HOLON
INVESTIGACION EN RECURSOS NATURALES

INFORME FINAL

ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS INFORMES DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Y DE LOS PLANES DE VIGILANCIA AMBIENTAL DE LOS ESTABLECIMIENTOS QUE DESCARGAN RESIDUOS LÍQUIDOS A LA BAHÍA DE QUINTERO, REGIÓN DE VALPARAÍSO

Resolución Exenta Nº 0357/2019

Ministerio de Medio Ambiente

Concepción, diciembre de 2019

EQUIPO DE TRABAJO

Aldo Hernández R.	Jefe de Proyecto	*Coordinación general* *Análisis estadísticos, Cartografías en SIG,* *Revisión y elaboración de Informes*
Marco Salamanca O.	Investigador	*Análisis de técnicas de laboratorio* *Propuesta de criterios para el monitoreo en BQ* *Revisión y elaboración de informes*
Cristian Chandía C.	Investigador	*Revisión protocolos de muestreo y técnicas laboratorio* *Revisión bibliográfica* *Elaboración de informes*
Freddy Vargas P.	Investigador	*Revisión de informes PSBQ* *Revisión bibliográfica* *Propuesta de criterios para el monitoreo en BQ* *Revisión y elaboración de informes*
Carlos Leal G.	Investigador	*Recopilación y sistematización de bases de datos* *Análisis estadísticos* *Análisis en SIG* *Elaboración de Informes*
Nicolás Muñoz A.	Investigador	*Sistematización de bases de datos* *Análisis estadísticos*
Daniela Henríquez D.	Investigadora	*Análisis de información oceanográfica* *Revisión bibliográfica* *Elaboración de informes*

TABLA DE CONTENIDO

1 RESUMEN EJECUTIVO 36

2 ANTECEDENTES GENERALES 43

3 OBJETIVOS 45

3.1 OBJETIVO GENERAL 45

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 45

4 METODOLOGÍA 46

4.1 OE 1. ANÁLISIS CRÍTICO Y DE TENDENCIA PARA PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y OTROS, SI CORRESPONDE, SEÑALADOS EN LOS INFORMES LLEVADOS A CABO EN RAZÓN DE LOS PLANES DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE LOS ESTABLECIMIENTOS QUE DESCARGAN RESIDUOS LÍQUIDOS A ALA BAHÍA DE QUINTERO (EN ADELANTE, INFORMES PSBQ). 46

4.1.1 GEORREFERENCIACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS QUE OPERAN EN BQ Y USOS RELEVANTES 46

4.1.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DE PSBQ 47

4.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 47

4.1.4 ANÁLISIS INTEGRADO DE PSBQ 49

4.1.5 ANÁLISIS DE EFLUENTES 49

4.2 OE2. COMPARACIÓN CRÍTICA DE LOS DATOS REPORTADOS EN LOS INFORMES PSBQ CON DATOS REPORTADOS POR OTROS ESTUDIOS. 51

4.2.1 RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE DATOS PROVENIENTES DEL POAL 51

4.2.2 RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE DATOS PROVENIENTES DEL CEA 51

4.2.3 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTUDIOS Y PUBLICACIONES 52

4.3 OE3. ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PLANES DE SEGUIMIENTO Y PROPUESTA DE NUEVOS CRITERIOS Y VARIABLES A INCORPORAR EN DICHOS PLANES. 53

4.3.1 IDONEIDAD DE LOS MÉTODOS Y TÉCNICAS DE MUESTREO, PRESERVACIÓN Y ANÁLISIS DE LABORATORIO 53

4.3.2 IDONEIDAD DE LAS FRECUENCIAS DE MONITOREO 54

4.3.3 IDONEIDAD DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO 54

4.4 REUNIONES Y TALLERES 56

4.4.1 1º REUNIÓN CONSULTORES-MMA 56

4.4.2 2º REUNIÓN CONSULTORES-MMA 56

4.4.3 REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL POR CONTRAPARTE TÉCNICA 56

4.4.4 TALLER DE CIERRE 56

5 RESULTADOS 57

5.1 GENERALES 57

5.1.1 PRIMERA REUNIÓN DE COORDINACIÓN 57

5.1.2 SEGUNDA REUNIÓN DE COORDINACIÓN 57

5.2 OE 1. ANÁLISIS CRÍTICO Y DE TENDENCIA PARA PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y OTROS, SI CORRESPONDE, SEÑALADOS EN LOS INFORMES LLEVADOS A CABO EN RAZÓN DE LOS PLANES DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE LOS ESTABLECIMIENTOS QUE DESCARGAN RESIDUOS LÍQUIDOS A LA BAHÍA DE QUINTERO (EN ADELANTE, INFORMES PSBQ). