Nitzschia sp2</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp1</i>
				<i>Gyrosigma sp2</i>
		Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp1</i> <i>Gomphonema sp2</i>
			Cymbellaceae	<i>Cymbella sp1</i>
	Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Flagilaria sp</i>
				<i>Synedra sp</i>



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
3	4	9	10	21

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En P1 las diatomeas registraron el 70% riqueza total de las morfoespecies, seguida por el phylum Cyanobacteria con el 20% y por último las Chlorophyta con el 10%, por el contrario, para el punto P2 tanto Cianobacterias y Chlorophyta registraron el mismo porcentaje de riqueza un 22%, sin embargo, al igual que los demás puntos, Bacillariophyta fue la más representativa con el 56%. En cuanto a P3, tanto Bacillariophyta como Cyanobacterias tuvieron el mismo porcentaje de riqueza (40%), seguida de Chlorophyta con un 20%. Para P4, el mayor número de morfoespecies fueron agrupadas en el Phylum de las Bacillariophyta que representaron el 53% de la riqueza, seguida de Chlorophyta con el 33%, Cianobacterias con el 22% y por último P6 donde las Bacillariophyta fueron el único phylum presente (100%) (**Figura 52**).



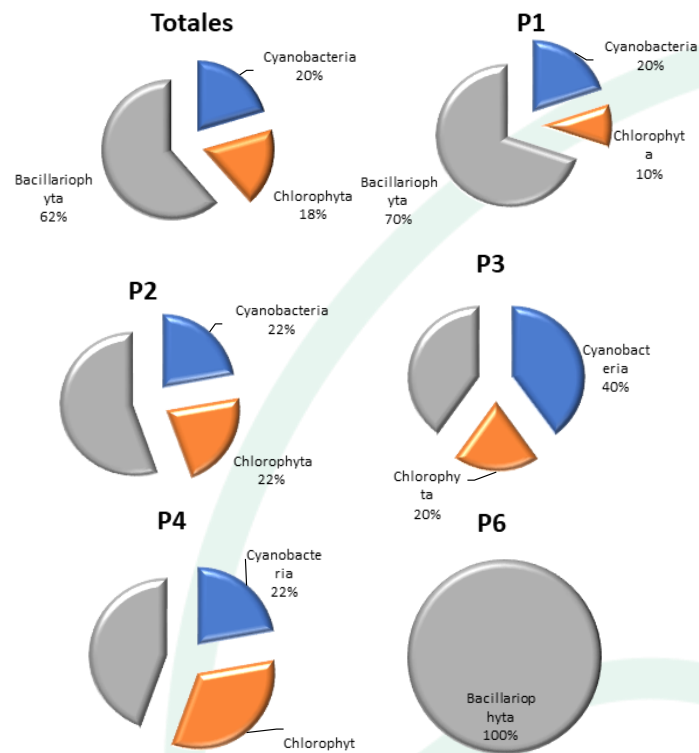


Figura 52. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga El Rincón, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad total media del perifiton en la ciénaga El Rincón fue de 260265.42 Ind/cm², siendo máxima en el punto P-1 con 94371.42 Ind/cm² y mínima en P-3 (**Tabla 51**). La estructura del perifiton estuvo dominada en términos de riqueza por algas de la división Bacillariophyta, las cuales estuvieron mejor representadas en P-1, donde reportaron siete morfoespecies, asimismo obtuvieron la proporción más alta en la densidad total con 69650.00 Ind/cm² en dicho punto. Los puntos de monitoreo restantes registraron aportes inferiores a 42224. 87 Ind/cm² de esta división. La división Chlorophyta obtuvo aportes importantes en el ensamblaje de la ciénaga, principalmente en P-4 con 18839. 21 Ind/cm². Por su parte, las contribuciones de las algas de la división Cyanobacteria estuvieron relacionadas únicamente con los puntos P-1, P-3, P-4 y P-5(**Figura 53**).



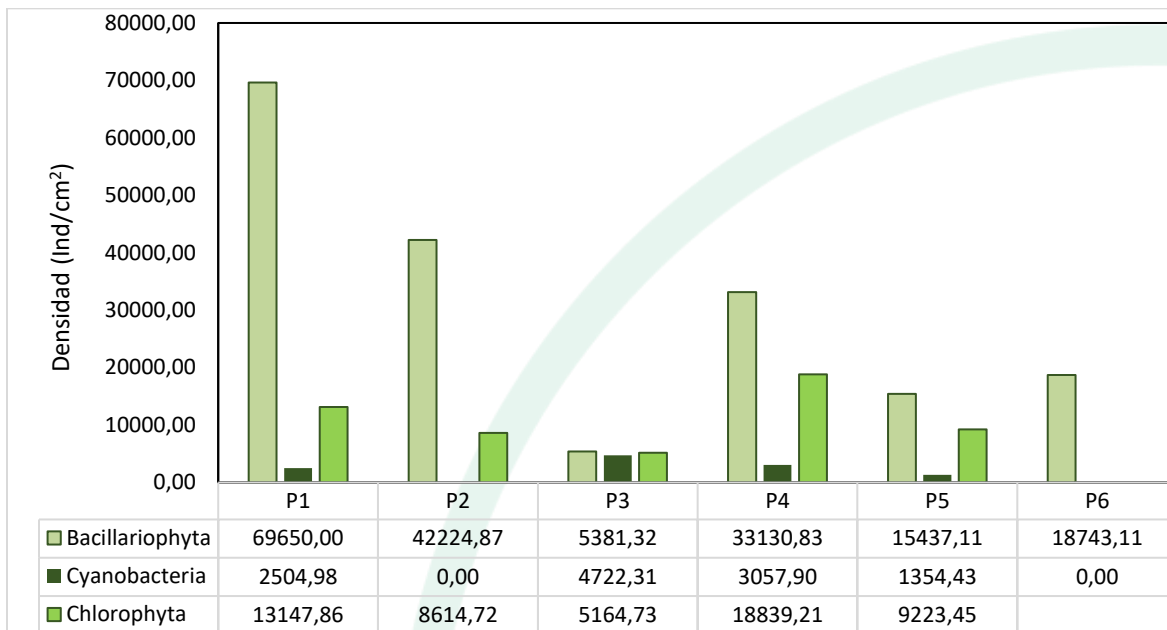


Figura 53. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga El Rincón.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Las morfoespecies más abundantes fueron *Navicula* sp1, *Synedra* sp y *Scenedesmus quadricaudus* con densidades promedio de 59735.65 Ind/cm², 56754.41 Ind/cm² y 37480.42 Ind/cm² respectivamente (Tabla 50, Tabla 51). Según Sarmiento y Ruiz (2018), el género *Navicula* puede estar asociado a las altas concentraciones de nitratos y fosfatos, mientras que *Synedra* domina cuerpos de agua con condiciones predominantemente mesotróficas (Duque y Donato, 1992). Por su parte; las especies de *Scenedesmus* viven bien en aguas con elevado contenido mineral, otras pueden vivir en aguas contaminadas y lagunas de estabilización. En general, dominan cuando las concentraciones de fósforo son altas (Margalef, 1983)



Tabla 50. Densidad por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas ciénaga El Rincón.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	P1	P1-1	P2	P2-2	P3	P3-1	P4	P4-1	Día 1	Día 2	P6	P6- 1
<i>Merismopedia sp1</i>	350.00	356.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp1</i>	2004.55	2298.72	0.00	0.00	4743.38	2478.44	2363.30	1648.14	1648.14	0.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1392.66	711.69	711.69	0.00	0.00	0.00
<i>Calothrix sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1160.62	1062.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus quadricaudus</i>	9481.82	10502.75	6827.59	7620.00	0.00	0.00	13124.77	13784.41	13784.41	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1050.00	1704.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus sp1</i>	0.00	79.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Desmodesmus sp1</i>	350.00	317.06	0.00	0.00	0.00	0.00	3671.56	2397.29	2397.29	0.00	0.00	0.00
<i>Desmodesmus intermedius</i>	731.82	673.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oedogonium sp1</i>	572.73	832.29	1058.28	1723.57	7014.15	3315.31	2827.52	1872.88	1872.88	0.00	0.00	0.00
<i>Navicula sp1</i>	28731.82	38364.77	5393.79	8481.79	4390.15	3186.56	2363.30	1573.22	1573.22	0.00	13800.00	11415.15
<i>Navicula sp2</i>	10945.45	11969.17	0.00	0.00	0.00	0.00	4388.99	3034.07	3034.07	0.00	0.00	496.31
<i>Gyrosigma sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	440.00	330.87
<i>Gyrosigma sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp1</i>	6045.45	6975.41	5530.34	6985.00	0.00	0.00	3291.74	2097.63	2097.63	0.00	2200.00	2812.43
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	2594.48	4172.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gomphonema sp1</i>	6713.64	8957.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2600.00	3226.02
<i>Gomphonema sp2</i>	1686.36	2734.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cymbella sp1</i>	13459.09	15892.84	6383.79	9207.50	2220.31	965.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Flagilaria sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	165.44
<i>Synedra sp</i>	2068.18	2893.21	14064.83	21635.36	0.00	0.00	27600.00	21912.71	21912.71	0.00	0.00	0.00
Total	84190.91	104551.93	41853.10	59826.07	19528.62	11008.13	61023.85	49032.03	49032.03	0.00	19040.00	18446.21

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Tabla 51. Densidad promedio de la comunidad perifítica por punto de monitoreo en la ciénaga El Rincón.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	Total
<i>Merismopedia sp1</i>	353.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	353.35
<i>Oscillatoria sp1</i>	2151.63	0.00	3610.91	2005.72	913.46	0.00	8681.72
<i>Oscillatoria sp2</i>	0.00	0.00	0.00	1052.18	440.97	0.00	1493.15
<i>Calothrix sp</i>	0.00	0.00	1111.40	0.00	0.00	0.00	1111.40
<i>Scenedesmus quadricaudus</i>	9992.29	7223.79	0.00	13454.59	6809.75	0.00	37480.42
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1377.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1377.11
<i>Scenedesmus sp1</i>	39.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.63
<i>Desmodesmus sp1</i>	333.53	0.00	0.00	3034.42	1357.93	0.00	4725.88
<i>Desmodesmus intermedius</i>	702.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	702.79
<i>Oedogonium sp1</i>	702.51	1390.92	5164.73	2350.20	1055.77	0.00	10664.14
<i>Navicula sp1</i>	33548.29	6937.79	3788.36	1968.26	885.37	12607.57	59735.65
<i>Navicula sp2</i>	11457.31	0.00	0.00	3711.53	1686.40	248.16	17103.40
<i>Gyrosigma sp1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	385.44	385.44
<i>Gyrosigma sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp1</i>	6510.43	6257.67	0.00	2694.69	1198.08	2506.21	19167.08
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	3383.67	0.00	0.00	0.00	0.00	3383.67
<i>Gomphonema sp1</i>	7835.35	0.00	0.00	0.00	0.00	2913.01	10748.36
<i>Gomphonema sp2</i>	2210.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2210.52
<i>Cymbella sp1</i>	14675.97	7795.65	1592.97	0.00	0.00	0.00	24064.58
<i>Flagilaria sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.72	82.72
<i>Synedra sp</i>	2480.70	17850.09	0.00	24756.36	11667.27	0.00	56754.41
Total	94371.42	50839.59	15268.37	55027.94	26014.99	18743.11	260265.42

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a la estructura de la comunidad perifítica descrita a través de los índices ecológicos (Tabla 52), los valores sugieren que el ensamblaje registrado presenta una diversidad baja, siendo mayor en P-1 con 15 morfoespecies; la equidad presentó valores altos para todos los puntos, a excepción del punto P-6 donde la morfoespecie *Navicula sp1* obtuvo contribuciones bastante superiores al resto del ensamblaje perifítico. El índice de dominancia reportó valores congruentes con los del índice de equitatividad, siendo más alto en P-6. El índice de Margalef indicó una diversidad que tiende a ser baja dado que sus valores fueron inferiores a 2. Según Margalef (1995), valores inferiores a 2.0 son relacionados con zonas de baja diversidad y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.



Tabla 52. Índices ecológicos para el perifiton en el Lago del Cisne, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson (1- λ), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J	H'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson (1- λ)	d
P-1	15	94371.41	0.735	1.99	0.1903	0.8097	1.222
P-2	7	50839.58	0.8946	1.741	0.2059	0.7941	0.5537
P-3	5	15268.37	0.9196	1.48	0.2481	0.7519	0.4152
P-4	9	55027.95	0.7479	1.643	0.277	0.723	0.7329
P-5	9	26015	0.7353	1.616	0.283	0.717	0.7869
P-6	6	18743.11	0.5504	0.9862	0.4951	0.5049	0.5082

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.2.1.2.4 Macrófitas

La composición de especies de macrófitas acuáticas fue monoespecífica, siendo representada por la especie *Cyperus sp* (Tabla 53).

Tabla 53. Especies de macrófitas acuáticas registradas en la ciénaga el Rincón en diciembre de 2020 - enero de 2021. Biotipos: Acropleustophita (AC), Helophyta (He) y Mesopleustophyta (Me).

División	Clase	Orden	Familia	Especie	Biotipo
Tracheophyta	Magnoliopsida	Poales	Cyperaceae	<i>Cyperus sp2</i>	He

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La macrófita acuática presente en la ciénaga El Rincón sólo se pudo determinar hasta género. Las especies de este género son típicas de las ciénagas de la cuenca baja del Magdalena, donde forman herbazales de diferentes configuraciones en las orillas de los cuerpos de agua (Cortés-Castillo y Rangel-Ch, 2015).

En cuanto al porcentaje de cobertura de las macrófitas, la morfoespecie *Cyperus sp2* fue dominantes en los puntos de muestreo o muy cercanos a ello, en P1, P2, P3 y P4 con el 100% (Tabla 54), el punto P5 estuvo ausente por estar en el centro del cuerpo de agua y P6 en el Arroyo León no se registraron macrófitas en este punto.



Tabla 54. Porcentaje de cobertura media y por día de monitoreo de las especies de macrófitas acuáticas registradas en la ciénaga El Rincón. Parte I.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		Total
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	
<i>Cyperus sp2</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.2.1.2.5 Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Rincón estuvo representada por tres (3) morfoespecies, las cuales se encontraron distribuidas en dos (2) divisiones, dos (2) clases, tres (3) órdenes e igual cantidad de familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 55**.

Tabla 55. Clasificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Thiaridae	<i>Melanoidestuberculata</i>
		Littorinimorpha	Hidrobiidae	<i>Hidrobiidae sp1</i>
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	<i>Chironomidae sp</i>

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En términos de riqueza, la división Mollusca obtuvo la proporción más alta, correspondiéndole al 67% de la división total, mientras que el 33% restante lo obtuvo Arthropoda (**Figura 54**). La dominancia de Mollusca se encuentra dada por el grado de sensibilidad ambiental de sus taxones que tiende a ser bastante amplio, particularmente, esta división estuvo representada por gasterópodos característicos de fondos de sistemas lénticos como la ciénaga El Rincón, donde son predominantes altas concentraciones de materia orgánica, la cual es utilizada por este grupo como fuente de alimento. Por su parte, Arthropoda contiene un número de taxones más reducidos que toleran tales condiciones del fondo, dentro los cuales resaltan las fases larvales de algunas familias de dípteros, como por ejemplo Chironomidae.



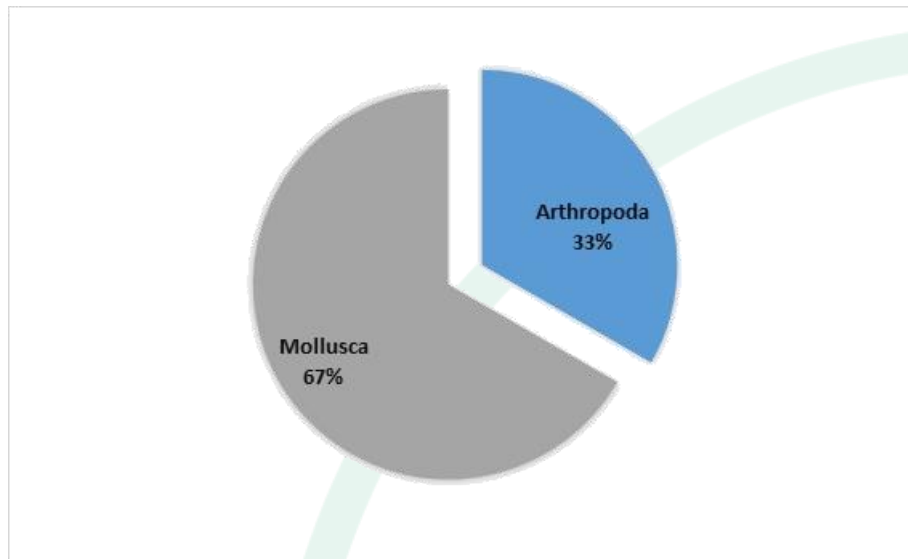


Figura 54. Representatividad específica de las divisiones bentónicas en la ciénaga El Rincón.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a la distribución espacial de las divisiones bentónicas, se observó que Mollusca dominó en todos los puntos monitoreo, estando mejor representada en P4, donde registró 11161.11 Ind/m², en cuanto a Arthropoda, estuvo restringida a densidades más bajas, aunque importantes, ya que registró un máximo en el punto P3 de 1133.33 Ind/m² (**Figura 55**). El punto de densidad mínima de Mollusca fue P1; mientras que P2 lo fue para Arthropoda. La variabilidad espacial en la composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos se encuentra relacionada con factores de carácter biótico y abiótico que generan gradientes a escalas espacio-temporales que promueven el desarrollo de ciertos taxones en detrimento de otros (Oyague-Passuni y Maldonado-Fonkén, 2015). Teniendo en cuenta esto, gradientes a pequeñas escalas están favoreciendo la dominancia de moluscos en la ciénaga El Rincón (principalmente en los puntos P4 y P5), los cuales se ven incrementados comúnmente con niveles altos de alcalinidad y contenido orgánico, ya que este grupo utiliza el carbonato de calcio para la construcción de sus conchas (Roldán y Ramírez, 2008).



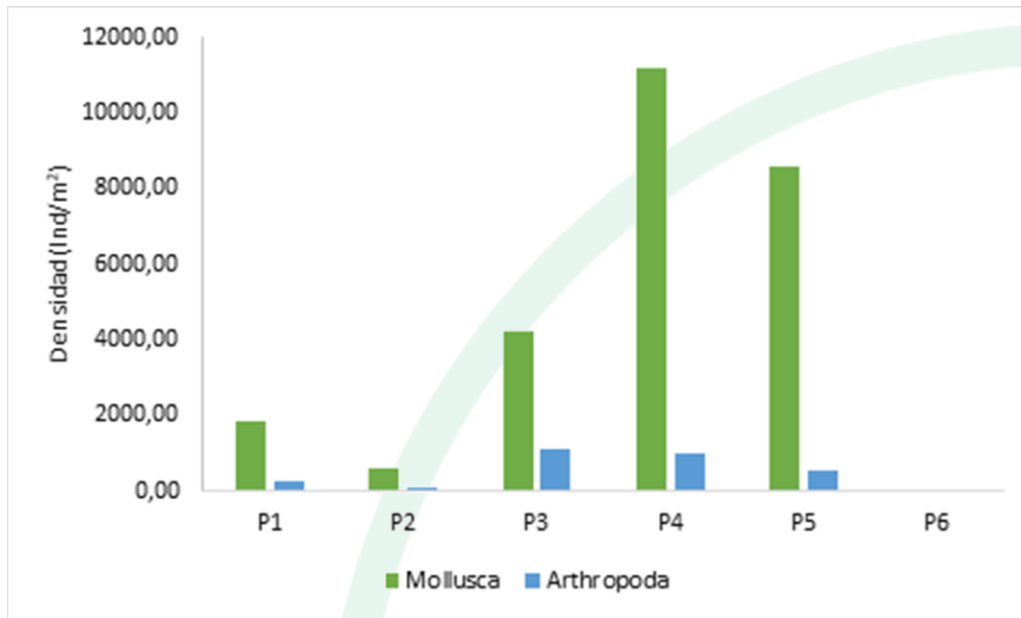


Figura 55. Contribución a la densidad total de las divisiones bentónicas registradas en la ciénaga El Rincón
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Las densidades bentónicas observadas fueron relativamente altas considerando el bajo número de morfoespecies (3 taxa), los valores máximos se registraron en el punto P4, el cual obtuvo el 42% de la densidad total, seguido de P5 (31%), P3 (15%), P1 (2%) y P2 (2%). En el punto P6 no se observaron morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos (**Figura 56**). Las variaciones en las contribuciones porcentuales de los diferentes puntos de monitoreo se encuentran explicadas por el aporte diferencial de las morfoespecies a la densidad total en cada uno de dichos puntos, así la mayor proporción en P4 es debida a las densidades que alcanzó el molusco *Melanoides tuberculatus*, que representaron más del doble de las registradas en los demás puntos de monitoreo.



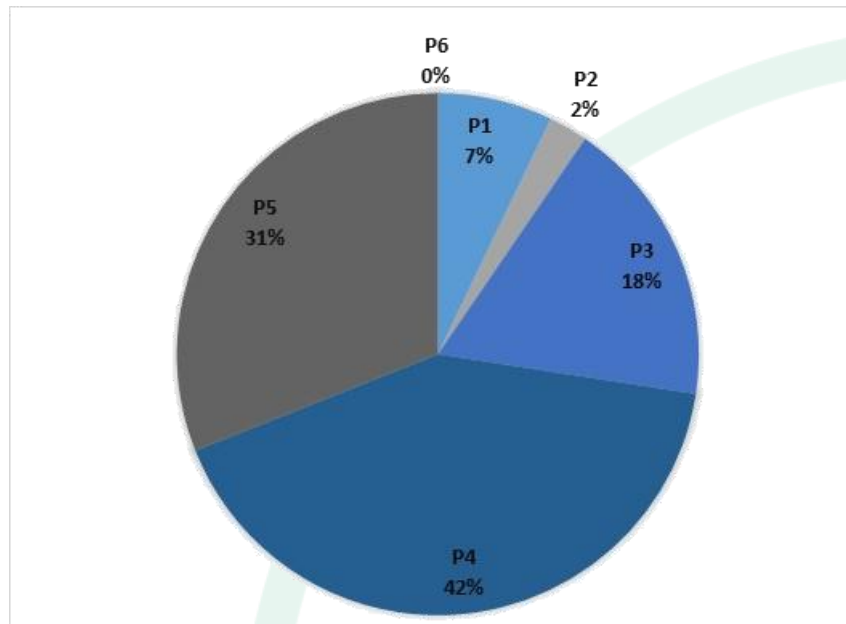


Figura 56. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga El Rincón

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Las morfoespecies más abundantes fueron *M.tuberculatus* y *Chironomidae* sp, las cuales alcanzaron densidades máximas de 24127.78 Ind/L y 2472.22 Ind/L respectivamente; mientras que la menos representativa fue *Hydrobiidae* sp1 (Tabla 56,

Tabla 57) (Figura 57). *M. tuberculatus* es una especie invasora altamente competitiva, con capacidad de desplazar a las especies endémicas de sitios donde se ha introducido, también puede servir como un potencial huésped intermedio de parásitos que puede afectar a los seres humanos y a los peces de importancia comercial (Pinto y Melo, 2010). Esta especie es originaria de África oriental, Mediterráneo oriental, India, sudeste de Asia, Malasia y sur de China (Ladd y Rogowski 2012). Da Silva *et al.* (1994) indica que predomina en sustratos de barro blando o arena en cuerpos de agua poco profundos de flujo lento, en general, muestra una alta resistencia a la contaminación y otras condiciones adversas (Pointier *et al.*, 1993).

En cuanto a la familia Chironomidae, Elper (2001) señala que toleran grandes cantidades de materia orgánica y bajas concentraciones de oxígeno disuelto ya que presentan un grupo hemo que los



adapta a vivir bajo estas condiciones. La fuente de alimentación de estas larvas es la materia orgánica, de esta manera, mientras las condiciones sean ideales pueden sobrevivir en este estado por muchos años. Las larvas de Chironomidae juegan un papel ecológico importante en el proceso de bioturbación en la interfaz sedimento-agua. En ambientes eutróficos, lo hacen en la removilización de nitrógeno para los productores primarios (Svensson, 1997). En los ecosistemas lacustres, estos organismos participan en dos redes: (1) por la cadena de detritos, ingiriendo fragmentos orgánicos y microorganismos asociados, (2) por la red trófica, al comer organismos más pequeños y ser consumidos por otros insectos, alevines, aves acuáticas. y peces bentófagos (Aguiaro y Caramaschi, 1998).

Tabla 56. Densidad promedio y por día de monitoreo (Ind/m²) de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón (El cisne).

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>M. tuberculata</i>	1944.44	1266.67	588.89	455.56	5088.89	3400.00	10366.67	9566.67	8011.11	7566.67
<i>Hydrobiidae sp1</i>	55.56	400.00	66.67	133.33	0.00	866.67	0.00	2388.89	0.00	1533.33
<i>Chironomidae sp</i>	488.89	22.22	88.89	88.89	1133.33	0.00	2044.44	0.00	1077.78	0.00
Total (Ind/m²)	2488.89	1688.89	744.44	677.78	6222.22	4266.67	12411.11	11955.56	9088.89	9100.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

Tabla 57. Densidad promedio y por punto de monitoreo (Ind/m²) de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Rincón (El cisne).

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	Total
<i>Melanoides tuberculatus</i>	1605.56	522.22	4244.44	9966.67	7788.89	24127.78
<i>Hydrobiidae sp1</i>	227.78	100.00	433.33	1194.44	766.67	2722.22
<i>Chironomidae sp</i>	255.56	88.89	566.67	1022.22	538.89	2472.222
Total (Ind/m²)	2088.89	711.11	5244.44	12183.33	9094.44	29322.22

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



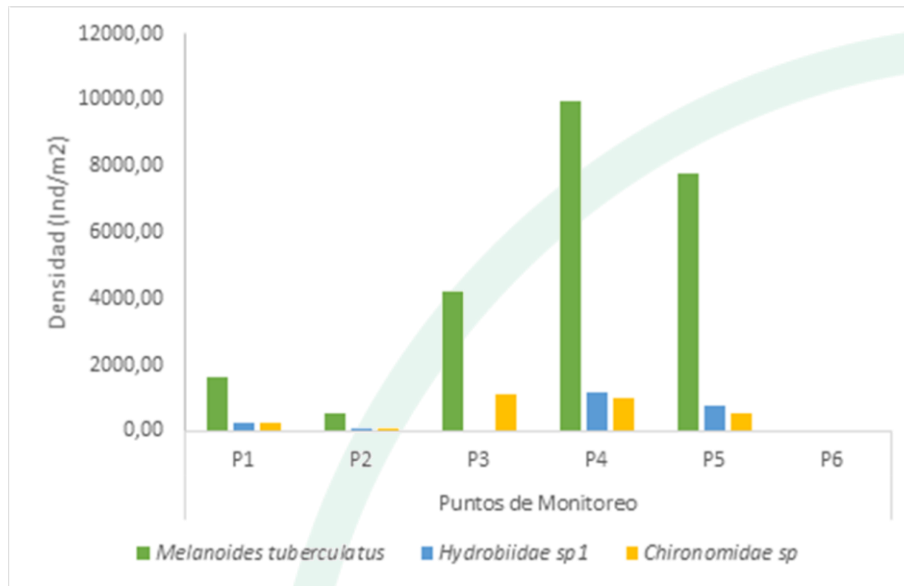


Figura 57. Contribución a la densidad total de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos registradas en la ciénaga El Rincón
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.2.1.2.6 Ictiofauna

A pesar del esfuerzo de muestreo (6 puntos de muestreo con una réplica), sólo se logró registrar la presencia de una especie (*Oreochromis niloticus*), con una abundancia total de 11 individuos (Tabla 58, Tabla 59; Tabla 60).

Tabla 58. Clasificación taxonómica, Numero de individuos, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la Ciénaga El Rincón en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 59. Abundancia total y por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga El Rincón.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		P-4	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,00	2,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	0,00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Tabla 60. Abundancia total de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga El Rincón.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	P-4	Total
<i>Oreochromis niloticus</i>	2,00	4,00	4,00	1,00	11,00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Es inadecuado sacar conclusiones ecológicas o ambientales a partir de estos resultados ya que pueden ser el producto de un efecto de la selectividad del arte de pesca empleado y/o del esfuerzo de muestreo realizado. No obstante, puede resultar preocupante que la única especie registrada en la ciénaga El Rincón sea *Oreochromis niloticus*, debido a que es una especie foránea que ha logrado ser muy exitosa en la cuenca del Magdalena y del Caribe, en donde ha tenido un impacto negativo sobre las demás especies (Gutiérrez, 2006; Gutiérrez-Bonilla y Álvarez-León, 2011), llegando a desplazar a otras especies nativas (Caraballo, 2009).

Es importante tener en cuenta que este cuerpo de agua está bajo fuerte presión antrópica, ya que se encuentra en medio de un área de desarrollo urbano y turístico, llegándose a presentar conflictos por el uso de sus aguas y pérdidas significativas de su espejo de agua. Ese escenario hace esperar que las condiciones para el sostenimiento de la ictiofauna en esta ciénaga estén fuertemente alteradas, haciendo coherente la falta de diversidad de peces en esta.

6.2.2. Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga El Rincón.

Teniendo en cuenta los resultados del ICAcc para todas las estaciones y las campañas del 27 y 28 de diciembre de 2020, excepto P6, puesto que corresponde al sector del Arroyo León donde está la captación que surte a la ciénaga, fue estimado un valor de 55.74 en la escala, que equivale a una condición ambiental regular, en la que se indica que las condiciones son parcialmente favorables para la flora y fauna. Contribuyeron de manera desfavorable, el subíndice de condiciones del medio, en particular por lo encontrado de SST, el subíndice de condiciones del sedimento, que se expresó con una comunidad de macroinvertebrados muy pobre, y la contaminación residual, aunque este último puede ser subjetivo, pues para su cálculo se emplearon los límites de cuantificación



reportados en los análisis, ya que todas las determinaciones estuvieron por debajo de estos niveles para las variables HTP, Detergentes y Grasas y Aceites (**Tabla 61**).

Tabla 61. Valores de los subíndices y del índice ICAcc para la ciénaga El Rincón.

Condición	Variable	Resultados Subíndices Dic-2020	
Subl: METALES PESADOS	As	100.00	85.20
	Cd	85.03	
	Pb	83.92	
	Cu	94.56	
	Hg	62.00	
Subl: COND. DEL MEDIO	OD	70.80	62.82
	pH	73.97	
	SST	38.15	
Subl: COND SED.	SED MO	-	7.59
	SED pH	-	
	MACROINV D	7.59	
Subl: MO Y MICROBIOL	COLTT	96.29	69.28
	DBO ₅	60.69	
	PSEUDOM	47.81	
Subl: CONT. RESIDUAL	DET	61.70	38.90
	GyA	16.08	
	HTP	-	
Subl: PRODUCTIVIDAD	NH ₃	46.00	84.71
	NO ₃	90.82	
	PO ₄	68.02	
	FITO	90.69	
ICA _{cc}		55.74	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

En la **Figura 58**, se puede observar la distribución de las condiciones de calidad del cuerpo de agua, como resultado de la interpolación de los valores del ICA_{cc} de las estaciones de monitoreo.



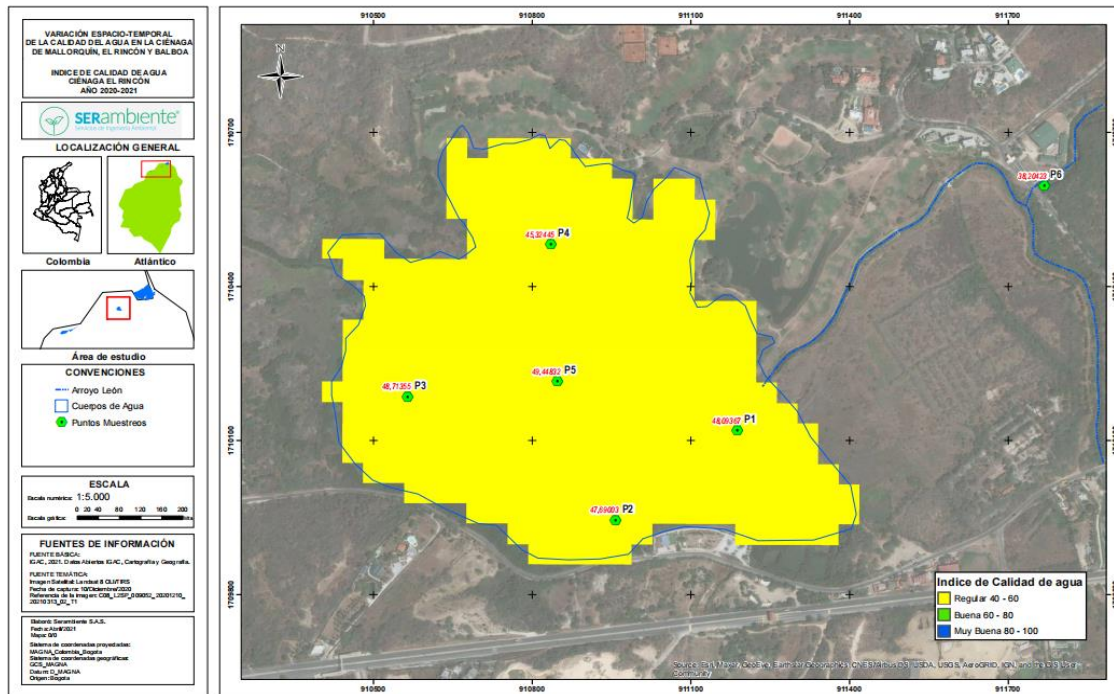


Figura 58. Variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga El Rincón.
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

A continuación, se hace un análisis discriminado por subíndices, con el objetivo de tener una visión más amplia de la situación del cuerpo de agua, expresada a través del índice propuesto (ICAcc) para estimar su condición ambiental.

6.2.2.1. Subíndice Metales Pesados.

El subíndice metales pesados registró valores indicadores de buena y muy buena calidad ambiental para la ciénaga El Rincón, en lo que respecta a los resultados de las estaciones ubicadas en el espejo de agua, no obstante, el resultado no fue muy diferente para el punto de captación de aguas que son tratadas y conducidas desde el arroyo León. No obstante, como se ha resaltado para la ciénaga de Mallorquín, es necesario tener en cuenta, para futuros monitoreos, el contenido de metales pesados atrapados en los sedimentos, donde son susceptibles de liberarse por cambios en las condiciones fisicoquímicas del ambiente, particularmente el pH, y también por vías biológicas como



la biomagnificación. Sin embargo, el estudio de los metales pesados y el riesgo que pueden representar para la biota, debe abordarse desde un punto de vista, más allá de la determinación química de la presencia y cuantificación de estos elementos, puesto que la disponibilidad va a depender de muchos factores, entre estos, las especies biológicas, la temperatura, el oxígeno disuelto, la solubilidad, el potencial hidrogeniónico, el potencial redox, el contenido de carbono orgánico total, la granulometría, la concentración de sulfuros, entre otros. De ahí que se recomiende complementar las evaluaciones, mediante estudios como el ecotoxicológico, o el contenido de metales en los organismos entre otros (Marín, 2007).

6.2.2.2. Subíndice Condiciones del medio.

Este subíndice registro un promedio entre las estaciones ubicadas en el cuerpo de agua lagunar, de 62.82, indicando buena calidad, aunque la variable SST presentó condiciones de mala calidad en promedio con un valor de 38.15 de acuerdo con su respectiva curva de calidad, siendo el punto P5, correspondiente al sector central, donde los datos muestran mejores condiciones para la variable, lo cual tiene sentido porque es un sector profundo, y además se encuentra más retirado de la orilla que las otras estaciones, donde existe más cercanía con las fuentes naturales y antropogénicas que afectan la concentración de sólidos.

6.2.2.3. Subíndice Condiciones del sedimento.

Este compartimento ambiental, es el que viene afectando de manera recurrente la calidad ambiental de los cuerpos de agua evaluados, la expresión del subíndice es de muy mala calidad y está relacionada con la baja diversidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos asociados a los sedimentos. No obstante, se presentan abundantes especies indicadoras de contaminación orgánica como larvas de la familia Chironomidae y el molusco *M.tuberculata*. Esta especie de molusco se considera invasor, a la vez que es hospedero de tremátodos digéneos de importancia ecológica y epidemiológica, con posibles efectos en la fauna local (Vergara y Velásquez, 2009). También hay riesgos a la salud humana puesto que *M.tuberculata*, es hospedero potencial y



portador de tremátodos del género *Schistosoma*, causante de la enfermedad de la esquistosomiasis (Sri-Aroon, 2005). La esquistosomiasis intestinal, puede adquirirse por contacto con aguas de uso agrícola, doméstico o recreativo que contengan el parásito y sus vectores, en este caso *M. tuberculata*, pudiendo ocasionar dolor abdominal, diarrea, sangre en las heces, hepatomegalia y esplenomegalia (OMS, 2017). Por lo anterior, sería recomendable, para este cuerpo de agua, hacer estudios de identificación y cuantificación de larvas de trematodos, teniendo en cuenta la abundancia de hospederos, como indicador de la calidad microbiológica.

6.3.2.4. Subíndice Materia orgánica y condiciones microbiológicas.

Este subíndice tuvo un promedio general de 69.28, indicador de buena calidad ambiental, teniendo en cuenta solo las estaciones en el espejo de agua, discriminando el punto en el arroyo León, que presentó condiciones regulares a malas, con respecto a la DBO₅ y los Coliformes termotolerantes. Las condiciones sanitarias parecen ser buenas con respecto a la contaminación microbiológica de origen fecal, sin embargo lo relacionado con carga microbiológica no fecal, en este caso *P. aeruginosa*, aportó un peso mostrando condiciones regulares para esta variable, sobre todo hacia las estaciones P1, P2 y P3, estando los valores de mala calidad, más asociados hacia la estación P1 que coincide con el punto donde llegan las aguas del arroyo León luego de su tratamiento; una distribución similar se encontró para el indicador por DBO₅. El aporte de *P. aeruginosa*, a las condiciones sanitarias microbiológicas de origen no fecal es un aspecto relevante, atendiendo a los riesgos a la salud pública y de la fauna; a esto se sumaría, las posibles determinaciones que se hagan a futuro de identificación y cuantificación de larvas de tremátodos, de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

6.2.2.5. Subíndice Contaminación Residual.

Este subíndice con un resultado promedio de 38.9 y extendido a todo el cuerpo de agua indica mala calidad ambiental, sin embargo, su expresión estuvo determinada por los valores de los límites de cuantificación para las variables evaluadas. Estos límites resultaron para grasas y aceites,



correspondientes para el objetivo de calidad y para Detergentes, en un valor intermedio, con respecto a todas las referencias consultadas para la construcción de la curva de calidad de la variable. La variable HTP, se excluyó porque el límite de cuantificación superó las referencias. De esta manera, se obtuvo un valor conservador, para el subíndice, a favor de la conservación del ambiente, desde un punto de vista precautorio, teniendo en cuenta que este cuerpo de agua es surtido durante buena parte del año, con aguas residuales, aunque tratadas.

6.2.2.6. Subíndice Productividad.

Este subíndice presentó un promedio de 84.71, incluyendo los valores de las estaciones del cuerpo de agua, indicando en términos generales, concentraciones adecuadas de nutrientes y una productividad primaria fitoplanctónica moderada, sin evidencias de eutroficación, al menos para el período monitoreado. No obstante, el contenido de nitrógeno amoniacal (NH_3), aunque estuvo en todas las estimaciones por debajo del límite de cuantificación, se expresó, de acuerdo con su curva de calidad, un valor indicador de estado regular. De acuerdo con los resultados, vale la pena, para futuras estimaciones del índice, disponer de métodos de análisis con límites de cuantificación que permitan evaluar de manera más detallada la expresión del índice. No obstante, esto resalta la importancia de tener un indicador compuesto, ya que el peso de cualquiera de las variables se puede repartir en las demás, aunque a expensas de limitar el análisis de causas y efectos.

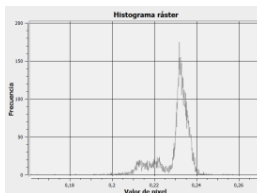
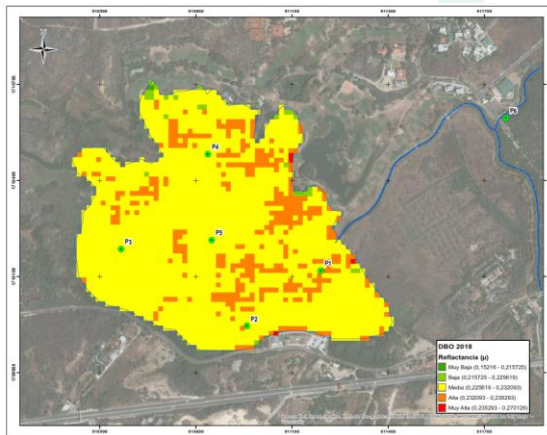
6.2.3. Análisis por sensores remotos.

La reflectancia capturada con la banda 2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la *Demanda Bioquímica de Oxígeno* en la ciénaga El Rincón es media, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.225619\mu - 0.232093\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 44.6 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de DBO_5 en el cuerpo de agua son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial. Para 2020, la reflectancia es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.139132\mu - 0.222801\mu$) presentando una distribución homogénea con



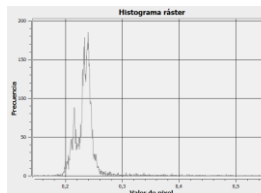
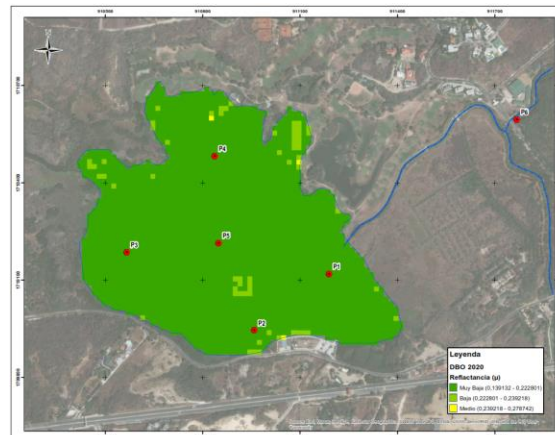
un área aproximada de 44.6 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, es decir, que los valores de DBO₅ en el cuerpo de agua son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial.

La variación espacial de la DBO₅ de la ciénaga El Rincón entre los años 2018 al 2020 (Anexo 7. Reflectancias de análisis para las variables fisicoquímicas en cada cuerpo de agua) se presenta en la totalidad de la superficie como una disminución, dado que los valores de reflectancia del año 2018 fueron mayores que los del 2020 en la totalidad del área de la superficie del cuerpo de agua (**Figura 59, Figura 60 y Figura 61**).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,15216 - 0,215725)	0,02
Baja (0,215725 - 0,225619)	0,52
Media (0,225619 - 0,232093)	44,66
Alta (0,232093 - 0,235293)	7,79
Muy Alta (0,235293 - 0,270126)	0,09

Figura 59. Reflectancia de DBO₅ en la ciénaga El Rincón, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,139132 - 0,222801)	51,89
Baja (0,222801 - 0,239218)	1,18
Medio (0,239218 - 0,278742)	0,06
Alta (0,278742 - 0,365244)	0,00
Muy Alta (0,365244 - 0,562557)	0,00

Figura 60. Reflectancia de DBO₅ en la ciénaga El Rincón, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



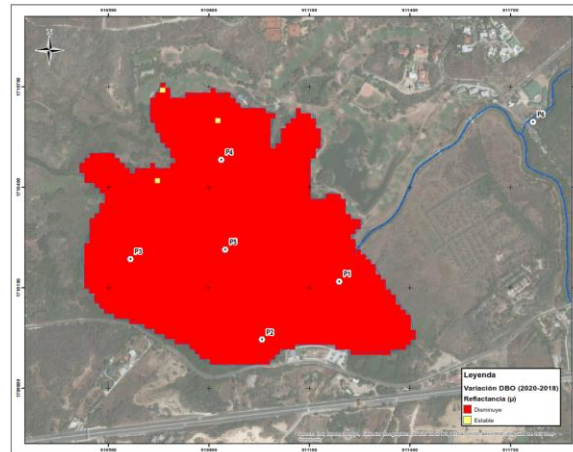


Figura 61. Variación espacial de DBO₅ en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.

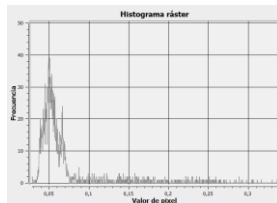
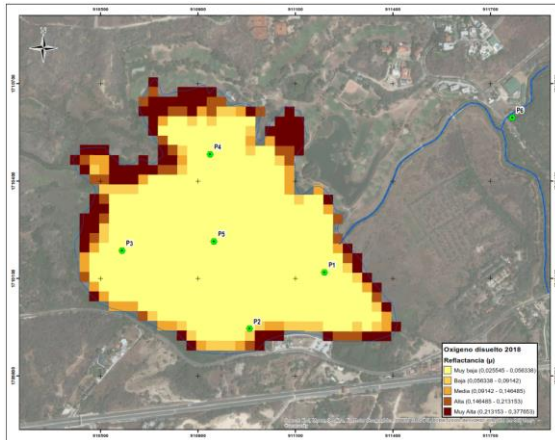
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La reflectancia capturada con la banda 5 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 del *Oxígeno Disuelto* en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.025545\mu - 0.056338\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 37 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media, alta y muy alta se encuentran en los bordes del cuerpo de agua, por consiguiente, los valores de *Oxígeno disuelto* son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial. Para el monitoreo de 2020, la reflectancia es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.015617\mu - 0.052428\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 37 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media, alta y muy alta se encuentran en los bordes del cuerpo de agua, por consiguiente, los valores de *Oxígeno disuelto* son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial.

La variación espacial de la variable Oxígeno Disuelto de la ciénaga El Rincón entre los años 2018 al 2020 se presenta estable casi en la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 al año 2020 permanecieron similares, sin embargo, presenta algunas disminuciones

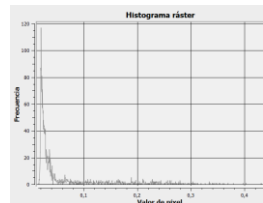
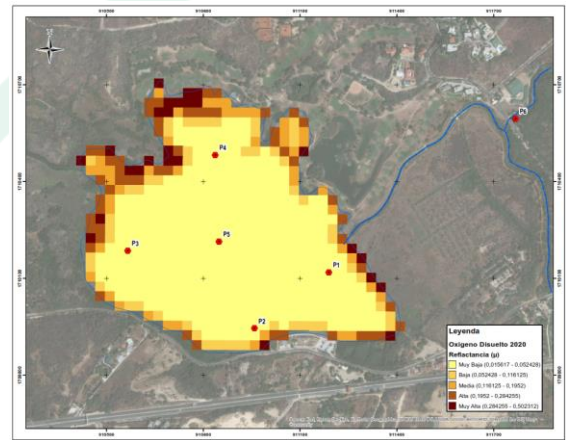


de reflectancia en los bordes del cuerpo de agua, donde la dinámica es fisicoquímica es muy variable de manera natural (Figura 62, Figura 63 y Figura 64).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy baja (0,025545 - 0,056338)	37,24
Baja (0,056338 - 0,09142)	2,90
Media (0,09142 - 0,146485)	2,94
Alta (0,146485 - 0,213153)	2,67
Muy Alta (0,213153 - 0,377653)	6,55

Figura 62. Reflectancia de OD en la ciénaga El Rincón, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,015617 - 0,052428)	37,02
Baja (0,052428 - 0,116125)	4,47
Media (0,116125 - 0,1952)	4,12
Alta (0,1952 - 0,284255)	4,60
Muy Alta (0,284255 - 0,502312)	2,24

Figura 63. Reflectancia de OD en la ciénaga El Rincón, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



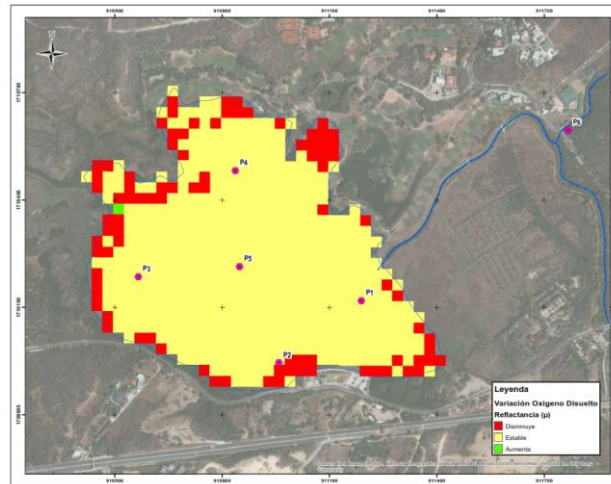


Figura 64. Variación espacial de OD en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.

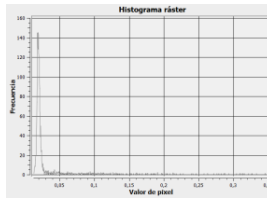
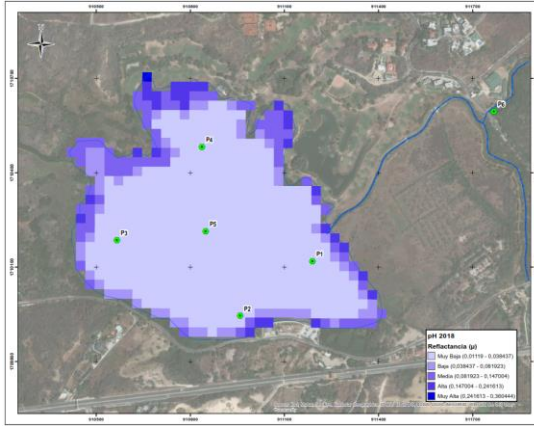
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La reflectancia capturada con la banda 6 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 del *Potencial de Hidrógeno* en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.01119\mu - 0.038437\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 38 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media, alta y muy alta se encuentran en los bordes del cuerpo de agua, por consiguiente, los valores de *Potencial de Hidrógeno* son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial. La reflectancia capturada con la misma banda el pH en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.0096\mu - 0.0419\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 39 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media y alta se encuentran en los bordes del cuerpo de agua, por consiguiente, los valores de *Potencial de Hidrógeno* son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial.

La variación espacial del pH en la ciénaga El Rincón entre los años 2018 al 2020 se presenta como estable casi en la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 al año

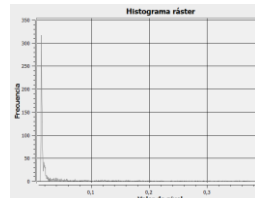
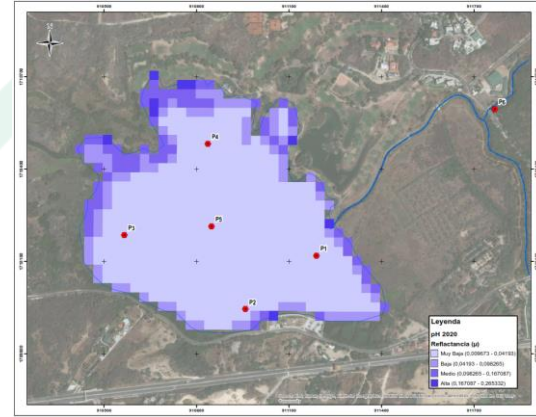


2020 permanecieron similares, con algunas disminuciones de reflectancia cerca de las orillas del cuerpo de agua (**Figura 65, Figura 66 y Figura 67**).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,01119 - 0,038437)	38,79
Baja (0,038437 - 0,081923)	4,95
Media (0,081923 - 0,147004)	6,05
Alta (0,147004 - 0,241613)	2,51
Muy Alta (0,241613 - 0,360444)	0,06

Figura 65. Reflectancia del pH en la ciénaga El Rincón, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,009673 - 0,04193)	39,38
Baja (0,04193 - 0,098265)	6,89
Medio (0,098265 - 0,167087)	5,41
Alta (0,167087 - 0,265332)	0,75
Muy Alta (0,265332 - 0,443606)	0,00

Figura 66. Reflectancia del pH en la ciénaga El Rincón, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

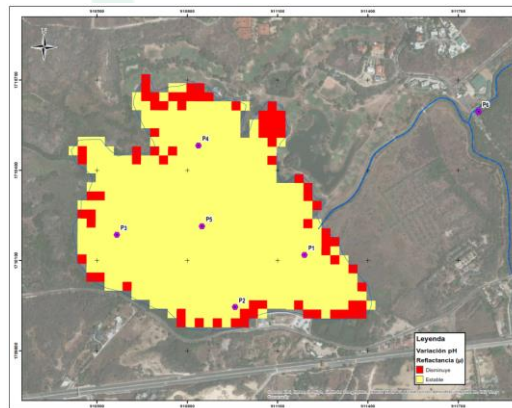


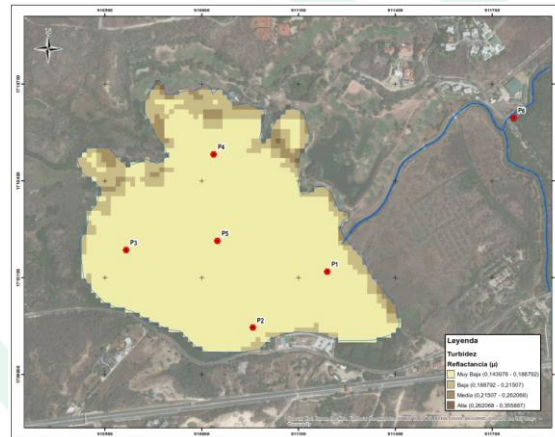
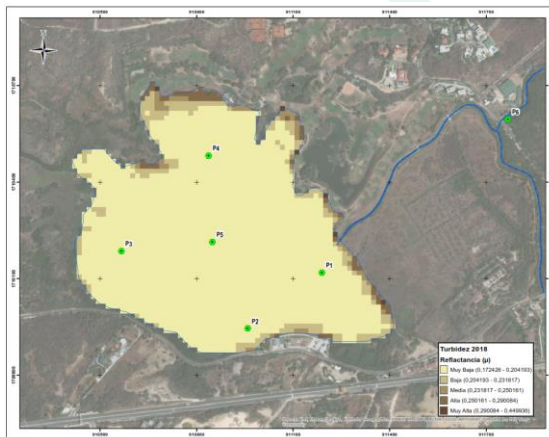
Figura 67. Variación espacial del pH en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.

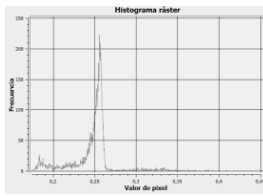
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



La reflectancia capturada con la banda 4 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de SST en la Ciénaga el Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.172426\mu - 0.04193\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 46.9 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media, y alta que se encuentran en los bordes del cuerpo de agua tanto superiores como inferiores, por consiguiente, los valores de SST son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial. La reflectancia capturada para el año 2020 de SST en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0.143976\mu - 0.188792\mu$) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 44 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja, media y alta que se encuentran en los bordes del cuerpo de agua tanto superiores como inferiores, por consiguiente, los valores de la *Turbidez* son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial.

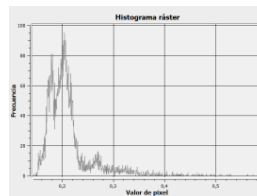
En el comparativo, la variación espacial de SST de la ciénaga El Rincón entre los años 2018 al 2020 se presenta como estable casi en la totalidad de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 al año 2020 permanecieron similares, con algunas disminuciones de reflectancia en los bordes y unos aumentos en el margen superior de la ciénaga (**Figura 68, Figura 69 y Figura 70**).





Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,172426 - 0,204193)	46,92
Baja (0,204193 - 0,231817)	3,67
Media (0,231817 - 0,250161)	1,18
Alta (0,250161 - 0,290084)	1,13
Muy Alta (0,290084 - 0,449936)	0,13

Figura 68. Reflectancia de SST en la ciénaga El Rincón, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,143976 - 0,188792)	44,35
Baja (0,188792 - 0,21507)	6,46
Media (0,21507 - 0,262068)	2,06
Alta (0,262068 - 0,355887)	0,11
Muy Alta (0,355887 - 0,591535)	0,00

Figura 69. Reflectancia de SST en la ciénaga El Rincón, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

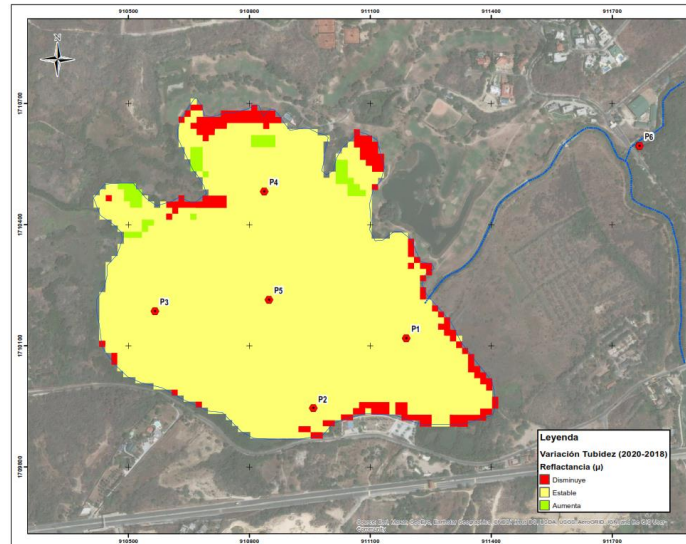


Figura 70. Variación espacial de SST en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.

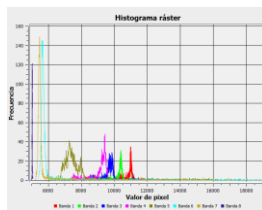
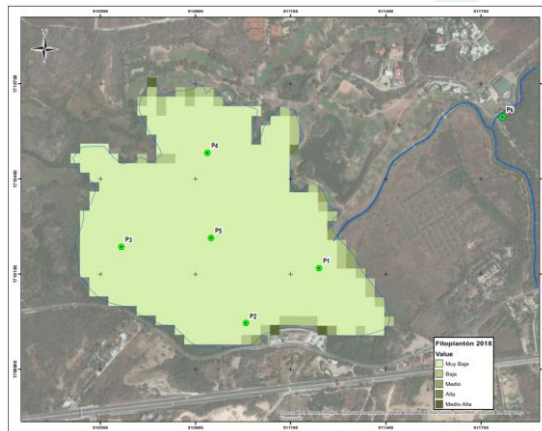
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

La reflectancia capturada por la combinación de las bandas 5-6-2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de Fitoplancton(Ind/L) en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral (0.195259 μ - 0.222454 μ) presentando una distribución homogénea con un área aproximada de 48.7 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja se encuentran en los bordes del cuerpo de agua tanto superiores como inferiores, por consiguiente, los valores de la Fitoplancton son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial. La reflectancia capturada por la combinación de las mismas bandas 5-6-2 para el año 2020 de Fitoplancton en la ciénaga El Rincón es muy baja, dado que se encuentran dentro del rango espectral (0.205796 μ - 0.231677 μ) presentando una



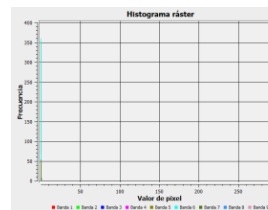
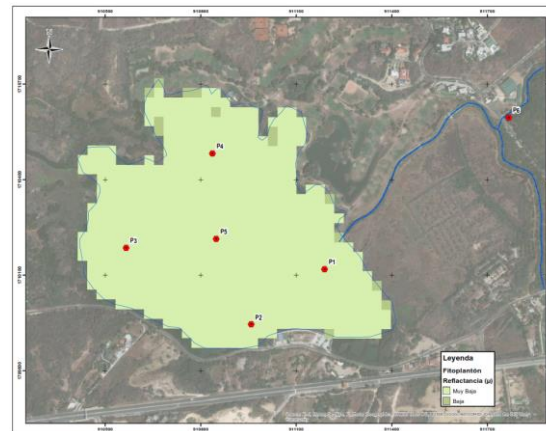
distribución homogénea con un área aproximada de 52.2 hectáreas en la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, la reflectancia baja se encuentran en los bordes del cuerpo de agua tanto superiores como inferiores, por consiguiente, los valores de la Fitoplancton son muy similares en toda la superficie del cuerpo de agua según a su distribución espacial.

La variación espacial de la Fitoplancton de la ciénaga El Rincón entre los años 2018 al 2020 se presenta casi en la totalidad de la superficie como estable, dado que los valores de reflectancia del año 2018 al año 2020 permanecieron similares en la totalidad del área de la superficie del cuerpo de agua (**Figura 71, Figura 72 y Figura 73**).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,195259 - 0,222454)	48,76
Baja (0,222454 - 0,24047)	2,68
Medio (0,24047 - 0,268549)	0,63
Alta (0,268549 - 0,34951)	0,09
Muy Alta (0,34951 - 0,561323)	0,24

Figura 71. Reflectancia de Fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,205796 - 0,231677)	52,12
Baja (0,231677 - 0,242359)	1,11
Media (0,242359 - 0,250457)	0,00
Alta (0,250457 - 0,271112)	0,00
Muy Alta (0,271112 - 0,338248)	0,00

Figura 72. Reflectancia de Fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.



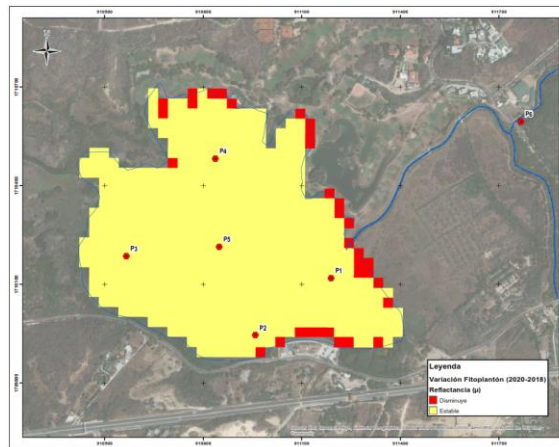


Figura 73. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga El Rincón, 2018-2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

6.2.4. Prueba y modelo estadístico.

Las variables seleccionadas para la ciénaga de Mallorquín fueron DBO₅, OD, SST, pH y Fitoplancton, con base en los mismos criterios relacionados con los antecedentes, disponibilidad de la información y variabilidad de los datos de laboratorio. De acuerdo con los resultados de las pruebas, solo se encontró una correlación significativa (*valor P*<0.005) para las variables DBO₅, fitoplancton (densidad) y el subíndice para fitoplancton para los datos combinados de 2018 y 2020 (**Tabla 62**). Para el período de 2018 se encontró correlación significativa para fitoplancton, para el Sublfitoplancton (basado en su correspondiente curva de calidad) y para el monitoreo de 2020 se registró correlación significativa para la variable oxígeno disuelto.

Tabla 62. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga El Rincón.

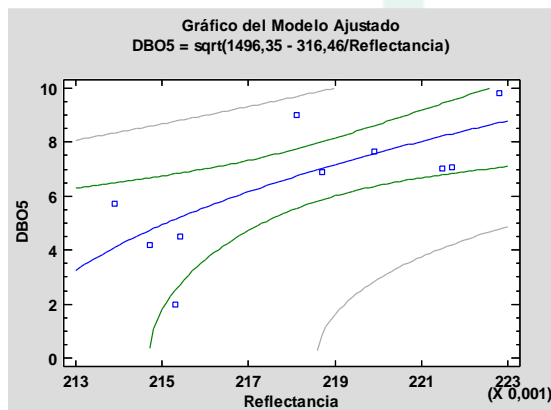
PERIODO	REFLECTANCIA / combinada		REFLECTANCIA/2018		REFLECTANCIA/2020	
	PEARSON	Valor-P	PEARSON	Valor-P	PEARSON	Valor-P
SST	-0.2202	0.541	-0.2188	0.7237	0.232	0.7068
SubISST	0.5854	0.0754	0.2151	0.7282	-0.0085	0.9892
DBO ₅	0.747	0.013	0.6207	0.2639	0.6514	0.2337
Subl DBO ₅	-0.2302	0.523	-0.6148	0.2698	0.0135	0.9828
OD	0.0796	0.8269	-0.2708	0.6595	0.9808	0.0032



PERIODO	REFLECTANCIA / combinada		REFLECTANCIA/2018		REFLECTANCIA/2020	
Subl OD	0.1276	0.7253	0.0078	0.9901	0.5131	0.3766
pH	0.6236	0.054	0.7672	0.113	-0.0335	0.9574
Subl pH	0.177	0.6247	-0.7744	0.1242	-0.0127	0.9838
Fitoplancton	0.9135	0.0002	0.9386	0.0181	0.1905	0.7589
Subl Fito	-0.9025	0.0004	-0.9268	0.0235	-0.4165	0.4854

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

El modelo estadístico solo se organizó para las variables que mostraron correlación significativa con la reflectancia, validada para los dos períodos combinados, puesto que es una evidencia de su funcionalidad. Con estas variables y los valores de reflectancia se realizaron regresiones para hallar el modelo representativo con un nivel de confianza del 95% ($P < 0.05$). Para la DBO_5 el modelo ajustado explica el 56.39 de la variabilidad en DBO_5 , mientras que para el fitoplancton y el Subl Fitoplancton, los modelos explicaron respectivamente el 86.01% y 82.58% de la variabilidad (Figura 74, Figura 75 y Figura 76).



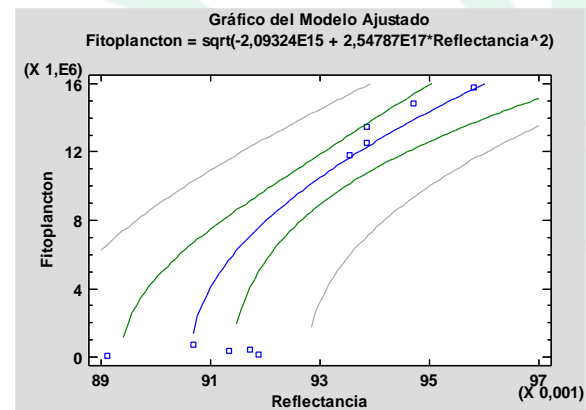
Análisis de varianza. Valor P : 0.0123

Coefficiente de correlación: -0.75

R^2 : 56.39

$$\text{Ecuación: } DBO_5 = \sqrt{(1496,35 - \frac{316,46}{Ref})}$$

Figura 74. Gráfico del modelo ajustado para DBO_5 . Ciénaga El Rincón.



Análisis de varianza. Valor P : 0.0001

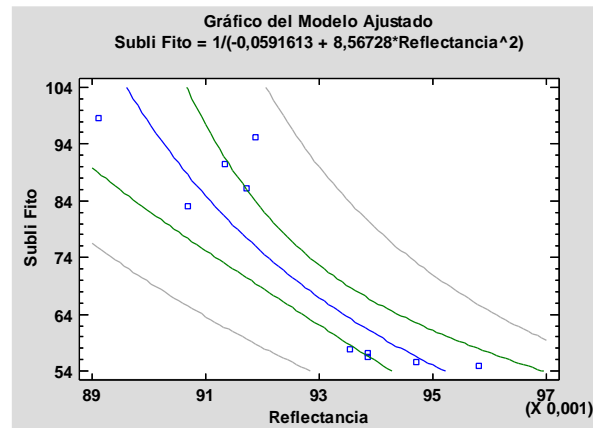
Coefficiente de correlación: 0.92

R^2 : 86.01

$$\text{Ecuación: } Fitoplancton \left(\frac{ind}{L} \right) = \sqrt{(-2,09324E15 + 2,547787E17 * Ref^2)}$$

Figura 75. Gráfico del modelo ajustado para Fitoplancton. Ciénaga El Rincón.




 Análisis de varianza. Valor *P*: 0.0003

Coeficiente de correlación: 0.90

 R²: 82.58

$$\text{Ecuación: } \text{Subli Fito} = \frac{1}{(-0.0591613 + 8.56728 \cdot \text{Ref}^2)}$$

Figura 76. Gráfico del modelo ajustado para Subli Fitoplancton. Ciénaga El Rincón.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

6.3 Ciénaga de Balboa

Esta ciénaga tiene una extensión aproximada de 7.8 hectáreas, con profundidad aproximada de 1.2 m. Se encuentra localizada en el municipio de Puerto Colombia, al que le debe su nombre original (Ciénaga de Puerto Colombia), originada a partir de los cambios morfológicos, presentadas en la línea de costa debido a la construcción de los tajamares de Bocas de Ceniza separada del mar por una barrera de arena que permanece cerrada durante la marea baja, lo que impide el intercambio hídrico y el aumento de salinidad del ecosistema. Limita al norte con la cuenca del Arroyo Grande, por el oeste con el Mar Caribe, desde la cuenca del arroyo Grande hasta las faldas del Cerro Morro Hermoso en límites con el municipio de Tubará, al sur con la falda del Cerro Hermoso, y al este con los barrios Miramar, Centro, viejo Muelle, La Rosita, Urbaterminal, Vistamar, la falda del Cerro La Rosita y la falda del Cerro Morro Hermoso (Ortiz y Morgado, 2009). Dentro de sus principales funciones se destaca la regulación del régimen hidrológico, habitat de especies de flora y fauna, y



soporte para actividades como la pesca de peces y camarones. Los principales tensores son los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, la disposición inadecuada de residuos sólidos y la baja cobertura de sistemas de saneamiento básico (Ortíz y Morgado, 2009).

6.3.1 Caracterización

6.3.1.1. Variables Físicoquímicas

La ciénaga de Balboa registró concentraciones de pH entre 7.49 y 9.01 UpH (**Figura 77 A**). Al existir un mayor número de compuestos de carga negativa en el agua de mar, el pH suele ser levemente alcalino, presentando un valor promedio de 8.2 (Broecker, 1974). En cambio, el agua de origen continental tiende a valores neutros de 7.0. Es decir, los registros de pH en lagunas costeras, debido al intercambio entre aguas marinas y continentales suele variar entre estos valores.

Los valores registrados cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 para la preservación de flora y fauna (límite de control de 7.0 a 9.0 UpH) y con el criterio de calidad para preservación de flora y fauna de aguas marinas y estuarinas (6.5 a 8.5 UpH) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República. Los valores de pH registrados en este monitoreo son similares a los reportados en monitoreos anteriores.

Con respecto a la salinidad, se registraron concentraciones de 0.03% en P1, 0.01% en P2 y 0.02% en P3. Los valores de salinidad varían de acuerdo con la época climática, es así que durante la época de lluvias la influencia dulceacuícola disminuye sus concentraciones. Las diferencias de salinidad presentadas en los diferentes monitoreos demuestran que uno de los principales factores que afectan su distribución es la entrada de agua dulce (Troccoli et al, 2004), que en el caso de la ciénaga de Balboa proveen de las precipitaciones y las escorrentías locales.



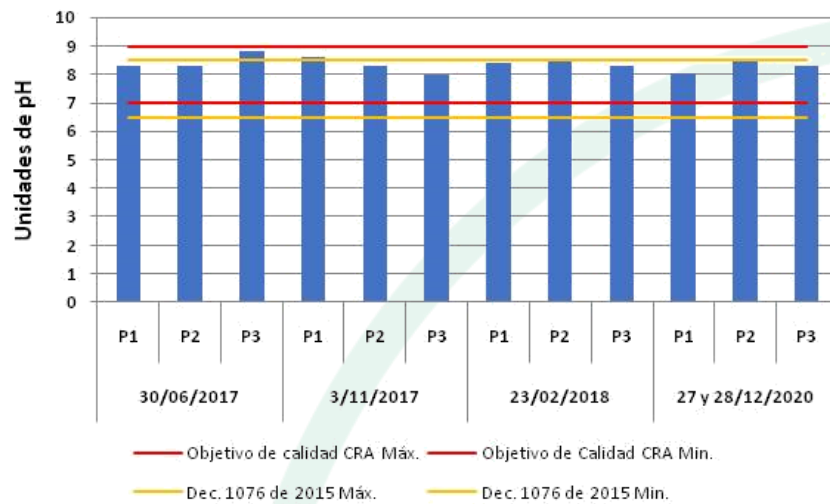


Figura 77. Variación del pH en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

El oxígeno disuelto (OD) presentó valores entre 4.21 mg/L a 6.01mg/L que cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (>3 mg/L) y el criterio de calidad para aguas marinas y estuarinas (4 mg/L) del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República



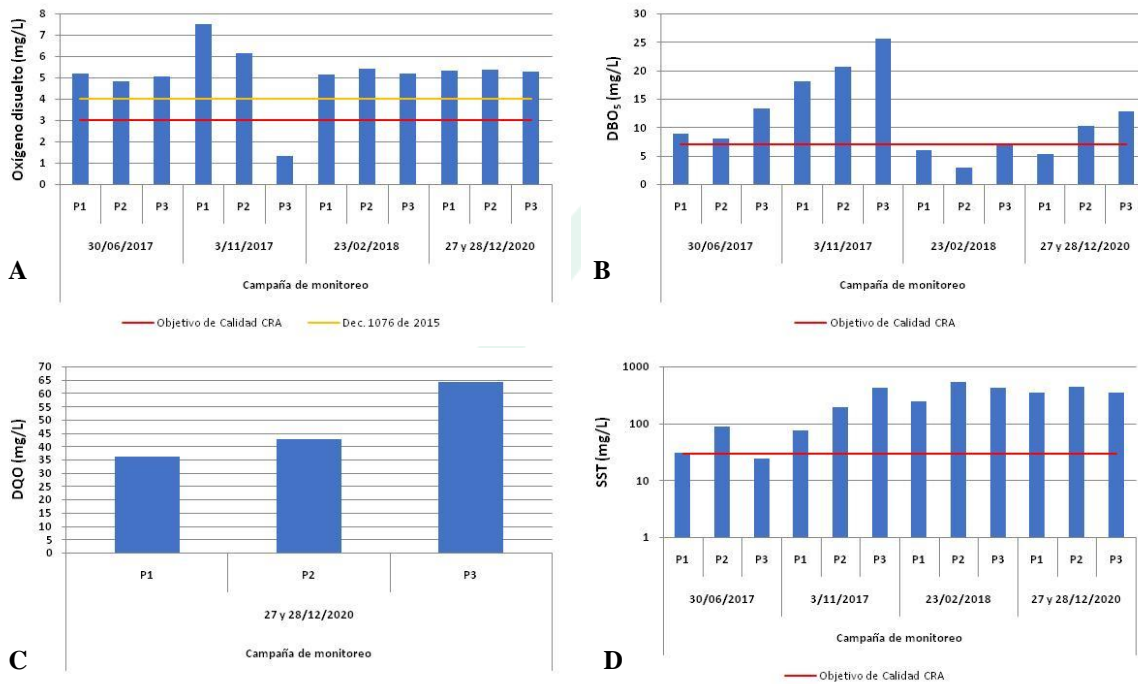


Figura 78 A). Se acepta que un valor aproximado a 4 mg/L es aceptable para la sobrevivencia de la mayoría de los organismos acuáticos (Sawyer y McCarty, 1978).

De otro lado, la DBO₅ registró valores promedios durante los días de monitoreo de 5.25 mg/L en P1, 10.20 mg/L en P2 y 12.70 mg/L en P3, cumpliendo solo en P1 el límite de control (<7 mg/L) estipulado como objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 de la Resolución 258 de 2011 de la CRA (**Figura 78 B**). Así mismo, la DQO presentó su menor valor (promedio durante los días de monitoreo) en P1 con 36 mg/L y valores más altos en P2 con 42.5 mg/L y P3 con 64 mg/L (**Figura 78C**). Los valores de estas variables sugieren que en P2 y P3 hay contaminación por materia orgánica.

Utilizando el criterio de evaluación de las aguas continentales de CONAGUA- SEMARNAT (2014) de México, se podría decir que las aguas de la ciénaga de Balboa, en cuanto a la DBO₅, presentan buena



calidad en P1 (>3 y ≤ 6 mg/L) y una calidad aceptable en P2 y P3 (>6 y ≤ 30 mg/L), no obstante, con respecto a la DQO en P1 la calidad es aceptable (>20 y ≤ 40 mg/L) y en P2 y P3 las aguas se encuentran contaminadas (>40 y ≤ 200 mg/L).

En relación a monitoreos anteriores, se observa que casi siempre los valores de DBO_5 tienen el mismo comportamiento, aumentando de P1 a P3. Los mayores valores registrados en P3 podrían estar relacionados con contaminación por materia orgánica de origen autóctono, derivado de la descomposición de material vegetal, entre ellos mangle, abundante en sus bordes y que debido a que este es un punto lejano a la población, la presencia de aguas domésticas es poco probable.

Para los SST, los valores promedio durante los días de monitoreo registrados fueron 340.25 mg/L en P1, 441.25 mg/L en P2 y 340.40 mg/L en P3, superando el valor propuesto como objetivo de calidad para la cuenca por la CRA (<30 mg/L) en todos los puntos de muestreo (**Figura 78 D**). Al ser este un sistema somero, los vientos causan turbulencias que remueven los sedimentos del fondo, ocasionando que las estimaciones de esta variable aumenten, y con ello incrementa la turbidez y disminuye la penetración de la luz, limitando la producción primaria (Weber-Scannell y Duffy, 2007), por esto, en los diferentes monitoreos realizados se aprecian valores superiores al límite de control estipulado por la CRA. Los valores obtenidos para este monitoreo, según la escala de CONAGUA-SEMARNAT (2014) se encuentran dentro de los señalados para aguas muy contaminadas (>200 mg/L).



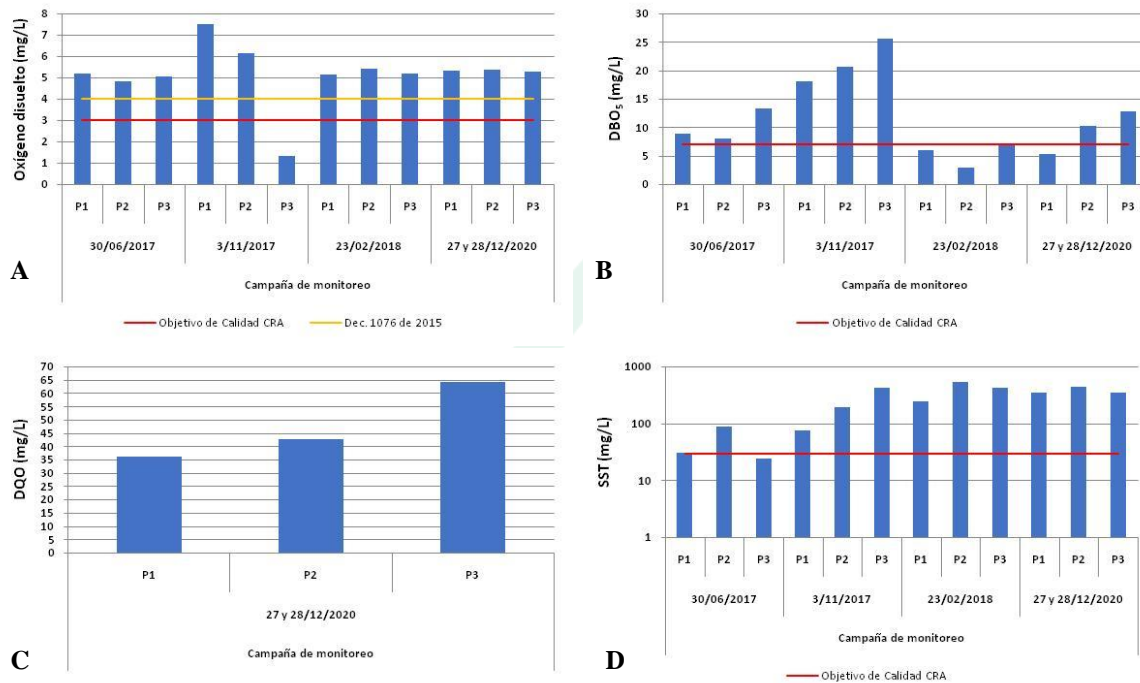


Figura 78. Variación del oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Las GyA registraron concentraciones <10 mg/L en todos los puntos de monitoreo, es decir, los valores cumplen con el objetivo de calidad para el periodo 2011-2020 establecido por la CRA mediante la Resolución 258 de 2011, para las cuencas y tramos ordenados en Clase I, cuyo potencial uso es la preservación de flora y fauna (<10 mg/L). En cuanto al criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas marinas o estuarinas del Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República (**Figura 79 A**), no es posible realizar una comparación, debido a que los resultados obtenidos por el método empleado no pueden ser comparados con la norma. De los monitoreos anteriores, en el primero de 2017, se registraron concentraciones que sobrepasaban los límites de calidad. Del mismo modo, los HTP presentaron concentraciones por debajo del límite de detección del método (<10 mg/L) (**Figura 79 B**).



Aunque en Colombia no se han establecido límites de referencia para los HTP, y los resultados obtenidos para este monitoreo no permiten hacer análisis comparativos. Solo por tener una referencia, comparando resultados de monitoreos anteriores con la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense para aguas marinas (En: Quintero et al, 2010), y los valores de concentración de hidrocarburos por clase de calidad de la Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, de la extinta Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA, 2004), se tiene que los valores obtenidos en las 3 campañas de monitoreo realizadas entre 2017 y 2018, sobrepasan el límite de 0.110 mg/L para protección acuática de la legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense, y se encuentran dentro del rango máximo de calidad de la guía chilena (0.05-1.0 mg/L) que son las aguas de Clase 3 (Regular calidad), consideradas aptas para actividades portuarias, navegación u otros usos de menor requerimiento en calidad de agua, es decir, en años anteriores se ha evidenciado contaminación por HTP.

Dicha contaminación afecta las condiciones fisicoquímicas de agua al presentarse una disminución de oxígeno disuelto debido a la reducción de la transferencia de oxígeno entre la fase atmósfera – agua, al igual que la entrada de luz al medio, lo que inhibe el crecimiento de ciertas especies y disminuye la fijación de nutrientes (Jiménez, 2006).

Por otra parte, los detergentes registraron concentraciones <0.40 mg/L en todos los puntos de muestreo (**Figura 79C**). Aunque para esta variable tampoco se han establecido límites de referencia en el país, es posible que las concentraciones encontradas sean tóxicas, teniendo en cuenta otros estudios como el de Álvarez (2006), quien en un estudio de algunas lagunas pertenecientes a los pantanos de Villa en Perú registró concentraciones entre 0.1 y 1.1 mg/L, que fueron consideradas tóxicas.



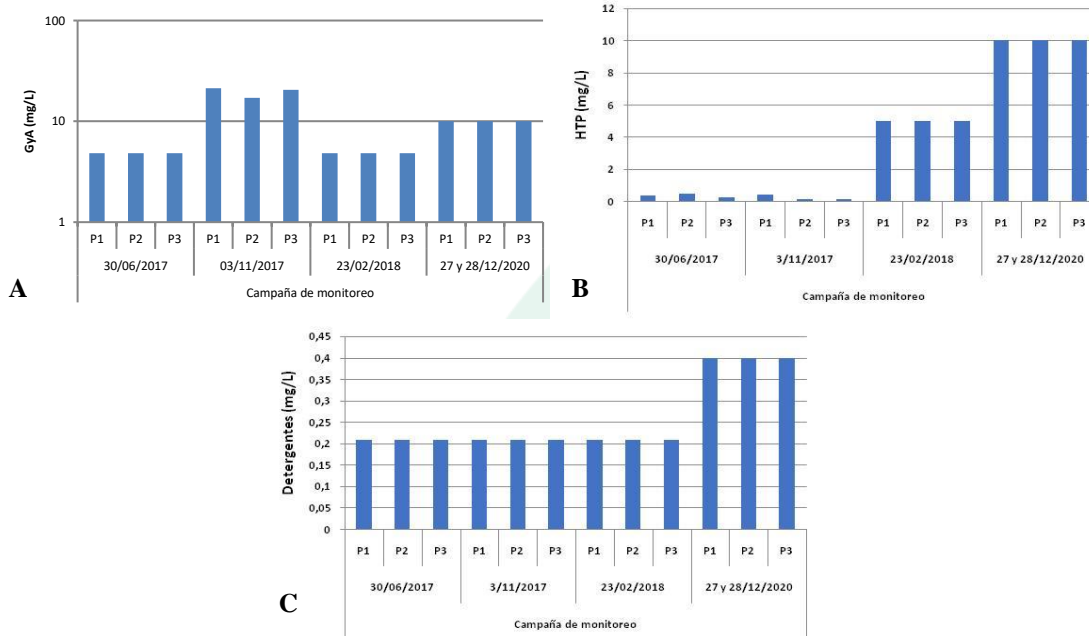


Figura 79. Variación de las grasas y aceites (GyA), hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y detergentes en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

En la ciénaga de Balboa los NO_3 registraron concentraciones de 4.1382 mg/L en P1, 4.0201 mg/L en P2 y 4.1175 mg/L en P3, que al igual que en años anteriores, cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (<10 mg/L) (**Figura 80 A**). Así mismo, el NH_3 presentó concentraciones <1.000 mg/L (**Figura 80 B**). Únicamente en el monitoreo realizado en el año 2018, se apreció que el NH_3 superó el objetivo de calidad (<0.5 mg/L) en P1. Es probable que, en ese momento, en ese punto de monitoreo, se estuviera presentando un proceso de degradación de la materia orgánica por contaminación reciente, asociada a procesos microbiológicos.

US EPA (1999, 2006), EEA (2000, 2005), Environment Canada (2001) y Alonso (2005) han recomendado concentraciones máximas dentro del rango 0,05-0,35 mg/L NH_3 durante exposiciones de corta duración, y concentraciones máximas dentro del rango 0,004-0,02 mg/L NH_3 durante exposiciones de larga duración, para proteger a las especies más sensibles de la toxicidad del



amoniaco. Los ambientes acuáticos sin contaminar contienen pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal, generalmente menores a 0,1 mg/L, pero pueden alcanzar de 2 a 3 mg/L, y concentraciones más altas pueden indicar que existe contaminación de origen orgánico procedente de aguas residuales (Sierra-Ramírez, 2011).

De otro lado, los Ortofosfatos P-PO₄ registraron concentraciones de 0,46 mg/L en P1 y de 0,10 mg/L en P2 y P3 (**Figura 80 C**), superando solo en P1 el objetivo de calidad establecido por la CRA (<0,1 mg/L). A pesar que P2 y P3 cumplen con el objetivo de calidad, teniendo en cuenta lo descrito por Ramírez et al. (1999), los resultados demuestran eutrofización porque se encuentran por encima de 0.01mg/L de PO₄.

La producción de Ortofosfatos se inicia en la mineralización de la materia orgánica presente en los sedimentos, es decir, se liberan fosfatos al descomponerse dicha materia. También se puede dar la liberación de Ortofosfatos en las capas superficiales del humedal antes de la sedimentación. La eutrofización ocurre cuando se tienen grandes cantidades de materia orgánica en los sedimentos que provocan exorbitantes concentraciones de fosfatos, los cuales en exceso son tóxicos para los organismos y plantas presentes. Así mismo, estos los liberan en la excreción y suministran grandes cantidades de fosfatos al agua, contaminándola (Roldán y Ramírez, 2008).



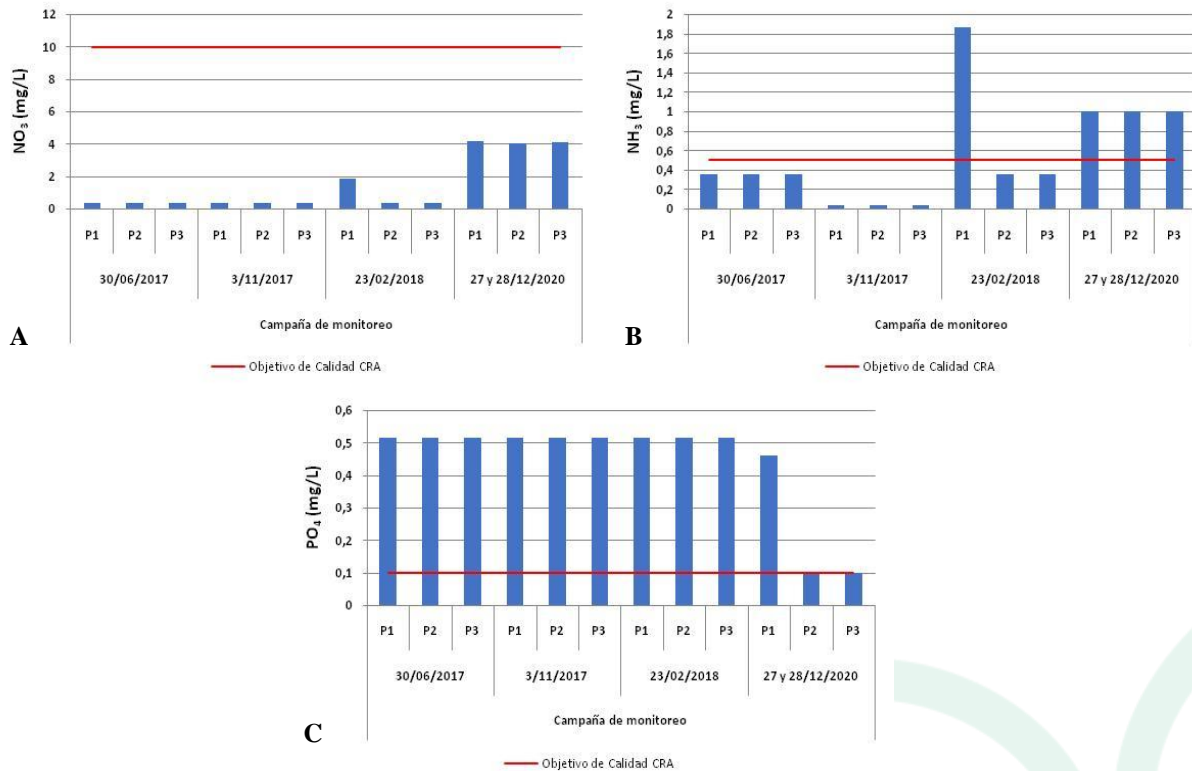


Figura 80. Variación de los nitratos (NO_3), amoníaco (NH_3) y fosfatos (PO_4) en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

De los metales pesados, el As, Cd y Hg registraron concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado, para la destinación del recurso en la preservación de flora y fauna no es posible realizar una comparación, debido a que los resultados obtenidos por el método empleado no pueden ser comparados con la norma Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República (**Figura 81**).

El Pb registró concentraciones de 0.0070 mg/L en P1, 0.0040 mg/L en P2 y <0.0030 mg/L en P3. Este fue el único metal pesado que sobrepasó los límites de calidad en todos los monitoreos realizados anteriormente (**Figura 81 A**). Según Raraz (2015), el agua de mar contiene entre 0.003 mg/L y 0.20 mg/L de Pb y el agua natural, menos de 0.005 mg/L de Pb en forma de sales o disuelto por el CO_2 .



Este elemento se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. El Pb puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo, así mismo, es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos (Raraz, 2015).

Por su parte, el Cu presentó concentraciones de 0.0050 mg/L en P2, <0.0030 mg/L en P3 y 0.0110 mg/L en P1 y como se mencionó anteriormente cumple con el objetivo de calidad, al igual que en monitoreos anteriores (**Figura 81 B**).

Los metales pesados en el agua tienen diferentes fuentes, pero la principal es el origen litogénico o geoquímico, por la erosión y el arrastre de escorrentías. También hay un aporte importante de las actividades humanas, como procesos industriales, la minería y los residuos domésticos.

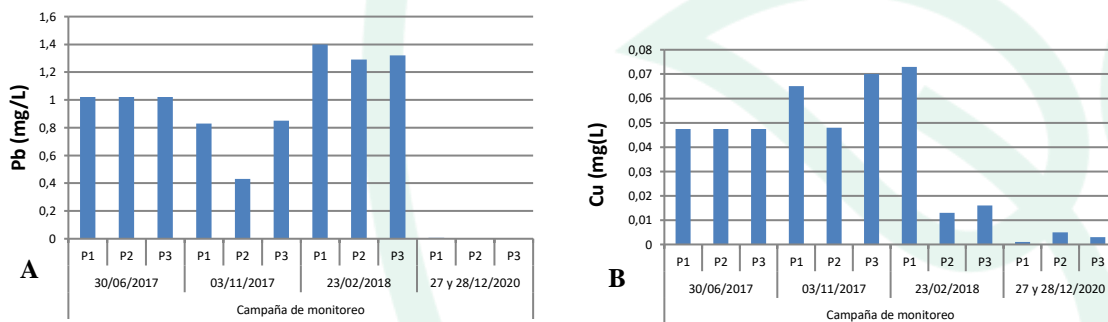


Figura 81. Variación del plomo y el cobre en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

Los CTE y CT registraron concentraciones muy bajas en todos los puntos de monitoreo (<1.8 NMP/100 mL), que cumplen con los objetivos de calidad establecidos por la CRA en la Resolución 258 de 2011 (CTE<2000 NMP/100 mL y CT<5000 NMP/100 mL), es decir, no hay evidencia de contaminación microbológica, contrario a lo registrado en monitoreos de 2017 (2) y 2018 donde las concentraciones de CTE superaban el objetivo de calidad, manifestando la presencia de



contaminación de origen fecal (**Figura 82 A y B**). Estos bajos valores podrían indicar que los coliformes estarían siendo inhibidos por la presencia de *Pseudomonas*. Según Ríos-Tobón et al. (2017), la característica más importante de *Pseudomonas* es su capacidad de inhibir coliformes, los indicadores de contaminación de agua más usados en el mundo, y esta situación podría dar una falsa impresión de seguridad o calidad del agua.

Estas últimas (las *Pseudomonas*) presentaron concentraciones de 485 NMP/100 mL en P2, 305 NMP/100 mL en P1 y 212 NMP/100 mL en P3 (**Figura 82 C**). Los valores de recuento de miembros del grupo *Pseudomonas* en sistemas acuáticos puede deberse al vertido de líquidos cloacales ya que la frecuencia de este género de bacterias, y en especial *Pseudomonas aeruginosa*, está directamente relacionada con el grado de contaminación fecal derivada de aguas residuales (Barahona-Castillo et al, 2017).

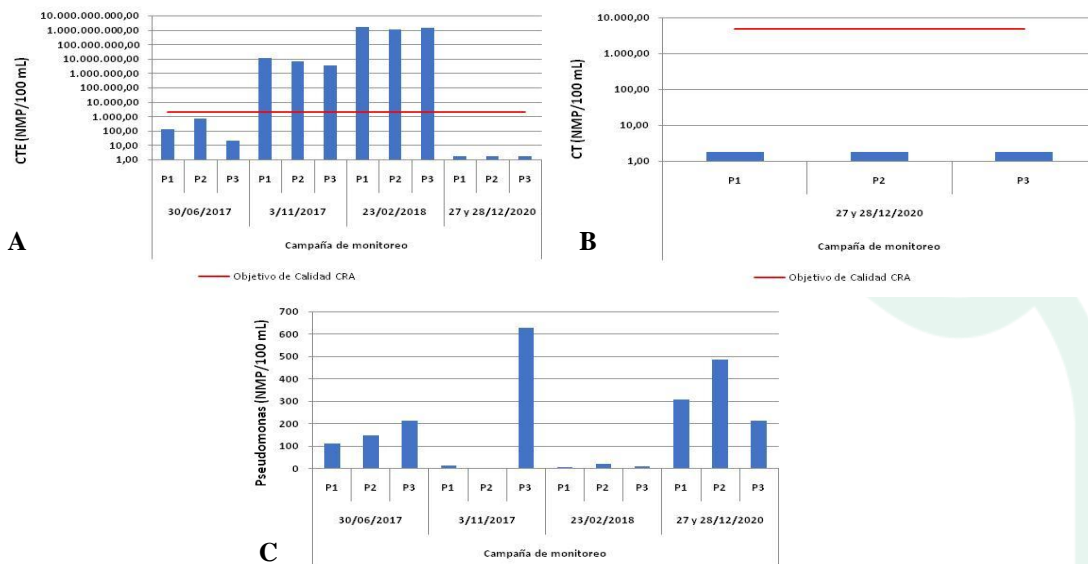


Figura 82. Variación de coliformes termotolerantes (CTE), coliformes totales (CT) y pseudomonas en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020, en comparación con monitoreos anteriores y objetivos de calidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



6.3.1.2. Variables Hidrobiológicas

6.3.1.2.1 Fitoplancton

La comunidad de fitoplancton en la ciénaga de Balboa estuvo constituida por 15 morfoespecies, pertenecientes a seis (6) familias, cinco (5) órdenes, cuatro (4) clases y dos (2) divisiones (**Tabla 63**). La división más diversificada fue Bacillariophyta (diatomeas) con un 96% de la riqueza de morfoespecies en este monitoreo para este sistema.

Tabla 63. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Balboa.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Bacillariophyta	Mediophyceae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>
				<i>Chaetoceros sp 5</i>
				<i>Chaetoceros sp 6</i>
				<i>Chaetoceros sp 7</i>
				<i>Chaetoceros sp 8</i>
				<i>Chaetoceros sp 9</i>
	Bacillariophyceae	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Etmoneis alata</i>
				<i>Etmoneis sp1</i>
				<i>Etmoneis sp2</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp. 2</i>
			Pleurosigmaataceae	<i>Pleurosigma sp. 3</i>
			<i>Pleurosigma sp. 4</i>	
			<i>Pleurosigma sp. 5</i>	
	Coscinodiscophyceae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus sp2</i>
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp2</i>
2	4	5	6	15

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En esta ciénaga, en los tres puntos de monitoreo la riqueza por phylum fue pobre, en donde las Bacillariophyta constituyeron la mayor riqueza de morfoespecies en todos los puntos monitoreados (**Figura 83**).



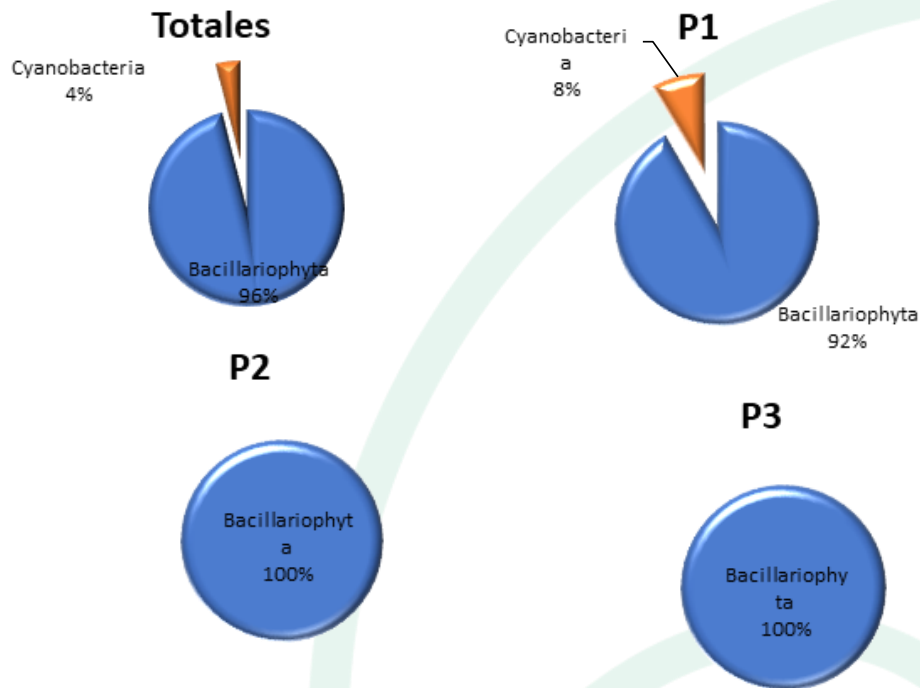


Figura 83. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del fitoplancton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

A nivel espacial, la densidad de morfoespecies registró proporciones diferentes entre los puntos. Las Bacillariophyta fueron el grupo presente en los tres puntos de muestreo; P-1 tuvo una mayor densidad con 20845.10 Ind/L, seguido en P-3 con 877.79 Ind/L y por último P-2 con 449.79 Ind/L (Figura 84).



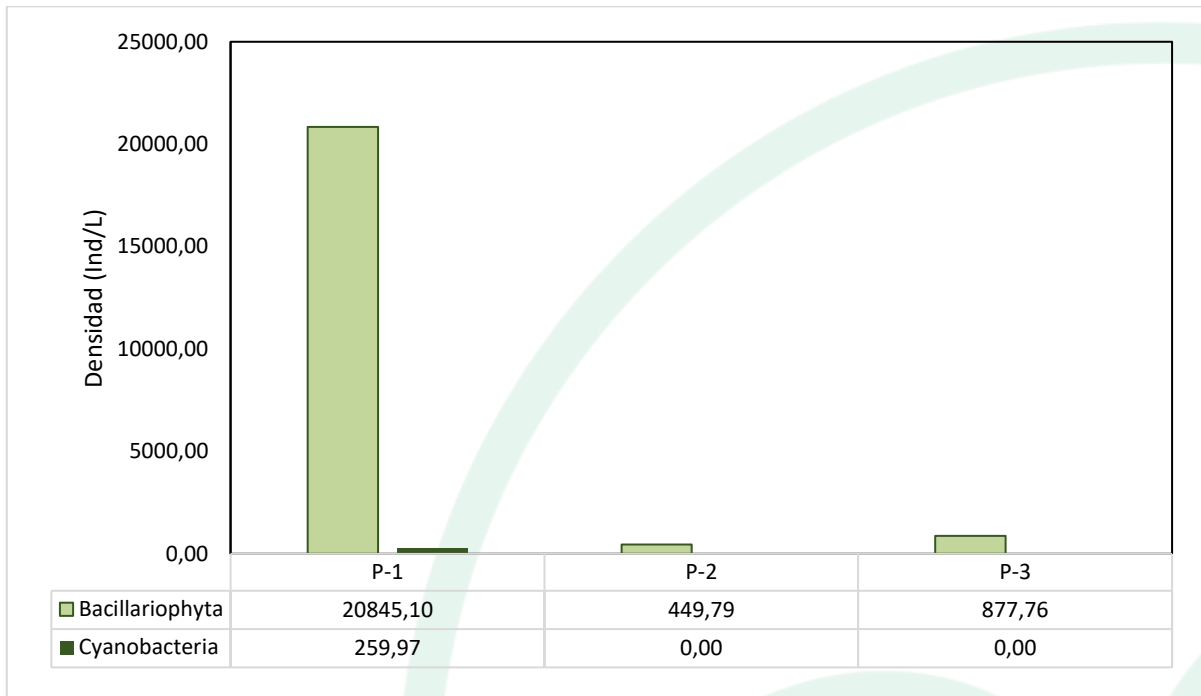


Figura 84. Contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Balboa.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Se registró una densidad total de 22432.61 Ind/L. La densidad más alta se encontró en P-1, donde la morfoespecie con mayor densidad fue *Chaetoceros* sp9 con 6994.63 Ind/L. Este es un género de diatomeas planctónicas, común en ambientes marinos de todo el mundo, ya sea en aguas neríticas u oceánicas, con solo unas pocas especies de ambientes continentales o estuarinos. Para P-2 la diatomea *Eptomoneis* sp1 con 328.67 Ind/L fue la más abundante; la mayoría de las especies de *Eptomoneis* se distribuyen en aguas marinas (Witkowski *et al.*, 2000) y en aguas continentales con conductividad moderadamente alta, epipelágica (Dalu *et al.* 2015). Para P-3, *Navicula* sp2 reportó 341.53 Ind/L, esta morfoespecie está relacionada con altos contenidos de sedimentos y conductividades altas (Bellinger y Sigee, 2010) (**Tabla 64, Tabla 65**).



Tabla 64. Densidad promedio de las morfoespecies de fitoplancton registradas en la ciénaga de Balboa por punto de monitoreo.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-2	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	342.51	295.04	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp5</i>	538.23	438.77	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp 6</i>	4795.11	3979.20	68.30	56.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp7</i>	5879.71	6218.44	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp8</i>	1932.72	1573.52	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetoceros sp9</i>	6923.55	7065.72	29.09	21.54	0.00	0.00
<i>Etmoneis alata</i>	252.80	204.26	27.19	32.00	75.27	80.81
<i>Etmoneis sp1</i>	0.00	0.00	346.56	310.77	17.92	29.77
<i>Etmoneis sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	28.67	29.77
<i>Navicula sp2</i>	73.39	83.22	0.00	0.00	293.91	389.15
<i>Pleurosigma sp3</i>	350.66	295.04	0.00	0.00	94.98	99.95
<i>Pleurosigma sp4</i>	203.87	166.43	0.00	0.00	0.00	4.25
<i>Pleurosigma sp5</i>	0.00	0.00	4.43	3.69	204.30	270.07
<i>Coscinodiscus sp2</i>	32.62	45.39	0.00	0.00	53.76	82.93
<i>Oscillatoria sp2</i>	285.42	234.52	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (Ind/L)	21610.60	20599.53	475.57	424.00	768.82	986.71

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 65. Densidad promedio total y por punto de monitoreo del fitoplancton en la ciénaga de Balboa.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	Total
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	318.77	0.00	0.00	318.77
<i>Chaetoceros sp5</i>	488.50	0.00	0.00	488.50
<i>Chaetoceros sp 6</i>	4387.15	62.15	0.00	4449.30
<i>Chaetoceros sp7</i>	6049.08	0.00	0.00	6049.08
<i>Chaetoceros sp8</i>	1753.12	0.00	0.00	1753.12
<i>Chaetoceros sp9</i>	6994.63	25.31	0.00	7019.95
<i>Etmoneis alata</i>	228.53	29.60	78.04	336.16
<i>Etmoneis sp1</i>	0.00	328.67	23.85	352.51
<i>Etmoneis sp2</i>	0.00	0.00	29.22	29.22
<i>Navicula sp2</i>	78.30	0.00	341.53	419.84
<i>Pleurosigma sp3</i>	322.85	0.00	97.46	420.31
<i>Pleurosigma sp4</i>	185.15	0.00	2.13	187.28
<i>Pleurosigma sp5</i>	0.00	4.06	237.19	241.24
<i>Coscinodiscus sp2</i>	39.00	0.00	68.35	107.35



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	Total
<i>Oscillatoria sp2</i>	259.97	0.00	0.00	259.97
Total (Ind/L)	21105.06	449.79	877.76	22432.61

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a la estructura de la comunidad fitoplancton descrita a través de los índices ecológicos en la **Tabla 66**, los valores sugieren que el ensamblaje registrado en la ciénaga de Balboa presenta una riqueza baja donde en P-1 tuvo la mayor riqueza de morfoespecies; la equidad presentó valores medios, donde las densidades de las morfoespecies tienden a ser heterogéneas, principalmente en P-2, donde la morfoespecie *Entomoneis sp1* obtuvo una dominancia importante, esto es consistente con los resultados del índice de dominancia que fueron cercanos a cero. Respecto a la relación entre riqueza y abundancia, índice de Shannon_H, muestra una diversidad baja entre 0.88-1.64 bits/individuos, teniendo en cuenta el índice de Margalef también se indicó una baja diversidad con valores inferiores a 2, según Margalef (1995) valores inferiores a 2.0 son relacionados con zonas de baja diversidad y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Tabla 66. Índices ecológicos para el fitoplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020. Densidad (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J'	H'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	d
P-1	12	21105.05	0.6636	1.649	0.2435	0.7565	1.105
P-2	5	449.79	0.5506	0.8862	0.5606	0.4394	0.6548
P-3	8	877.77	0.7717	1.605	0.2526	0.7474	1.033

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.3.1.2.2 Zooplancton

La comunidad zooplanctónica de la ciénaga de Balboa estuvo integrada por 36 morfoespecies, pertenecientes a 21 familias, 15 órdenes, ocho (8) clases y seis (6) Phylum, como se observa en la **Tabla 67**.

Tabla 67. Clasificación taxonómica y densidad del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Amoebozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	<i>Arcella discoides</i>
				<i>Arcella hemisphaerica</i>
Annelida	Polychaeta	Polychaeta ND	Polychaeta ND	<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>
Arthropoda	Maxillopoda	Decapoda	Decapoda ND	<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>
		Calanoida	Calanoida ND	<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>
				<i>Calanoida ND Morfoespecie 2</i>
		Cyclopoida	Cyclopoida ND	<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>
	<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>			
	Maxillopoda ND	Maxillopoda ND	<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	
	Branchiopoda	Diplostraca	Moinidae	<i>Moina spp</i>
Ostracoda	Ostracoda ND	Ostracoda ND	<i>Ostracoda Morfoespecie 5</i>	
Ciliophora	Ciliatea	Peritrichida	Vorticellidae	<i>Vorticella spp</i>
				<i>Vorticella sp7</i>
		Ciliatea-ND	Ciliatea-ND	<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>
				<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>
		Hypotrichida	Euplotidae	<i>Euplotes spp</i>
		Oligotrichida	Codonellidae	<i>Codonella galea</i>
				<i>Codonella spp</i>
				<i>Tintinnopsis directa</i>
				<i>Tintinnopsis nana</i>
				<i>Tintinnopsis parvula</i>
				<i>Tintinnopsis sp1</i>
				<i>Tintinnopsis spp</i>
				<i>Brandtiella spp</i>
		Tintinnidae	Tintinnidae	<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>
Ptychocylididae	<i>Favella spp</i>			
Stentoridae	<i>Stentor spp</i>			
Codonellidae	<i>Tintinnopsis spp</i>			
Foraminifera	Granuloreticulosea	Foraminiferida	Foraminiferida ND	<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus angularis</i>
				<i>Brachionus calyciflorus</i>
				<i>Brachionus plicatilis</i>



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
				<i>Keratella americana</i>
			Dicranophoridae	<i>Enentrum spp</i>
			Mytilinidae	<i>Lophocharis spp</i>
		Flosculariaceae	Testudinellidae	<i>Testudinella amphora</i>
6	8	15	21	36

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La evaluación de estos resultados permitió evidenciar que el Phylum Ciliophora con la mayor proporción de morfoespecies (45.7 %, 16 morfoespecies), seguido por los aportes de Arthropoda (22.9%, 8 morfoespecies), de Rotifera (20.0%, 7 morfoespecies) y menores proporciones de Amoebozoa (5.7%, 2 morfoespecies) y tan solo una morfoespecie de Annelida y Foraminifera (2.9% cada una), como se observa en la **Figura 85**. La distribución espacial de la riqueza presentó el mismo comportamiento que la general, con predominio de Ciliophora y Arthropoda, las dos con proporciones de 40 % cada una en P1, mientras que en P2 los aportes fueron de 54.5% y 36.4%, respectivamente. Por su parte, en P3, los Artrópodos aportaron mayor número de morfoespecies (8) (30.8%), seguido del aporte de Ciliophora y Rotifera con 7 morfoespecies cada una (26.9%); mientras que los Amoebozoa y Foraminifera solo se reportaron en el Punto 3 (2 y 1 morfoespecies, 7.7 y 3.8% respectivamente). Hay que anotar que el aporte de Annelida fue de 1 morfoespecie en cada punto de muestreo.

Es de anotar que la mayoría de los trabajos documentados sobre la importancia y bioindicación de los ciliados, generó resultados que los involucran a la fauna asociada a fangos activos de sistemas de depuración de aguas (Centro de investigación y tecnología del agua, 2021), lo que podría ser indicador de la baja calidad de la misma. Por su parte la importancia de los artrópodos, especialmente los copépodos, consiste en ser un eslabón importante en la trama alimenticia acuática, transformando la proteína vegetal en animal, al ser fuente de alimento importante para peces planctívoros, como para los estadios larvales de la mayoría de peces, igualmente sus excretas sirven de fuente de alimento a organismos bentónicos facilitando el intercambio de materia tanto en la columna de agua, como con el sedimento, así mismo, algunas especies han sido usadas como



bioindicadores de calidad del agua en sistemas saprobios (Smith y Fernando, 1980; Morales y Vargas, 1995 y Martínez-Barragán, et al., 2009). La importancia ecológica del último grupo presente, los rotíferos radican en varios puntos, el primero, corto tiempo de generación y tasa alta de renovación poblacional, transfieren materia desde las bacterias hasta los consumidores, tanto plantónicos como vertebrados y son muy susceptibles a los cambios físico y químicos en el ambiente (Nogradyet *al.* 1993, en: Zoppi de Roa y Pardo, 2003), por lo que los cambios en la estructura y composición los convierten en buenos indicadores de la calidad del agua.

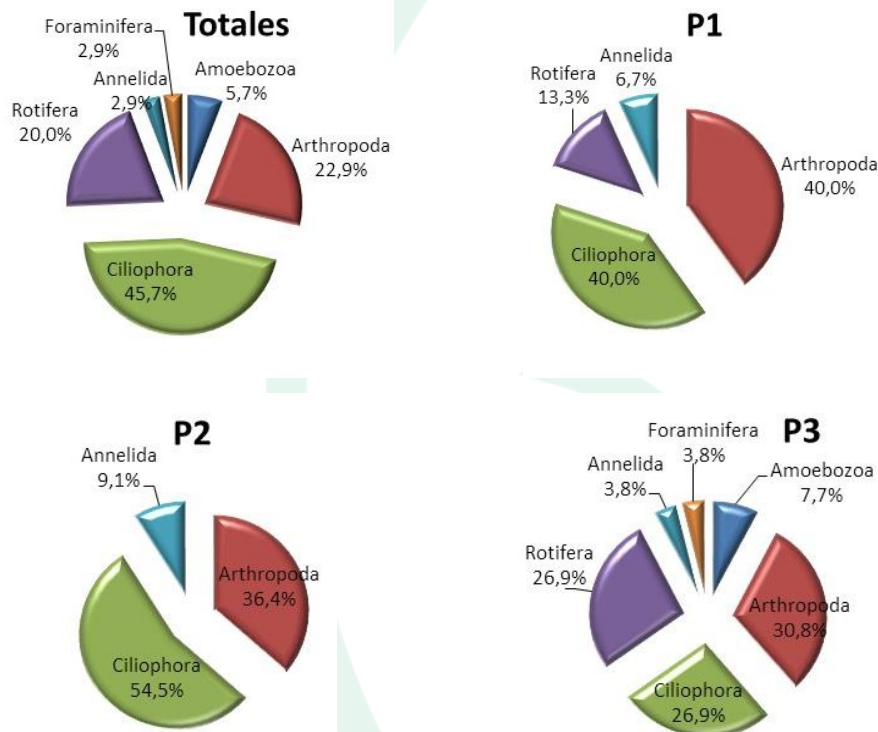


Figura 85. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La estructura de la comunidad del zooplancton de la ciénaga de Balboa estuvo dominada por morfoespecies de la división Ciliophora, que estuvo mejor representada en los puntos P-1y P-3 con 441.18 Ind/L y 1121.08 Ind/L; seguida de la división Arthropoda que obtuvo sus máximos aportes



en P-1, las divisiones Annelida y Rotifera realizaron contribuciones bajas, observándose una ligera codominancia con los grupos mencionadas en los puntos P-2 y P-3 respectivamente. Por su parte, Foraminifera y Amoebozoa estuvieron restringidas al punto P-3 (**Figura 86**).

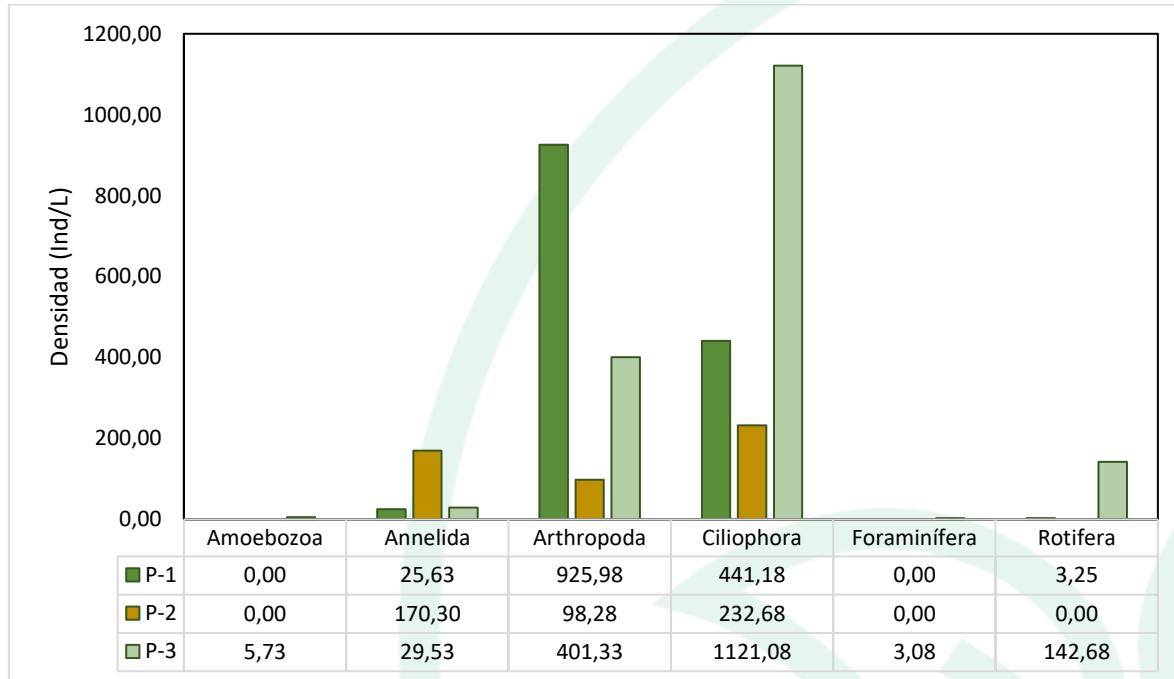


Figura 86. Distribución de la abundancia específica, por Phylum del zooplancton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

La densidad promedio total de la comunidad zooplanctónica de la ciénaga de Balboa registró un valor de 3113.35 Ind/L, siendo más alta en los puntos P-1 y P-3. Las morfoespecies de mayor abundancia fueron Morfoespecie Larva Nauplio y *Euplotes* sp con 1045.15 Ind/L y 904.30 Ind/L respectivamente (**Tabla 68,Tabla 69**). Los estadios tempranos Nauplio de los copépodos se caracterizan por su capacidad para ocupar hábitats diferentes, debido a un patrón corporal general que consiste en el desarrollo de modificaciones estructurales, fisiológicas y de comportamiento, además poseen un alto potencial de dispersión y mecanismos adaptativos que le permiten una colonización expansiva en sistemas someros (Dole-Olivier *et al.*, 2000). En general, suele encontrarseles en pequeños ambientes con algún grado de eutrofia. Por su parte las especies de



Euplotes, suelen aparecer tempranamente en el agua de inundación ya que habitan normalmente en el agua intersticial del suelo (Foissner et al., 1999; Schwarz & Frenzel, 2003).

Tabla 68. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Arcella discoides</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	3.50
<i>Arcella hemisphaerica</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	3.25	48.00	25.60	315.00	45.05	14.00
<i>Morfoespecie Larva Zoa</i>	32.50	16.00	22.40	3.15	2.65	10.50
<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>	0.00	12.80	16.00	0.00	0.00	10.50
<i>Calanoida ND Morfoespecie 2</i>	3.25	3.20	0.00	0.00	0.00	10.50
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	100.75	41.60	0.00	12.60	45.05	59.50
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	0.00	9.60	0.00	0.00	5.30	17.50
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	1056.25	576.00	41.60	100.80	161.65	154.00
<i>Moina spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
<i>Ostracoda Morfoespecie 5</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	322.00
<i>Vorticella spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	7.95	0.00
<i>Vorticella sp7</i>	0.00	0.00	0.00	3.15	0.00	0.00
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	135.15	0.00
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	63.60	0.00
<i>Euplotes spp</i>	0.00	0.00	0.00	28.35	887.75	892.50
<i>Codonella galea</i>	0.00	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Codonella spp</i>	0.00	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis directa</i>	0.00	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis nana</i>	0.00	0.00	0.00	239.40	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis parvula</i>	0.00	163.20	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis sp1</i>	0.00	0.00	0.00	12.60	0.00	0.00
<i>Tintinnopsis spp</i>	568.75	131.20	147.20	0.00	71.55	0.00
<i>Brandtiella spp</i>	0.00	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	0.00	34.65	0.00	0.00
<i>Favella spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	14.00
<i>Stentor spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	71.55	87.50
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	3.50
<i>Brachionus angularis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	10.60	0.00
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
<i>Brachionus plicatilis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	87.45	164.50
<i>Keratella americana</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00
<i>Ecentrum spp</i>	3.25	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00
<i>Lophocharis spp</i>	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50



Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Testudinella amphora</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50
Total (Ind/L)	1771.25	1020.80	252.80	749.70	1621.80	1785.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 69. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies del zooplancton registrado en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020.

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	Total
<i>Arcella discooides</i>	0.00	0.00	4.40	4.40
<i>Arcella hemisphaerica</i>	0.00	0.00	1.33	1.33
<i>Polychaeta ND Morfoespecie Larva</i>	25.63	170.30	29.53	225.45
<i>Morfoespecie Larva Zoea</i>	24.25	12.78	6.58	43.60
<i>Calanoida ND Morfoespecie 1</i>	6.40	8.00	5.25	19.65
<i>Calanoida ND Morfoespecie 2</i>	3.23	0.00	5.25	8.48
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 1</i>	71.18	6.30	52.28	129.75
<i>Cyclopoida ND Morfoespecie 2</i>	4.80	0.00	11.40	16.20
<i>Morfoespecie Larva Nauplio</i>	816.13	71.20	157.83	1045.15
<i>Moina spp</i>	0.00	0.00	1.75	1.75
<i>Ostracoda Morfoespecie 5</i>	0.00	0.00	161.00	161.00
<i>Vorticella spp</i>	0.00	0.00	3.98	3.98
<i>Vorticella sp7</i>	0.00	1.58	0.00	1.58
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 1</i>	0.00	0.00	67.58	67.58
<i>Ciliatea-ND Morfoespecie 2</i>	0.00	0.00	31.80	31.80
<i>Euplotes spp</i>	0.00	14.18	890.13	904.30
<i>Codonella galea</i>	3.20	0.00	0.00	3.20
<i>Codonella spp</i>	1.60	0.00	0.00	1.60
<i>Tintinnopsis directa</i>	3.20	0.00	0.00	3.20
<i>Tintinnopsis nana</i>	0.00	119.70	0.00	119.70
<i>Tintinnopsis parvula</i>	81.60	0.00	0.00	81.60
<i>Tintinnopsis sp1</i>	0.00	6.30	0.00	6.30
<i>Tintinnopsis spp</i>	349.98	73.60	35.78	459.35
<i>Brandtiella spp</i>	1.60	0.00	0.00	1.60
<i>Tintinnidae ND Morfoespecie 1</i>	0.00	17.33	0.00	17.33
<i>Favella spp</i>	0.00	0.00	9.65	9.65
<i>Stentor spp</i>	0.00	0.00	2.65	2.65
<i>Tintinnopsis spp</i>	0.00	0.00	79.53	79.53
<i>Foraminifera ND Morfoespecie 3</i>	0.00	0.00	3.08	3.08
<i>Brachionus angularis</i>	0.00	0.00	5.30	5.30
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.00	0.00	1.75	1.75
<i>Brachionus plicatilis</i>	0.00	0.00	125.98	125.98
<i>Keratella americana</i>	0.00	0.00	1.33	1.33



Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	Total
<i>Ecentrum spp</i>	1.63	0.00	1.33	2.95
<i>Lophocharis spp</i>	1.63	0.00	1.75	3.38
<i>Testudinella amphora</i>	0.00	0.00	5.25	5.25
Total	1396.03	13.92	1703.40	3113.35

FUENTE: SERAMBIENTE S.A.S., 2021.

Al calcular los índices ecológicos, se determinó que la estructura de la comunidad zooplanctónica de la ciénaga de Balboa presenta variaciones espaciales, con valores indicadores de una diversidad media, siendo más alta en P-3 (H' :1,82). El índice de Pielou registró valores relacionados con una equitatividad moderada a baja, lo que es consistente con los resultados de Shannon—Wiener. Las comunidades con equitatividad baja son indicadoras de una distribución desigual de los recursos tróficos, que promueve e intensifica las interacciones de competencia biológica, de esta manera, dominan los taxones generalistas que gestionan los recursos de una manera más exitosa, desplazando aquellos taxones especialistas que requieren de recursos y condiciones particulares, de tal manera que sus abundancias se ven reducidas, lo que afecta negativamente el índice de diversidad de Shannon. Por su parte el índice de Margalef, registró valores inferiores a dos relacionados con baja riqueza específica, a excepción del punto P-3, donde se observaron 27 morfoespecies (**Tabla 70**).

Tabla 70. Índices ecológicos para el zooplancton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020. Equidad (J'), diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$)

Índice	Taxa	N	J'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	H'	d
P-1	15	1396.06	0.4577	0.4113	0.5887	1.24	1.933
P-2	11	501.27	0.7392	0.2174	0.7826	1.773	1.608
P-3	27	1703.47	0.5533	0.302	0.698	1.824	3.494

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



6.3.1.2.3 Perifiton

La comunidad de perifiton en la ciénaga de Balboa registró en total 1910 individuos, distribuidos en ocho (8) morfoespecies, cuatro (4) familias, tres (3) órdenes, dos (2) clases y una (1) división (**Tabla 71**). La división Bacillariophyta (diatomeas) fue la única encontrada en este monitoreo para este sistema.

Tabla 71. Clasificación taxonómica y densidad de las morfoespecies de perifiton registradas en la ciénaga de Balboa.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp3</i>
				<i>Navicula sp4</i>
				<i>Gyrosigma sp4</i>
				<i>Gyrosigma sp5</i>
				<i>Gyrosigma sp4</i>
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp3</i>	
	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp1</i>	
Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp</i>	
1	2	3	4	8

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En los tres puntos de monitoreo, la riqueza por phylum fue pobre, donde las Bacillariophyta constituyeron el 100% de la riqueza de morfoespecies en todos los puntos monitoreados (**Figura 87**).

Totales



Figura 87. Riqueza Total y distribución de la riqueza específica, por división del perifiton en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



La densidad promedio del perifiton en la ciénaga de Balboa registró un valor de 4977.56 Ind/cm², siendo más alta en el punto P-1 con 1839.34 Ind/cm² (**Tabla 73**). En general, los puntos monitoreados presentaron densidades bastante cercanas entre sí y estuvieron dominados al 100% por algas de la división Bacillariophyta (**Figura 88**).

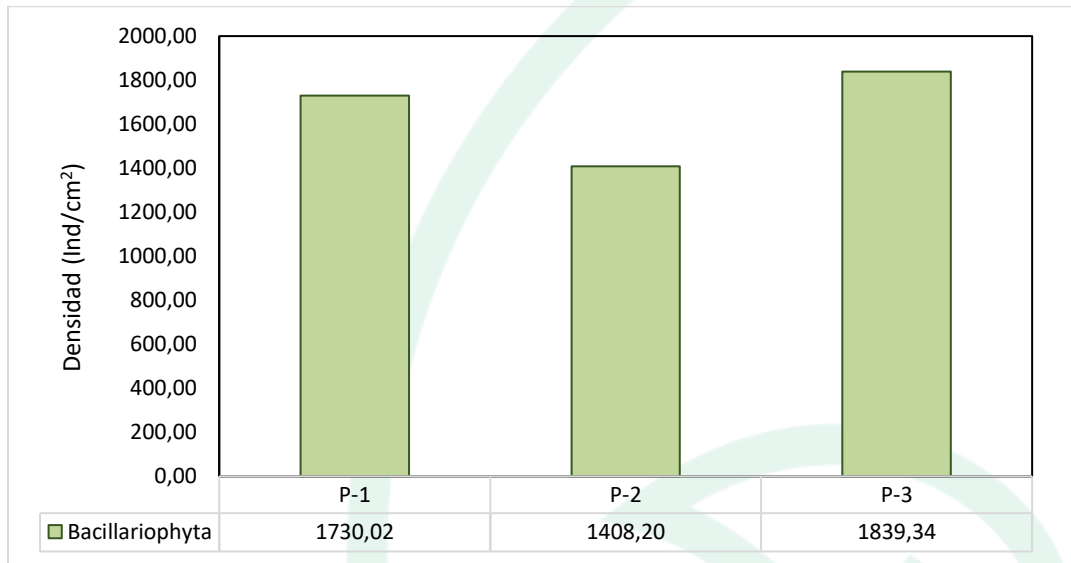


Figura 88. Contribución de las divisiones de perifiton a la densidad en los puntos de muestreo de la ciénaga de Balboa.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Gyrosigma sp5 y *Navicula* sp3 fueron las morfoespecies con densidades medias más altas, registrando en total 1118.08 Ind/cm² y 2226.40 Ind/cm² respectivamente (**Tabla 72, Tabla 73**). Estos géneros se relacionan con condiciones meso y eutróficas (Roldán y Ramírez, 2008). Las especies de *Navicula* poseen una amplia distribución en ambientes dulceacuícolas, Gómez *et al.* (2001) afirman que son tolerantes a la contaminación y su dominancia indica sitios altamente perturbados, lo que estaría asociado a procesos de contaminación en la cuenca.



**Tabla 72. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas
 ciénaga de Balboa.**

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
<i>Navicula sp3</i>	646.36	1097.13	635.42	370.69	840.02	863.17
<i>Navicula sp4</i>	143.18	247.24	406.25	351.18	301.25	209.83
<i>Pinnularia sp3</i>	0,00	0.00	0.00	0.00	40.55	57.23
<i>Gyrosigma sp4</i>	61.36	123.62	41.67	23.41	110.07	128.76
<i>Gyrosigma sp5</i>	270.00	236.94	463.54	429.22	469.25	367.21
<i>Gyrosigma sp6</i>	0.00	92.72	0.00	0.00	191.18	100.15
<i>Gomphonema sp1</i>	196.36	345.11	0.00	27.31	0.00	0.00
<i>Synedra sp</i>	0.00	0.00	67.71	0.00	0.00	0.00
Total	1317.27	2142.76	1614.58	1201.82	1952.33	1726.34

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

**Tabla 73. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de perifiton registradas
 ciénaga de Balboa.**

Morfoespecie	P-1	P-2	P-3	Total
<i>Navicula sp3</i>	871.75	503.05	851.60	2226.40
<i>Navicula sp4</i>	195.21	378.72	255.54	829.47
<i>Pinnularia sp3</i>	0.00	0.00	48.89	48.89
<i>Gyrosigma sp4</i>	92.49	32.54	119.42	244.45
<i>Gyrosigma sp5</i>	253.47	446.38	418.23	1118.08
<i>Gyrosigma sp6</i>	46.36	0.00	145.66	192.02
<i>Gomphonema sp1</i>	270.74	13.66	0.00	284.39
<i>Synedra sp</i>	0.00	33.85	0.00	33.85
Total	1730.02	1408.20	1839.34	4977.56

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En cuanto a la estructura de la comunidad perifítica descrita a través de los índices ecológicos (**Tabla 74**), los valores sugieren que el ensamblaje registrado presenta una diversidad baja, donde los tres puntos de monitoreo tuvieron la misma riqueza de morfoespecies; la equidad presentó valores altos, donde las densidades de las morfoespecies tienden a ser muy similares, por lo que el índice de dominancia presentó valores que tienden a ser bajos, es decir, no hay prevalencia de algunas morfoespecies sobre otras. El índice de Margalef indicó una diversidad baja dado que sus valores



fueron inferiores a 2. Según Margalef (1995) valores inferiores a 2.0 son relacionados con zonas de baja diversidad y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

Tabla 74. Índices ecológicos para el perifiton en la ciénaga de Balboa, en diciembre de 2020. Abundancia (N), Equidad (J'), diversidad de Shannon-wiener (H'), dominancia (λ) y diversidad de Simpson ($1-\lambda$), Índice de Margalef (d).

Índice	Taxa	N	J'	H'	Dominancia (λ)	Diversidad de Simpson ($1-\lambda$)	d
P-1	6	1730.02	0.7907	1.417	0.3162	0.6838	0.6706
P-2	6	1408.2	0.7293	1.307	0.3016	0.6984	0.6896
P-3	6	1839.34	0.805	1.442	0.2966	0.7034	0.6651

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

6.3.1.2.4 Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada por una (1) morfoespecie, vinculada a la división Annelida, cuya clasificación taxonómica se encuentra en la **Tabla 75**.

Tabla 75. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga de Balboa.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Annelida	Polychaeta	Capitellida	Capitellidae	Capitellidae sp

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

En general, la densidad total registrada presentó valores relativamente altos considerando que solo se observó una morfoespecie de la familia Capitellidae. El punto de muestreo P-2 obtuvo el mayor aporte a la densidad total, representado en un 57% del valor total, mientras que P-1 obtuvo el 43% restante; en P-3 no se observaron morfoespecies de la comunidad bentónica (**Figura 89;Tabla 76**).



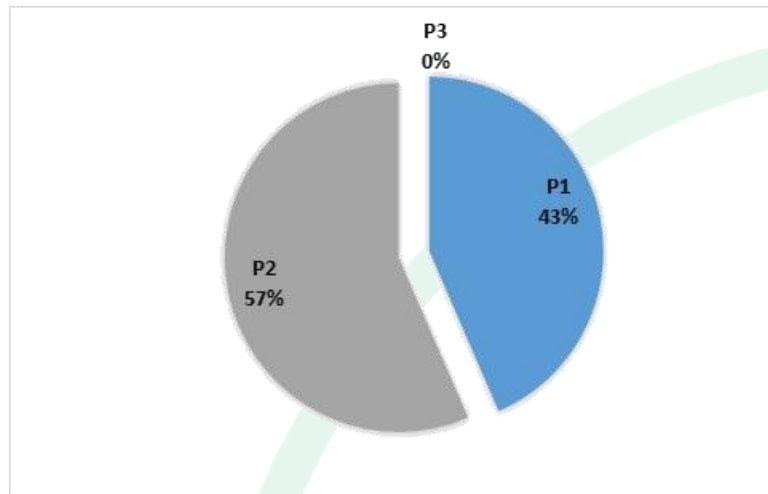


Figura 89. Contribución porcentual de la densidad total por punto de monitoreo de la comunidad bentónica registrada en la ciénaga de Balboa.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 76. Densidad promedio y por día de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados en la ciénaga de Balboa.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
Capitellidae sp	133.33	200.00	233.33	200.00	0.00	0.00
Total (Ind/m²)	133.33	200.00	233.33	200.00	0.00	0.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 77. Densidad promedio y por punto de monitoreo de las morfoespecies de macroinvertebrados en la ciénaga de Balboa

Morfoespecie	P-1	P-2	Total
Capitellidae sp	166.67	216.67	383.33
Total (Ind/m²)	166.67	216.67	383.33

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Roldán (2003) afirma que los oligoquetos se encuentran asociados a bajas concentraciones de oxígeno, gas que se reduce aún más cuando la temperatura del agua es alta, como ocurre en la ciénaga estudiada. Particularmente, la familia Capitellidae comprende poliquetos de hábitos oportunistas, que proliferan en condiciones que otras familias no pueden hacerlo (Mendez, 1993),



Méndez y Green-Ruiz (1998) consideran a esta familia como indicador de contaminación por materia orgánica ya que presenta una correlación positiva con dicho contaminante. Además, Quintero (2018) la consideran un factor de alarma, ya que solo se hace presente cuando los niveles de contaminación son altos. De tal manera que, de su presencia en la ciénaga de Balboa, podemos deducir que existe una fuerte contaminación que se da por la influencia de aguas domésticas y residuales que son vertidas en la ciénaga producto de actividades antropogénicas de sus poblaciones ribereñas.

6.3.1.2.5 Ictiofauna

El ensamblaje de peces de la ciénaga de Balboa estuvo representado por dos especies pertenecientes a dos familias y dos órdenes, que en total presentaron una abundancia de nueve individuos, que fue dominada por *Mugil cephalus* con siete individuos y una abundancia relativa de 0.78 (Tabla 78, Tabla 79).

Tabla 78. Clasificación taxonómica, abundancia relativa y frecuencia de los peces registrados en la ciénaga de Balboa en diciembre de 2020.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Gerreidae	<i>Gerres cinereus</i>
		Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>
1	1	2	2	2

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.

Tabla 79. Abundancia total y por día de monitoreo de las morfoespecies ícticas registradas en la ciénaga de Balboa.

Morfoespecie	P-1		P-2		P-3		Total
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	
<i>Gerres cinereus</i>	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00
<i>Mugil cephalus</i>	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	7,00
Total	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	9,00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2020.



Los bajos valores del número de especies y sus abundancias pueden estar asociados al esfuerzo muestral y/o a la selectividad del arte de pesca empleado, por tal razón no se hacen análisis ecológicos estructurales de la ictiofauna de esta ciénaga.

Las dos especies registradas son eurihalinas, lo que concuerda con el carácter de laguna costera de la ciénaga de Balboa. *Gerres cinereus* es reconocida a nivel internacional como una especie migratoria anfídroma (Riede, 2004).



6.3.2. Índice de calidad de las ciénagas costeras (ICAcc) - Ciénaga de Balboa.

Para la ciénaga de Balboa, la condición general, de acuerdo con el resultado del ICAcc, es un estado ambiental regular, que se extiende a todo el cuerpo de agua, con valores entre 51.29 y 53.13. Al igual que en Mallorquín, pero de manera más intensa, la calidad de los sedimentos, determinaron el puntaje en el estado de calidad ambiental, como se puede ver en la tabla de clasificación de los subíndices (**Tabla 80**). En contraste, la productividad y el índice de metales pesados, se expresaron con valores indicadores de muy buena calidad. Esta ciénaga presenta una alta presión antrópica generada a partir de la construcción del puerto marítimo que alguna vez operó, lo cual trajo consigo modificaciones en las condiciones morfométricas e hidráulicas naturales y ambientales de este cuerpo de agua, produciendo entonces la desecación de pequeñas ciénagas aledañas que generaban aportes directos sobre esta (CRA, 2017). La ciénaga de Balboa, está influida por la contaminación de residuos sólidos, líquidos y productos químicos, resultado de su inadecuada disposición en poblaciones aledañas y el desarrollo de la actividad agrícola en áreas adyacentes al municipio de Puerto Colombia, lo que va directamente e indirectamente a la ciénaga de Balboa, canales y/o acequias (CRA-INVEMAR, 2007). A todo esto, contribuye, la falta de cobertura de sistemas de saneamiento básico en las zonas de ronda (Ortiz y Morgado, 2009), lo cual es un problema histórico para este sistema, por lo que los efectos a la calidad del ambiente y la hidrobiota son más de tipo crónico. En el informe del REDCAM del 2020, se indica que Puerto Colombia es una de las poblaciones costeras, con mayor número de incumplimientos históricamente de acuerdo con las mediciones realizadas desde 2012 en la zona costera, con relación a los valores de referencia para enterococos fecales (INVEMAR, 2020).



Tabla 80. Valores de los subíndices y del índice ICACC para la ciénaga de Balboa.

Condición	Variable	Resultados Subíndices Dic-2020	
Subí: METALES PESADOS	As	100	93.43
	Cd	95.8	
	Pb	91.88	
	Cu	93.28	
	Hg	85.54	
Subí: COND. DEL MEDIO	OD	78.89	55.16
	pH	79.13	
	SAL	26.47	
	SST	0	
Subí: COND SED.	SED MO	-	0
	SED pH	-	
	MACROINV D	0	
Subí: MO Y MICROBIOL	COLTT	98	47.27
	DBO ₅	27.43	
	<i>PSEUDOM</i>	17.37	
Subí: CONT. RESIDUAL	DET	81.71	48.8
	GyA	15.89	
	HTP	-	
Subí: PRODUCTIVIDAD	NH ₃	43.47	90.35
	NO ₃	78.93	
	PO ₄	100	
	FITO	95.88	
<i>ICACC</i>		52.12	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

En la **Figura 90**, se muestra un mapa la distribución de los valores del índice de calidad ambiental (ICACC), construido a partir de la interpolación de los resultados obtenidos en las estaciones de monitoreo. Se aprecia que la calidad regular se extiende en todo el cuerpo de agua, sin embargo, existen variaciones para cada subíndice, por lo que a continuación se presenta el análisis discriminado.



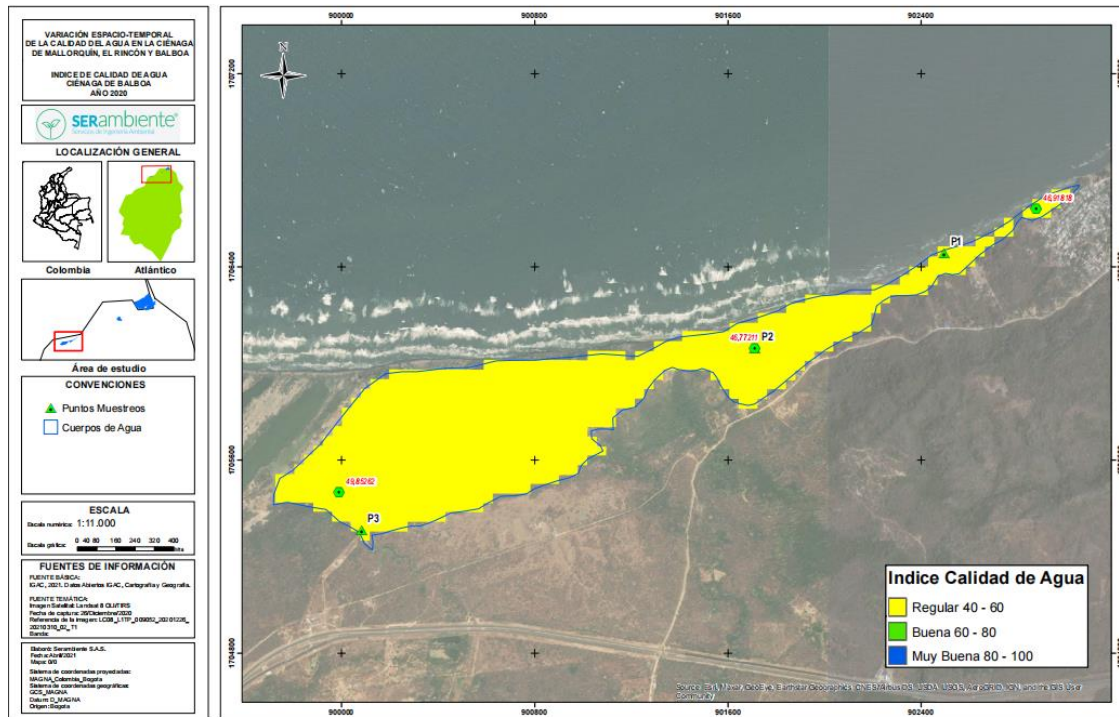


Figura 90. Variabilidad del índice de calidad ambiental (ICAcc), para la ciénaga de Balboa.
 Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

6.3.2.1. Subíndice Metales Pesados.

Este indicador ambiental tuvo un promedio de 93.43, que corresponde con una calidad muy buena, para arsénico, cadmio, plomo, cobre y mercurio. No tuvo variaciones importantes, pues la mayoría de los metales registraron valores por debajo del límite de cuantificación. Solo el plomo y cobre registraron valores por encima del límite en los puntos de monitoreo P1 y P2, que se encuentran más cerca de la influencia de la zona habitada, aunque en magnitudes por debajo de las referencias de calidad para dichos metales. Los datos del índice para cada metal analizado, se encuentran en el Anexo 6. Subíndice de calidad. En el monitoreo del INVEMAR de 2015 se registraba una concentración de cobre por encima de la referencia del NOAA para efectos crónicos (Garcés *et al*, 2016).



6.3.2.2. Subíndice Condiciones del medio.

El subíndice de condiciones del medio registró valores entre 53.1 y 57.45, con un promedio de 55.16, en todo caso indicando condiciones regulares de calidad ambiental. Las variables determinantes en la expresión de este subíndice, fueron la salinidad, con un promedio en el subíndice de 26.47 (mala calidad) y los sólidos suspendidos totales (SST) con una estimación de cero (0) indicando muy mala calidad. Históricamente se han registrado valores altos de salinidad en la ciénaga de Balboa. De acuerdo con los informes del REDCAM, en el año 2011 se registraba una de los valores más extremos de salinidad entre los sistemas monitoreados, con un valor de 55.8 UPS, lo cual le fue atribuido al escaso nivel de la columna de agua que alcanzó la ciénaga para ese año, con relación al debilitamiento del fenómeno de “La Niña” para ese año y la disminución del régimen de precipitaciones en la región Caribe (Vivas *et al*, 2012). Para 2015 en los monitoreos del INVEMAR, se registró en época seca, una salinidad de 79 UPS y en 2017 un valor de 60.9 UPS, clasificándose como salmuera (Garcés *et al*, 2015; INVEMAR, 2017).

En cuanto a SST para 2015, se reportaba en el seguimiento del INVEMAR, una concentración de SST de 784 mg/L y en 2017 por encima de 150 mg/L, clasificando el cuerpo de agua como contaminado por esta variable (INVEMAR, 2017), y de forma similar para otros períodos, lo cual sugiere una condición crónica relacionada con la presencia de partículas en suspensión y posiblemente aguas residuales de acuerdo con el informe de INVEMAR, a lo que se le debe sumar los cambios en el uso del suelo (deforestación) y la erosión, que en el caso de la ciénaga se hace evidente en el ecosistema circundante sobre las faldas de Cerro Hermoso.

En contraste con lo anterior, las otras variables que componen el subíndice (OD y pH) registraron, en términos generales, magnitudes relacionadas con una buena calidad, de acuerdo con sus ecuaciones específicas.



6.3.2.3. Subíndice Condiciones del sedimento.

Las condiciones del sedimento solo se evaluaron a través de la diversidad de los invertebrados bentónicos. Para el caso la riqueza y diversidad en todos los puntos de muestreo fue muy baja, con un índice de Shannon que se registró en cero (0). Teniendo en cuenta las condiciones ambientales mencionadas, es posible que las fluctuaciones de salinidad y el aumento de la misma hasta una condición de salmuera, se conviertan en un factor limitante para el desarrollo de esta comunidad biológica, a lo que se suman otras presiones antrópicas con efectos adversos en su estructura y abundancia.

De acuerdo con el monitoreo del INVEMAR (2017), en la estación ciénaga de Balboa se detectó la presencia de plaguicidas organoclorados, como el Heptacloro Epoxide, en concentraciones que sobrepasan la referencia de la EPA y que además pueden provocar efectos adversos en la hidrobiota. En 2010, ya se reportaba Metil Paratión en esta ciénaga (Garcés *et al*, 2016), dejando evidencia del uso de organofosforados como sustituto de los organoclorados que son de uso restringido, de acuerdo con la Resolución 447 de 1974 de Minagricultura.



6.3.2.4. Subíndice Materia orgánica y condiciones microbiológicas.

Este subíndice, se relaciona estrechamente con las condiciones sanitarias del cuerpo de agua y su capacidad depurativa de la materia orgánica. En promedio registró una magnitud de 47.27, variando entre las estaciones con valores desde 27.4 indicador de mala calidad, hasta, 63.09 indicador de buena calidad, teniendo en cuenta las estimaciones realizadas para la campaña del día 27 y día 28 de diciembre de 2020 como se muestra en la tabla del Anexo 6. Subíndice de calidad. Estas estimaciones estuvieron muy relacionadas con el contenido o concentración de *P. aeruginosa* llegando a valores de cero (0) indicador de muy mala calidad hacia las estaciones P1 y P2, y de 52,12 en la estación P3, indicando calidad regular.

P. aeruginosa es un indicador de contaminación microbiológica no fecal, pero de origen humano, capaz de transmitir infecciones no entéricas, que afectan la piel, oídos, nariz y garganta, cuya transmisión es por contacto; en este sentido, otros microorganismos también han sido sugeridos para evaluar este tipo de contaminación, como *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*. *P. aeruginosa*, es particularmente importante en aguas estuarinas, donde la alta temperatura del agua y los nutrientes disponibles permiten su crecimiento. Además, esta especie, suele encontrarse en muy bajas cantidades en aguas marinas y su presencia indica contaminación reciente (Barrera y Wong, 2005).

6.3.2.5. Subíndice Contaminación Residual.

El subíndice tuvo un promedio de 48.8 indicador de calidad regular, extendiéndose de manera homogénea en todo el cuerpo de agua, lo cual se debió a que para su cálculo se emplearon los límites de cuantificación de las variables grasas y aceites, y detergentes, pues todas las determinaciones estuvieron por debajo de tales valores. Aunque esto es una forma arbitraria de hacer la estimación, se hizo a favor de la conservación del sistema, además de tener en cuenta las presiones actuales y los antecedentes de contaminación de esta ciénaga.



Aunque no se tuvo en cuenta el límite de cuantificación de HTP, por ser muy elevado con respecto a las normas, se destaca que la ciénaga de Balboa, tiene antecedentes en contaminación por hidrocarburos. En el seguimiento a los sistemas costeros a través del REDCAM, el INVEMAR en 2011 encontró que junto con parte de las estaciones de monitoreo en el río Magdalena, algunas de las concentraciones más altas de hidrocarburos disueltos y dispersos, fueron registradas en la estación ciénaga de Balboa (1.57 µg/L), lo cual se relacionó con diversos factores, entre ellos la presencia de aguas residuales industriales y domésticas, el turismo, entre otros que tiene más incidencia hacia el río (Vivas *et al*, 2012).

6.3.2.6. Subíndice Productividad.

Teniendo en cuenta los resultados de la estimación del subíndice en las tres estaciones de monitoreo para las campañas del 27 y 28 de diciembre de 2020, se obtuvo un promedio de 90.35, indicador de muy buena calidad. Se obtuvo para las variables individuales resultados de buena y muy buena calidad, excepto para el nitrógeno amoniacal (NH₃), del cual se empleó el límite de cuantificación (1.0 mg/L) que resultó muy elevado con respecto a los valores de referencia. El resultado del subíndice, si se retira del cálculo el nitrógeno amoniacal, sigue manteniendo su condición de muy buena calidad, con respecto a la concentración de nutrientes y la densidad de productores primarios (fitoplancton), condición que puede cambiar drásticamente para el período de lluvias, cuando se generan aportes derivados del arrastre de nutrientes y materia orgánica.

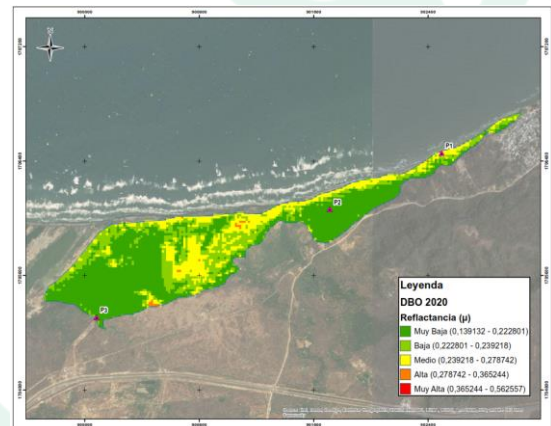
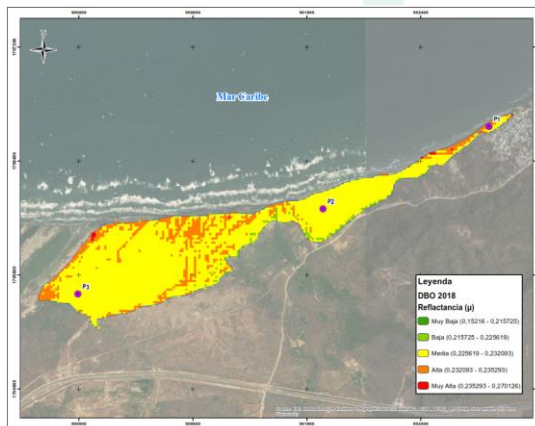
6.3.3. Análisis por sensores remotos.

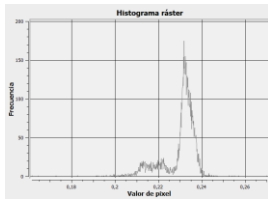
La reflectancia capturada con la banda 2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO₅) en la ciénaga de Balboa es media con una extensión de 81 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentra dentro del rango espectral de (0.225619 µ - 0.232093 µ), no obstante, presenta reflectancia alta en las márgenes superiores e inferiores de la ciénaga, áreas próximas a vegetación y algunas zonas con suelos desnudos, es decir, los valores de DBO₅ en el cuerpo de agua son diferenciados según los elementos que lo componen



y su distribución espacial. Para los datos de DBO₅ de 2020, la reflectancia es muy baja con una extensión de 55 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentra dentro del rango espectral de (0.139132 μ - 0.222801 μ), no obstante, presenta reflectancia baja y media en el centro de la ciénaga, áreas próximas a vegetación y algunas zonas con suelos desnudos con una extensión aproximada de 40% de la superficie de la ciénaga, es decir, los valores de DBO₅ en el cuerpo de agua son heterogéneos y muy diferenciados según los elementos que lo componen y su distribución espacial.

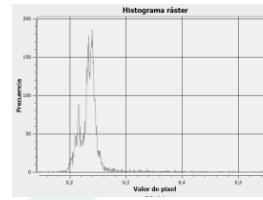
La variación espacial de la DBO₅ de la ciénaga de Balboa entre los años 2018 al 2020 (Anexo 7. Reflectancias de análisis para las variables fisicoquímicas en cada cuerpo de agua) se presenta como disminución de la variable en gran parte de la superficie, dado que los valores de reflectancia del año 2018 fueron mayores que los del 2020 en la mayor área de la superficie del cuerpo de agua, esto en términos radiométricos los aspectos climáticos y la corrección atmosférica representan un margen de error aproximado del 10%. Los valores tomados de los análisis de laboratorio, evidencian la homogeneidad y la disminución en la totalidad de la ciénaga, no obstante, se identifican algunas zonas estables, las cuales pueden estar asociadas a suelos desnudos y vegetación acuática y terrestre (**Figura 91, Figura 92 y Figura 93**).





Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,15216 - 0,215725)	0,00
Baja (0,215725 - 0,225619)	1,52
Media (0,225619 - 0,232093)	81,86
Alta (0,232093 - 0,235293)	15,35
Muy Alta (0,235293 - 0,270126)	0,28

Figura 91. Reflectancia de DBO₅ en la ciénaga de Balboa, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,139132 - 0,222801)	55,52
Baja (0,222801 - 0,239218)	23,88
Medio (0,239218 - 0,278742)	19,30
Alta (0,278742 - 0,365244)	0,40
Muy Alta (0,365244 - 0,562557)	0,00

Figura 92. Reflectancia de DBO₅ en la ciénaga de Balboa, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

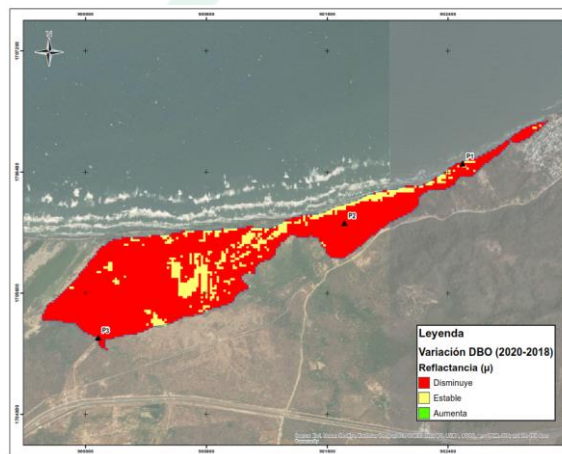


Figura 93. Variación espacial de DBO₅ en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.

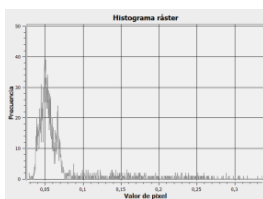
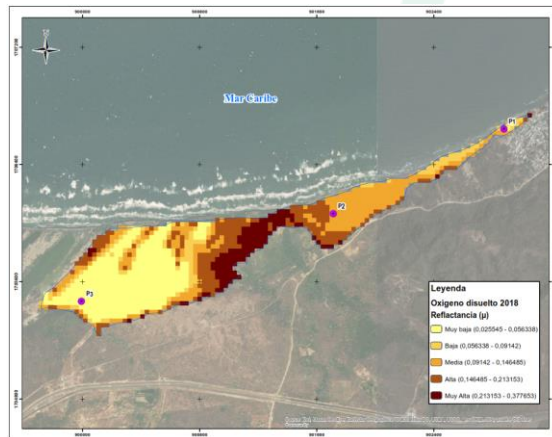
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

La reflectancia capturada con la banda 5 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 del *Oxígeno Disuelto* en la ciénaga de Balboa es muy baja con una extensión de 33 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, en la parte inferior de la ciénaga, dado que se encuentra dentro del rango espectral de (0.025545 μ - 0.056338 μ) no obstante, presenta reflectancia media, alta y muy alta abarcando el 45% de la superficie de la ciénaga en el centro y la margen superior de la ciénaga, es decir, los valores de *Oxígeno Disuelto* en el cuerpo de agua son parcializados según la morfología que lo componen y su distribución espacial. La reflectancia capturada para esta variable en 2020, es media con una extensión de 32 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua en la parte inferior y superior de la ciénaga de manera heterogénea, dado que se encuentra dentro del rango espectral de



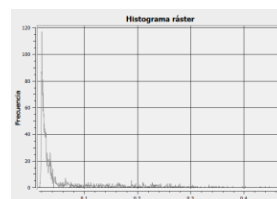
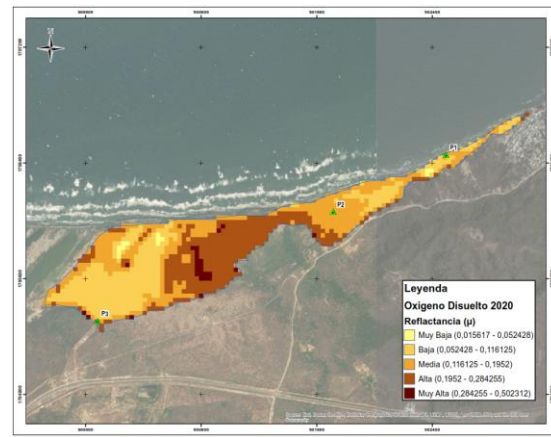
(0.1161 μ - 0.1952 μ) no obstante, presenta reflectancia baja y alta abarcando el 60% de la superficie de la ciénaga en el centro y la margen superior de la ciénaga.

La variación espacial del Oxígeno Disuelto (OD) de la ciénaga de Balboa entre los años 2018 al 2020 se presenta muy heterogénea en la superficie, teniendo valores de reflectancia del año 2018 que fueron mayores que los del 2020 en el centro y la margen superior del cuerpo de agua; en contraste, en la margen inferior y parte del centro de la ciénaga permanece estable los valores de reflectancia, esto en términos radiométricos los aspectos climáticos y la corrección atmosférica representan un margen de error aproximado del 10%. Los valores de los análisis también sugieren la variabilidad encontrada en las imágenes, mostrando aumento, disminución y estabilidad en diferentes sectores (Figura 94, Figura 95 y Figura 96).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy baja (0,02545 - 0,06338)	33,90
Baja (0,06338 - 0,09142)	9,35
Media (0,09142 - 0,146485)	24,40
Alta (0,146485 - 0,213153)	20,21
Muy Alta (0,213153 - 0,377653)	11,26

Figura 94. Reflectancia de OD en la ciénaga de Balboa, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,015617 - 0,052428)	1,07
Baja (0,052428 - 0,116125)	31,48
Media (0,116125 - 0,1952)	32,51
Alta (0,1952 - 0,284255)	31,67
Muy Alta (0,284255 - 0,502312)	2,21

Figura 95. Reflectancia de OD en la ciénaga de Balboa, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



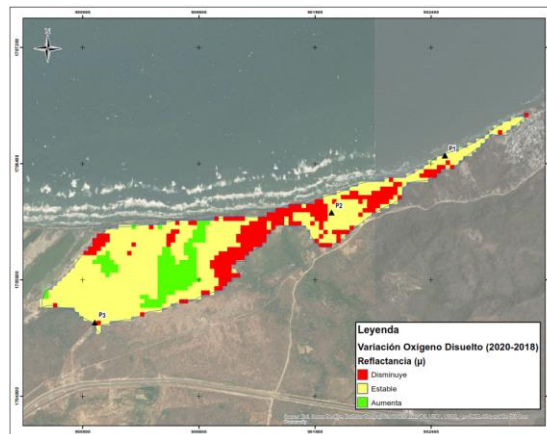


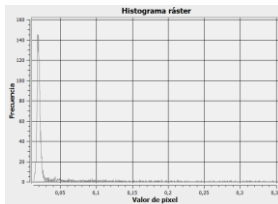
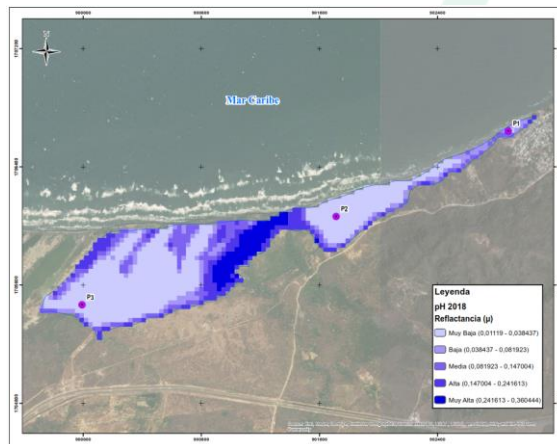
Figura 96. Variación espacial de OD en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

La reflectancia capturada con la banda 6 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la *Potencial de Hidrógeno pH* en la ciénaga de Balboa es muy baja con una extensión de 52.72 hectáreas en la parte inferior y superior centrado de la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentra dentro del rango espectral de $(0.01119 \mu - 0.038437 \mu)$ no obstante, presenta reflectancia baja, media, y alta abarcando el 35% de la superficie heterogénea de la ciénaga en el centro y la margen superior de la ciénaga, es decir, los valores de *Potencial de Hidrógeno pH* en el cuerpo de agua son heterogéneos de manera parcial según la morfología que lo componen y su distribución espacial. La reflectancia capturada para el pH en la ciénaga de Balboa para el monitoreo de 2020, está entre muy baja y media en su mayor extensión, dado que se encuentran dentro del rango espectral $(0.009673 \mu - 0.04193 \mu)$, presentando una distribución heterogénea y dispersa con un área aproximada entre 30 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, sin embargo, los rangos espectrales entre media, alta y muy alta son el 50% de la superficie del cuerpo de agua, demostrando que existe una variabilidad relacionada con elementos que componen el cuerpo de agua como vegetación y superficies de suelos desnudos entre otros, es decir, que los valores de *pH* en el cuerpo de agua son muy diferenciados según su distribución espacial y elementos del medio que intervienen que demuestran que existió una variabilidad en algunos sectores del cuerpo de agua con respecto el año 2018.

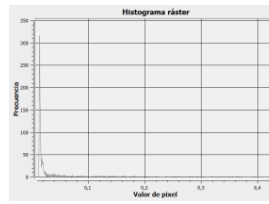
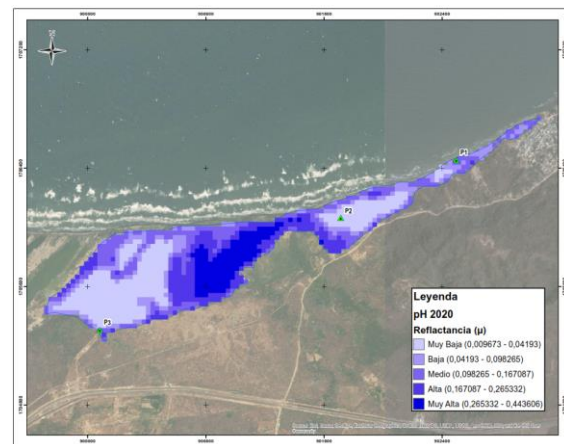


La variación espacial del pH de la ciénaga de Balboa entre los años 2018 al 2020 se presenta en la superficie de manera heterogénea, con sectores estables principalmente, con menos proporción de zonas con aumento o disminución en los valores de la reflectancia para la variable. En los bordes inferiores y superiores de la ciénaga se presenta disminución donde se asocia con la vegetación o suelos desnudos, esto en términos radiométricos los aspectos climáticos y la corrección atmosférica representan un margen de error aproximado del 10%. Los valores tomados en campo sugieren la variabilidad encontrada para esta variable comparándolos dos períodos (**Figura 97, Figura 98 y Figura 99**).



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,01119 - 0,038437)	52,72
Baja (0,038437 - 0,081923)	11,27
Media (0,081923 - 0,147004)	14,84
Alta (0,147004 - 0,241613)	11,79
Muy Alta (0,241613 - 0,360444)	8,34

Figura 97. Reflectancia de pH en la ciénaga de Balboa, 2018.



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,009673 - 0,04193)	30,89
Baja (0,04193 - 0,098265)	14,77
Medio (0,098265 - 0,167087)	22,26
Alta (0,167087 - 0,265332)	18,15
Muy Alta (0,265332 - 0,443606)	12,78

Figura 98. Reflectancia de pH en la ciénaga de Balboa, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



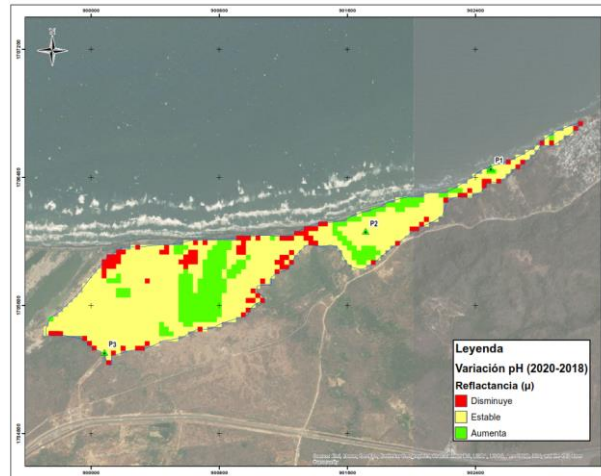


Figura 99. Variación espacial de pH en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

La reflectancia capturada con la banda 4 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de SST en la ciénaga de Balboa es baja con una extensión de 36 hectáreas en la parte superior en la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentra dentro del rango espectral de (0,204193 μ - 0,231817 μ), no obstante, presenta reflectancia alta y muy alta en las márgenes superiores e inferiores de la ciénaga representan el 32%, es decir, los valores de SST en el cuerpo de agua son heterogéneos según los elementos que lo componen y su distribución espacial. Para las estimaciones de SST de 2020, la reflectancia capturada con la misma banda es alta con una extensión de 66 hectáreas en la extensión parcial de la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentra dentro del rango espectral de (0,262068 μ - 0,355887 μ), no obstante, presenta reflectancia media en las margen inferior de la ciénaga representan el 25%, es decir, los valores de *Turbidez* en el cuerpo de agua son heterogéneos según los elementos que lo componen, morfología y su distribución espacial.

La variación espacial de SST de la ciénaga de Balboa entre los años 2018 al 2020 se presenta en la superficie de manera heterogénea y dividida, dado que los valores de reflectancia aumentan del año 2020 con respecto al año 2018 en el margen inferior representando un 45% de la superficie y disminuyen del año 2018 al año 2020 considerablemente en el margen superior del cuerpo de agua



representado el 54% de la superficie; esto en términos radiométricos, los aspectos climáticos y la corrección atmosférica, representan un margen de error aproximado del 10%. Los valores determinados por análisis de laboratorio, denotan la variabilidad y polaridad presente en el cuerpo de agua (**Figura 100, Figura 101 y Figura 102**).

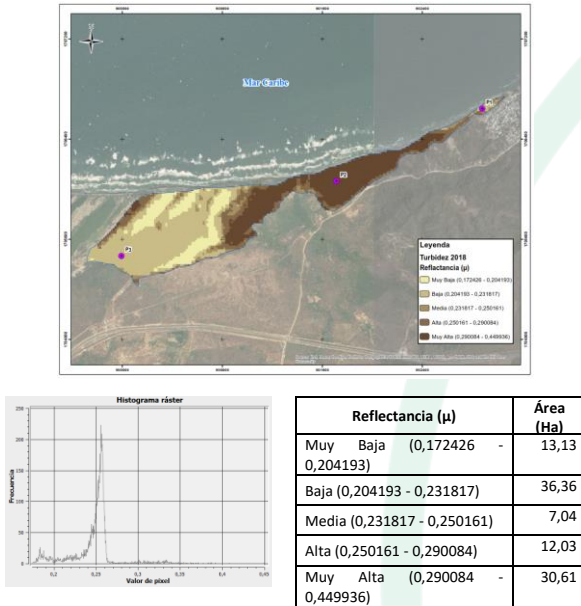


Figura 100. Reflectancia de SST en la ciénaga de Balboa, 2018.

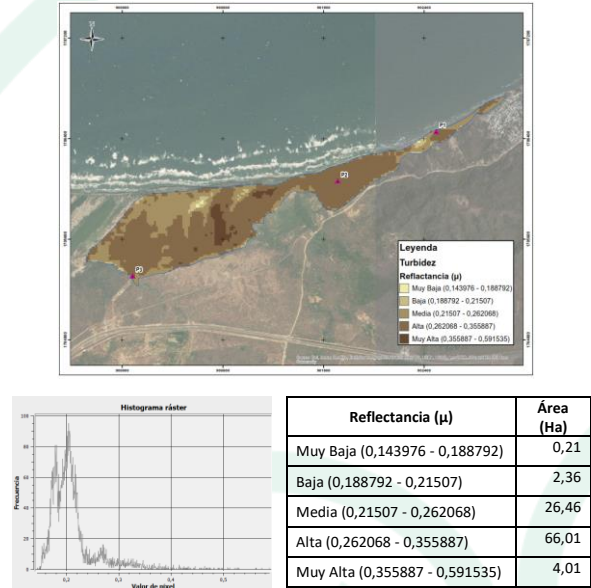


Figura 101. Reflectancia de SST en la ciénaga de Balboa, 2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

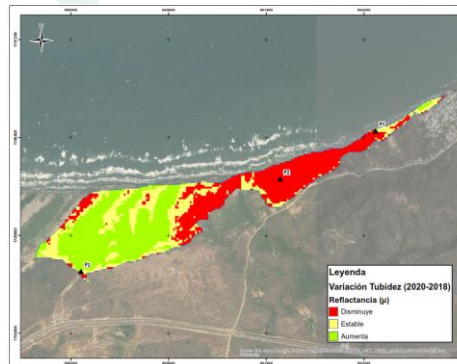


Figura 102. Variación espacial de SST en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.

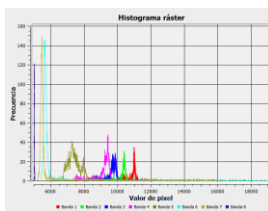
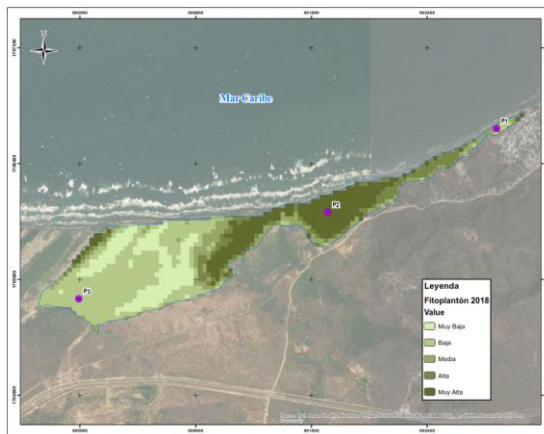
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



La reflectancia capturada con la combinación de las banda 5, 6 y 2 del satélite Landsat 8 OLI/TIRS para el año 2018 de la concentración de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa es baja presentando una distribución heterogénea con un área aproximada de 36 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0,222454\mu - 0,24047\mu$), el resto de la reflectancia se encuentran en muy baja y muy alta concentraciones en la parte extremo inferior y zona extrema superior de Balboa con una extensión aproximada de 40%. La reflectancia capturada con la misma combinación de bandas para el fitoplancton en la ciénaga de Balboa es baja presentando una distribución heterogénea con un área aproximada de 57 hectáreas en la superficie del cuerpo de agua, dado que se encuentran dentro del rango espectral ($0,231677\mu - 0,242359\mu$), el resto de la reflectancia se encuentran en media concentraciones en la parte central de la ciénaga de Balboa con una extensión aproximada de 39%.

Por otra parte, el análisis de variación, entre los años 2018 al 2020, se presenta en la superficie de manera heterogénea y dividida, dado que los valores de reflectancia permanecen estables entre el 2018 y 2020 en el margen inferior representando un 35% de la superficie y disminuyen del año 2018 al año 2020 considerablemente en el margen superior del cuerpo de agua representado el 60% de la superficie del cuerpo de agua; por otro lado, los valores aumentados de reflectancia se encuentran solamente en la margen inferior asociada a algunos áreas de vegetación o suelos desnudos. Esto en términos radiométricos, los aspectos climáticos y la corrección atmosférica representan un margen de error aproximado del 10% (**Figura 103, Figura 104 y Figura 105**).

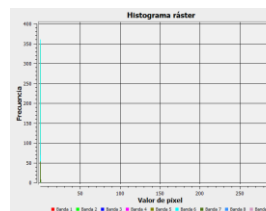
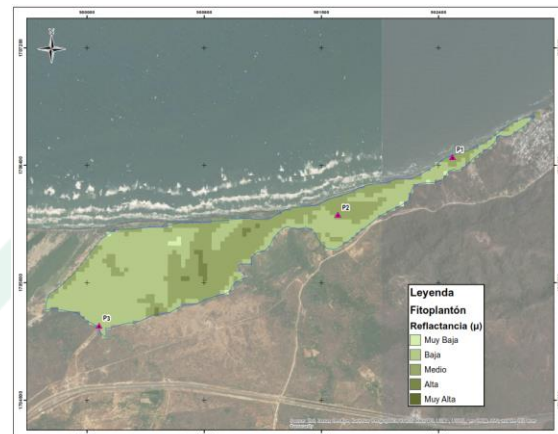




Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,195259 - 0,222454)	17,18
Baja (0,222454 - 0,24047)	36,63
Medio (0,24047 - 0,268549)	11,25
Alta (0,268549 - 0,34951)	10,63
Muy Alta (0,34951 - 0,561323)	23,30

Figura 103. Reflectancia de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2018.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



Reflectancia (μ)	Área (Ha)
Muy Baja (0,205796 - 0,231677)	0,68
Baja (0,231677 - 0,242359)	57,70
Media (0,242359 - 0,250457)	39,18
Alta (0,250457 - 0,271112)	1,45
Muy Alta (0,271112 - 0,338248)	0,00

Figura 104. Reflectancia de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2020.

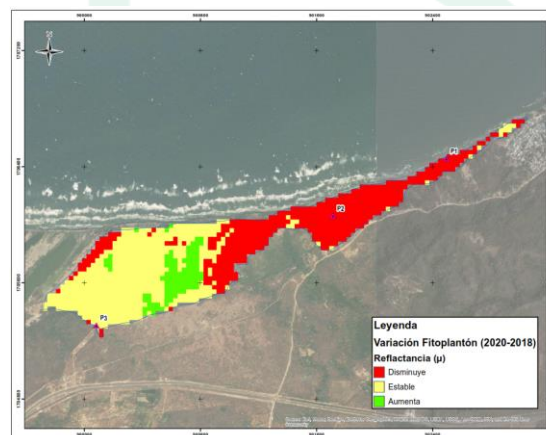


Figura 105. Variación espacial de fitoplancton (Ind/L) en la ciénaga de Balboa, 2018-2020.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



6.3.4. Prueba y modelo estadístico.

Para la ciénaga de Balboa, no se encontraron correlaciones significativas estadísticamente; es probable que el menor número de estaciones de monitoreo y la cantidad de datos no haya aportado suficiente información para construir un modelo que represente la variabilidad y su relación con las reflectancias evaluadas para cada parámetro. Los resultados, para esta ciénaga y para las demás, deben verse como un primer paso para ajustar y estandarizar las herramientas basadas en sensores remotos para la obtención de métodos de evaluación en tiempo real de la calidad del agua (**Tabla 81**).

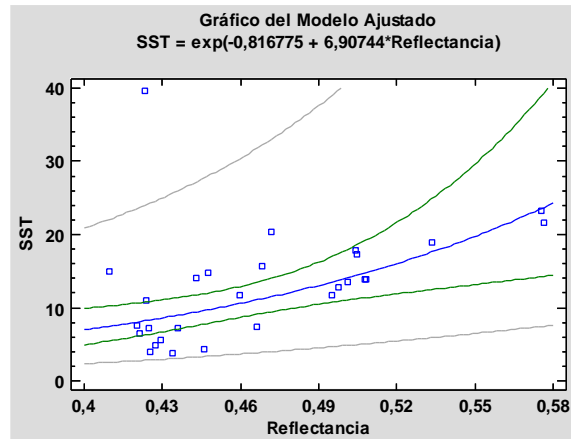
Tabla 81. Prueba de correlación de Pearson para las variables seleccionadas. Ciénaga de Balboa.

PERIODO	REFLECTANCIA / combinada	
	PEARSON	Valor-P
SST	0.7775	0.0687
Subl SST	0.5141	0.2968
DBO ₅	-0.0445	0.9332
Subl DBO ₅	0.0383	0.9425
OD	0.2885	0.5792
Subl OD	0.6263	0.1834
pH	-0.0275	0.9587
Subl pH	0.3602	0.4831
Fitoplancton	-0.7738	0.071
Subl Fito	0.7804	0.067

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)

No obstante, al combinar la información de las tres ciénagas, teniendo en cuenta que se emplearon las mismas bandas espectrales, se encontró un modelo para los sólidos suspendidos totales (SST) que se ajusta para el análisis de los tres cuerpos de agua, registrando una correlación, aunque moderada, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95% con un $P < 0.05$ en el ANOVA. El modelo encontrado a partir del análisis de regresión, representó para el caso un 29.78% de la variabilidad, lo cual podría seguirse ajustando en la medida que haya más información y haya más precisión en la toma de datos (coordenadas) y muestras en campo (**Figura 106**).





Análisis de varianza. Valor P : 0.0027

Coefficiente de correlación: 0.54

R^2 : 29.78

Ecuación: $SST = e^{(-0.816775 - 6.90744 * Ref)}$

Figura xxx. Gráfico del modelo ajustado para SST. C. Balboa

Figura 106. Gráfico del modelo ajustado para los SST. Ciénaga de Balboa.
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, (2020)



7 CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones por ciénaga

7.1.1 Ciénaga de Mallorquín.

A través del arroyo León entra la mayor parte de la contaminación de materia orgánica a la ciénaga, evidenciada en los registros de DBO₅ y DQO y bajos valores de OD en P1.

La poca profundidad, amplia influencia marina y de escorrentías locales, y los vientos, causan turbulencias que remueven los sedimentos del fondo, ocasionando que las estimaciones de SST aumenten.

De los nutrientes analizados, solo los ortofosfatos presentan concentraciones que no cumplen con el objetivo de calidad de la CRA (<0.1 mg/L) y sus valores demuestran eutrofización en la ciénaga.

La salinidad en la ciénaga de Mallorquín demuestra que en las lagunas costeras hay una baja influencia de las entradas de agua sobre las concentraciones de esta variable, es así como en puntos cercanos a las entradas de agua dulce los registros son más bajos y los cercanos a la boca o bocas de entrada de agua de mar se encuentran más salinizadas.

Los registros de Pseudomonas demuestran contaminación microbiológica por descargas de aguas residuales.

La diversidad de la comunidad Fitoplanctónica en la ciénaga mallorquín fue baja sin embargo por algunos puntos fue moderada teniendo 49 morfoespecies registradas en total para este sistema, siendo las Bacillariophyta el grupo con mayor riqueza y densidad el grupo de las diatomeas son tolerantes a condiciones de mineralización e indican contaminación orgánica y sólidos suspendidos;



está relacionada con pH neutro o ligeramente ácido, Turbulencia, Mezcla y eutrofia en los cuerpos de agua. El punto P6 tuvo la mayor densidad de especies en este sistema.

Se presenta una comunidad zooplanctónica propia de ecosistemas lénticos con tendencia a la eutrofia, en la mayoría de los puntos evaluados, excepto en el Punto 2, donde las mayores riquezas y abundancias de ciliados pueden ser indicadores de baja calidad del agua; así como en el Punto 1, donde las mayores riquezas de ciliados y abundancias de rotíferos describen ambientes eutrofizados con posibles bajos de oxígeno y posible presencia de aguas con mayor carga orgánica y el Punto 5, donde las densidades de los Phylum revelan aguas con tendencia a la eutrofia y bajos niveles de oxígeno.

Igualmente se evidenció diferencias en la estructura de la comunidad presenta dos extremos en los puntos 1 y 6, para el primero se presentó la mayor diversidad y uniformidad, con dominancia muy baja; mientras que en el segundo se evidenció el caso contrario, la menor diversidad y uniformidad con dominancia muy alta; dichos cambios espaciales pueden ser el reflejo de alteraciones puntuales sobre estos puntos, estar influyendo en la comunidad zooplanctónica, que mantiene los puntos en estados opuestos de la sucesión.

La diversidad y densidad de la comunidad Perifítica fue baja, teniendo 17 morfoespecies registradas en total para este sistema, siendo las diatomeas y Cianobacterias los grupos con mayor riqueza, estas indican procesos de eutrofización. El punto P7 obtuvo el mayor número de especies en este sistema.

La cobertura de macrófitas acuáticas en la ciénaga de Mallorquín es el más bajo registrado de todos los cuerpos de agua analizados en este documento.

La diversidad y la abundancia de la ictiofauna de la ciénaga de Mallorquín fueron muy bajas. Las especies registradas son principalmente marino-estuarinas, con excepción de *Notariusbonillai*;



especie amenazada que no cuenta con registros en la región hasta el momento, lo cual constituye un hito en el conocimiento de la biodiversidad de la región, dándole mayor importancia a esta ciénaga por el rol que puede estar cumpliendo en el sostenimiento de la especie. Lo cual se refuerza con la presencia de las especies migrantes *Gerrescinereus* y *Caranx hippos*; esta última catalogada como vulnerable.

7.1.2 Ciénaga El Rincón.

Los altos valores de conductividad que se reportan en la ciénaga El Rincón podrían estar relacionados con la geología del terreno sobre el cual está ubicado y que le aporta gran parte de los elementos que aumentan su mineralización, volviendo sus aguas hiposalinas (entre 3000 y 20000 $\mu\text{S/cm}$).

Tanto en el punto ubicado en el arroyo León como en P1, P3 y P4 de la ciénaga El Rincón, es evidente que existe leve contaminación por materia orgánica biodegradable y no biodegradable, evidente en las concentraciones de DBO_5 y DQO.

Los registros en P1, indican que, en este punto, por donde entran las aguas tratadas del arroyo León, se filtra contaminación que dispara los valores de DBO_5 y DQO, mientras que en P3 (sector oeste de la ciénaga) y P4 (sector norte, Club Lagos del Caujaral) los requerimientos de oxígeno podrían estar asociados a procesos de descomposición de vegetación acuática.

Para los SST es probable que en este cuerpo de agua se presenten procesos permanentes de circulación, corrientes y turbulencias, ocasionadas por los vientos que resuspenden las partículas sólidas desde los sedimentos, ocasionando que permanezcan más tiempo sobre la columna de agua. Esto se hace visible en los registros de años anteriores, donde se presenta casi el mismo comportamiento de la variable en los puntos de monitoreo. Los Ortofosfatos son los únicos nutrientes que demuestran eutrofización en la ciénaga.



Los valores de Pseudomonas (P1 con 24193 NMP/100 mL, seguido de P2 con 6867 NMP/100 mL y P4 con 4106 NMP/100 mL) indican que a través del arroyo León están entrando descargas de aguas residuales con presencia de estos microorganismos.

La diversidad de la comunidad Fitoplanctónica de la ciénaga El Rincón fue moderada para el punto de monitoreo teniendo 43 morfoespecies registradas en total para este sistema, siendo las Chlorophyta y Cianobacterias los grupos con mayor riqueza esta última indica procesos de eutrofización. El punto P2 tuvo la mayor riqueza sin embargo el punto P6 tuvo la mayor densidad de especies en este sistema.

La ciénaga El Rincón presenta una comunidad zooplanctónica propia de ecosistemas lénticos eutrofizados, de las 60 morfoespecies identificadas, se observó el predominio de riqueza y abundancia de las especies pertenecientes al Phylum Rotifera en todos los puntos de muestreo, con excepción del P1, donde la abundancia de Arthropoda fue mayor (85%); los resultados demostraron diferencias de diversidad entre los puntos evaluados, donde P1 y P4 presentaron menores valores de diversidad. Igualmente se evidenció diferencias en la estructura de la comunidad desde el punto de vista de la equidad se presentaron cuatro grupos, equidad medio-baja en P1, equidad media en P2 y P4, equidad medio-alta en P3 y P5 y equidad alta en P6. Se evidenció cambios en la estructura desde la dominancia, observándose baja en P1 y P4, y dominancia media en los puntos restantes, las variaciones en la estructura de la comunidad pueden ser reflejo de alteraciones puntuales que pueden estar influyendo en la comunidad zooplanctónica en P1 y P4.

La diversidad y densidad de la comunidad Perifítica fue baja, teniendo 21 morfoespecies registradas en total para este sistema, siendo las diatomeas y Cianobacterias los grupos con mayor riqueza estas indican procesos de eutrofización. El punto P1 obtuvo el mayor número de especies en este sistema.



Las macrófitas acuáticas están constituidas por una sola especie nativa y su cobertura total es de moderada a baja.

Se registró una especie y es invasora, planteando un panorama crítico que puede estar asociado a la fuerte presión antrópica a la que está sometida.

7.1.3 Ciénaga de Balboa.

Los valores de DBO₅ y DQO sugieren que en P2 y P3 hay contaminación por materia orgánica con una calidad de agua aceptable en cuanto a DBO₅ y contaminadas de acuerdo a los registros de DQO.

Los valores de DBO₅ en los diferentes monitoreos presentan el mismo comportamiento, aumentando de P1 a P3. Los mayores valores registrados en P3 podrían estar relacionados con contaminación por materia orgánica de origen autóctono, derivado de la descomposición de material vegetal, entre ellos mangle, abundante en sus bordes y que debido a que este es un punto lejano a la población, la presencia de aguas domésticas es poco probable.

Al ser este un sistema somero, los vientos causan turbulencias que remueven los sedimentos del fondo, ocasionando que los SST aumenten. Los valores registrados se encuentran dentro de los señalados para aguas muy contaminadas (>200 mg/L). Los Ortofosfatos son los únicos nutrientes que demuestran eutrofización del sistema.

El origen de Pb en la ciénaga puede ser litogénico o geoquímico, por la erosión y el arrastre de escorrentías.

Los valores registrados de pseudomonas sugieren contaminación fecal derivada de aguas residuales.



La diversidad de la comunidad Fitoplanctónica fue alta teniendo 43 morfoespecies registradas en total para este sistema, siendo las Euglenophyta, Cianobacterias y Chlorophyta los grupos con mayor riqueza estas indican procesos de eutrofización, la mayor densidad fue para el grupo de Cyanobacterias. El punto P3 obtuvo el mayor número de especies en este sistema.

En la comunidad zooplanctónica propia del ecosistemas lagunares costeros, conformado por 35 morfoespecies, las cuales presentaron diferencias espaciales en cuanto a la composición de la riqueza, presentando predominio de Ciliophora y Arthropoda en P1 y P2, mientras que en el punto P3 la mayor riqueza la aportó los Phylum Artrópoda y Rotifera, lo que permite inferir que en la mayor parte de la ciénaga presenta una baja calidad del agua, asociada a tendencia a la eutrofia, especialmente en P,1 donde predomina. Esto puede ser reflejo de la presión ambiental ejercida por su constante interacción con las aguas marino-costeras, así como a la heterogeneidad espacial de la comunidad zooplanctónica en la ciénaga.

La diversidad y densidad de la comunidad Perifítica fue baja para los puntos del monitoreo teniendo en total ocho morfoespecies registradas para este sistema, siendo las diatomeas el único grupo presente, su presencia indica procesos de eutrofización. P1 obtuvo la mayor abundancia y densidad de especies en este sistema.

La cobertura de macrófitas acuáticas es baja.

Existe baja riqueza y abundancia ictiofauna. Estando compuesta por dos especies de hábitos estuarino-marinos. Siendo una de ellas Gerrescinereus, la cual es reconocida como migrante, lo que hace importante a esta ciénaga para su conservación.



7.2 Conclusiones generales

Las ciénagas evaluadas presentan un estado de calidad ambiental regular, generalizado en toda su extensión, del mismo modo, el análisis de los subíndices demuestra que los sedimentos son la parte del ecosistema con mayores problemas de estado de calidad, registrándose con muy mala calidad.

Es de importancia desarrollar estudios eco-toxicológicos con mayor nivel de detalle, con el fin de identificar y cuantificar contaminantes en los sedimentos y contenido de metales pesados en los organismos acuáticos para la identificación de factores que inciden en la afectaciones y soluciones de la calidad ambiental del ecosistema.

La ciénaga El Rincón se encontró en los sedimentos abundancia de caracoles *H. tuberculata*, siendo estos invasores portadores potenciales de tremátodos, afectando directamente la fauna y la salud humana. Es recomendable realizar estudios de identificación y conteo de larvas de tremátodos, como método complementario para estimar la calidad microbiológica del agua, teniendo en cuenta las condiciones biológicas y ambientales existentes, así como los riesgos asociados con la presencia de estos parásitos. Esta información podría hacer parte del SubÍndice de materia orgánica y Condiciones microbiológicas para la ciénaga El Rincón.

Aunque la calidad sanitaria de las ciénagas asociada a coliformes termotolerantes, mostró buenas condiciones en términos generales, el contenido de *P.aeruginosa*, que se relaciona con contaminación bacteriana no fecal, sugiere condiciones microbiológicas adversas.

Se recomienda que los métodos para análisis fisicoquímicos para variables como HTP, Grasas y Aceites y NH_3 , tengan límites de cuantificación más bajos, teniendo en cuenta referencias de calidad, que están por debajo de las referencias de calidad reportadas para estas variables.



El uso de sensores remotos relacionados con la calidad del agua presentó resultados preliminares que indican la posibilidad de avanzar y correlacionar con más exactitud los valores de reflectancia con los valores de las variables desarrolladas en este estudio a partir los modelos de significación estadística, los cuales demostraron una buena correlación de los valores de reflectancia de la ciénaga de Mallorquín en oxígeno disuelto y el fitoplancton ; para la ciénaga El Rincón, la DBO₅ y el fitoplancton; la ciénaga de Balboa no se encontraron correlaciones significativas de las variables y en términos generales, las tres ciénagas presentan una buena correlación estadística con un grado de significación moderado relacionada con los sólidos suspendidos totales (SST). El fitoplancton fue la variable que presentó el mejor ajuste al igual que el respectivo SubÍndice basado en la curva de calidad para esta variable. Para ajustar este método, se requerirá de mayor número de muestras, que incluyan mayor variabilidad al análisis teniendo en cuenta diferentes períodos climáticos.

Según lo anterior, se recomienda utilizar las imágenes satelitales para convertirlas en una herramienta necesaria para la valoración de la calidad ambiental de los cuerpos de agua costeros y continentales, de la misma manera, puedan convertirlas en un método previo para la verificación e identificación de la localización óptima de las tomas de muestras en la extensión del cuerpo de agua a nivel espacial y en los tiempos requeridas para el estudio.

SERAMBIENTE S.A.S.
Barranquilla, Colombia
01 de junio de 2021

INFORME VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S). LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE INFORME DEBE HACERSE CON AUTORIZACIÓN EXPRESA DE SERAMBIENTE S.A.S. CUALQUIER TIPO DE OBSERVACIÓN REQUERIDA POR EL CLIENTE Y RELACIONADA CON LOS RESULTADOS EMITIDOS, SÓLO SERÁ ACEPTADA DENTRO DE LOS 4 DÍAS SIGUIENTES AL ENVÍO PARCIAL DE ESTE INFORME. SI NO SE RECIBE OBSERVACIÓN EN EL TIEMPO ESTABLECIDO, SE DA POR ACEPTADO EL INFORME Y SE PROCEDERÁ A SU IMPRESIÓN. FINALIZADO EL MONITOREO, LAS MUESTRAS SE CONSERVARÁN 10 DÍAS Y CUMPLIDO ESTE TÉRMINO EL LABORATORIO PROCEDERÁ A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LAS MUESTRAS. EL CLIENTE SE HACE RESPONSABLE POR LA CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS CUANDO ESTOS SEAN ENVIADOS POR CORREO ELECTRÓNICO O FAX.



8 REFERENCIAS

- Alonso, A. 2005. Valoración de la degradación ambiental y efectos ecotoxicológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid), España.
- Álvarez, C. 2016. Determinación analítica de detergentes en las aguas de los pantanos de Villa. Tesis para optar el Título de Licenciada en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 97 p.
- Amado-Alvarez, J, Pérez-Cutillas, P, Alatorre-Cejudo, L. C, Ramírez-Valle, O, Segovia Ortega, E. F. y Alarcón-Cabañero, J. J. 2019. Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. Revista Geográfica de América Central, (62), 33-61.
- American Public Health Association (APHA). 2017. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. 23th Edition. Amer. Pub. Heal. Asoc, Washington. EE.
- APHA-AWWA-WEF (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23th Edition.
- Arcgis. 2020. Recuperado en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Arredondo, J. L. 1993. Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la Acuicultura. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F.
- Avila, A. 2019. Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático. Instituto Nacional de Astrofísica, óptica y electrónica. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/1677/1/AvilaGAP.pdf>
- Barahona-Castillo, Y.M, Luna-Fontalvo, J.A. y Romero-Borja, I.M. 2017. Calidad bacteriológica del agua de los ríos Manaure y Casacará, Departamento del Cesar, Colombia.
- Barrera, E. G. y Wong, Ch.I. 2005. Contaminación por microorganismos en zonas costeras, p. 475-486. En: Botello, A. V.; Rendón-von Osten, J.; Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición.



Univ. Autonomabarreraxxxx de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

- Berdugo, M.A.G. y Reales, L.G.J. 2016. Análisis multiespectral de imágenes satelitales para evaluar variaciones espacio - temporales en la calidad del agua del embalse El Guájaro, Atlántico. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de la costa (CUC). Barranquilla, Colombia.72 p.
- Brivio P.A, Giardino, C. & Zilioli, E. 2001. Validation of satellite data for quality assurance in lake monitoring applications. Sci Total Environ, 268, 3–13. Recuperado de [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00693-8](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00693-8)
- Broecker, W.S. 1974. Chemical oceanography. Hartcutt Brace J. Inc. 214 pp.
- Calera, B. A. 2003. Principios Físicos En la Percepción Remota. En I. d. Albacete, Teledetección y Desarrollo Rural. Albacete, España: Universidad Castilla La Mancha.
- Chuvieco, E. 2010. Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ariel.
- Cirujano, S. 1995. Flora y vegetacion de las lagunas y humedales de la provincia de Cuenca. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid. 224 pp.
- CONAGUA- SEMARNAT. 2014. Estadísticas del Agua en México. Edición 2013. México.
- CONAMA, 2004. “Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”. Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 4-18 p.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA. 2017. Monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado de los cuerpos de agua, las fuentes hídricas del departamento Del Atlántico y la caracterización de los humedales Sabanagrande, Santo Tomas y Palmar de Varela (año 2016) en cumplimiento de lo establecido en el Plan de Acción Institucional 2016 – 2019. Informe final. Barranquilla.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2015. Resolución 279 de mayo 19 de 2015. Por medio de la cual se establecen unas directrices generales para la conservación de la ciénaga



El Rincón o el Lago del Cisne, departamento del Atlántico.FIODMO. (s.f.). Obtenido de <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

- De Vicente, A, Codina, J.C, Borrego, J. y Romero, P. 1991. Relationship between Pseudomonas aeruginosa and bacteria indicators in polluted natural waters. Wat. Sc. Tech. 24: 121-124.
- EEA. 2000. Nutrients in European ecosystems. Environmental Assessment Report No 4. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA. 2005. Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment. Environmental Assessment Report No 7. European Environment Agency, Copenhagen.
- Environment. 2001. Priority substances assessment report: ammonia in the aquatic environment. Minister of Public Works and Government Services, Ottawa.
- EPA. 1999. Update of ambient water quality criteria for ammonia. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2006. National recommended water quality criteria. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Feyisa, G.L, Meilby, H, Fensholt, R. & Proud, S.R. 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 140, 23–35. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- Flores, V.F.J.; Agraz, H.C. y Benitez, P.D. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, retos y prioridades para su conservación. En: Verdugo, F. J. F, Hernández, C. A, & Pardo, D. B. Ecosistemas Acuáticos costeros: Importancia, reto y prioridades para su conservación. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. p147-166.
- Garcés-Ordóñez, O, Vivas-Aguas, L.J, Martínez, M, Córdoba, T, Contreras, A, Obando, P, Moreno, Y, Muñoz, J, Nieto, Y, Ríos, M, Sánchez, J. y Sánchez, D. 2016. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Inveemar No. 4 (2016). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.



- Gómez Díaz, J.L. y Dalence Martinic, J.S. 2014. Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia). UD y la Geomática, (9).
- HACH. (s.f.). Obtenido de
file:///C:/Users/57301/Desktop/14795464_DOC043.61.30196.web.pdf
- Hakanson, L, Mikrenska, M, Petrov, K. & Foster I. 2005. Suspend particulate matter (SPM) in rivers: empirical data and models. *Ecological Modelling*, 183, 251-267. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.030>
- Hernandez, J, y Hernández, M. 2013. Percepción Remota Como Herramienta Para El Monitoreo De La Calidad Del Agua. Facultad de Ingeniería, Centro Interaamericano de Recursos del Agua.
- <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cesar/becerril-53368/>. (2020). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cesar/becerril-53368/>: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cesar/becerril-53368/>
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2001. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2000. Santa Marta, Colombia. P 70-83.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Programa Calidad Ambiental Marina – CAM. Santa Marta, Colombia. 148 p.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2017. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Garcés, O. y L. Espinosa (Eds.). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2020. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 268 p.



- Jiménez, D.L. 2006. Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Kemmer, F. y McCallion, J. 1999. Manual de Agua (su naturaleza, tratamiento y aplicaciones), Nalco Chemical Company, Editorial McGraw-Hill, 55-70 pp. México.
- Kiefer, I, Odermatt, D, Anneville, O, Wüest, A. & Bouffard, D. 2015. Application of remote sensing for the optimization of in-situ sampling for monitoring of phytoplankton abundance in a large lake. Science of the Total Environment, 527, 493-506.
- Kim, Y. H, Son, S, Kim, H. C, Kim, B, Park, Y. G, Nam, J. & Ryu, J. 2020. Application of satellite remote sensing in monitoring dissolved oxygen variabilities: A case study for coastal waters in Korea. Environment international, 134, 105301.
- Lechuga M.M. 2005. Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Barcelona. Barcelona, España, 461 pp.
- López-Ortega, M, Pulido, G, Serrano, A, Gaytán, J, Monks, W. y López, M. 2012. Evaluación de las variables físicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Revista Científica UDO Agrícola 12 (3): 713-719.
- Marín, G.L. 2007. Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor. Memoria presentada para optar al grado de doctor en biología. Departamento de ecología e hidrología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 212 p.
- Millán, A. M. 2005. Cambios históricos en la composición y distribución de la malacofauna bentónica de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Caribe Colombiano). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1379>
- Aiman M, E, & Mohsen M, Y. (2014). Statistical Estimation Of Rosetta Branch Water Quality Using Multi-Spectral Data. Water Science 28, 18-30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492914000216>
- Organización mundial de la salud - OMS. 2017. Esquistosomiasis. Centro de prensa. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/es/>
- Ortiz, P.L.J. y Morgado, G.W.B. 2009. Evaluación de la calidad ambiental de la ciénaga de Balboa, Municipio de Puerto Colombia, Caribe Colombiano. Trabajo de grado para optar al título de



- microbiólogo. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Libre. Barranquilla, Colombia. 130 p.
- Parra, J.P y Espinosa, L.F. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn), en perfiles de sedimento asociados a *Rizophora mangle*, en el río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 37(1) 95:110.
 - Perdomo Vanegas, A. 2015. Predicción de parámetros físico químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos: caso estudio Embalse del Neusa.
 - Qgis. 2020. Recuperado en: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>
 - Quintero, L, Agudelo, E, Quintana, Y, Cardona, S. y Osorio, A. 2010. Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Gestion y Ambiente 13 (3), 51-64.
 - Ramírez, A, Restrepo, R. y Cardeñoza, A.M. 1999. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. Ciencia Tecnología y Futuro 1(5): 89-99.
 - Raraz, E. 2015. Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 83.p.
 - Ríos-Tobón, S, Agudelo-Cadavid, R.M. y Gutiérrez-Builes, L.A. 2017. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional Salud Pública.
 - Roldán, G, Y Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia.
 - Romero J.A. 1996. Acuíquímica. Presencia. Santafé de Bogotá. 56 pp.
 - Sawyer, C.N. & McCarty, P.L. 1978. Chemistry for Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company.
 - Sebastián-Frasquet, M. T, Aguilar-Maldonado, J. A, Santamaría-Del-Ángel, E, & Estornell, J. 2019. Sentinel 2 analysis of turbidity patterns in a coastal lagoon. Remote Sensing, 11(24), 2926.



- Sierra-Ramírez, C.A. 2011. Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. 1ª Ed. Universidad de Medellín. Colombia. p 457.
- Sri-Aroon, P, Butraporn, P, Limsomboon, J, Kerdpuech, Y, Kaewpoolsri, M. & Kiatsiri, S. 2005. Freshwater mollusks of medical importance in Kalasin Province, northeast Thailand. Southeast Asian journal of tropical medicine and public health, 36(3), 653. Disponible en: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/TMPH/10601424.pdf>
- Tróccoli, L.G, Herrera-Silveira, J.A. & Comin, F.A. 2004. Structural variations of phytoplankton in coastal seas of Yucatan, México. Hydrobiologia 519 (1-3): 85-102.
- Vaconcelos, U, Gomes, M. y Torres, G. 2010. *Pseudomonas aeruginosa* associated with negative interactions on coliform bacteria growth. Canadian Journal of pure & applied Sciences, 4: 1133-1139.
- Vergara, A.D. y Velásquez, L.E. 2009. Larvas de DIGENEA en *Melanoides tuberculata* (GASTROPODA: THIARIDAE), EN Medellín, Colombia. Acta Biológica Colombiana 14(1): 135-142. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n1/v14n1a08.pdf>
- Vivas-Aguas, L.J, Tosic, M, Narváez, S, Cadavid, B, Bautista, P, Betancourt, J, Parra, J, Carvajalino, M. y Espinosa, L. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.
- Yunpeng, W. & Guoying, S. 2004. Water quality change in reservoirs of Shenzhen China detection. Science of the Total Environment 328, 195-206. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969704001007>



9 ANEXOS

A continuación, en la **Tabla 82** se relacionan los anexos del presente informe técnico.

Tabla 82. Anexos del informe técnico

Anexo	Laboratorio	Archivos	Páginas
Anexo 1. Reporte de laboratorio	SERAMBIENTE S.A.S	Reporte SERAMBIENTE S.A.S	3
	SGS COLOMBIA S.A.S	Reporte SGS COLOMBIA S.A.S	20
Anexo2. Formatos de campo	SERAMBIENTE S.A.S	Planilla de campo	4
		Plan de monitoreo	4
		Cadena de custodia	6
		Planillas de campo para Hidrobiológicos	32
		Plan de monitoreo para Hidrobiológicos	2
		Cadena de custodia HB	3
Anexo 3. Resolución de Acreditación del IDEAM	SERAMBIENTE S.A.S.	Resolución 1013 de 2019	11
	SGS COLOMBIA S.A.S	Prorroga de vigencia	3
		Resolución 0180 de 2020	11
Anexo 4. Graficas de curvas de calidad	SERAMBIENTE S.A.S	Curvas de calidad y ecuaciones de los subíndices del ICacc	12
Anexo 5. Resultados de los análisis de laboratorio		Resultados de los análisis de laboratorio	6
Anexo 6. Subíndice de calidad		Subíndices de calidad	5
Anexo 7. Reflectancias de análisis para las variables fisicoquímicas en cada cuerpo de agua		Reflectancias de análisis para las variables	4

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2020.

(FIN DEL INFORME)

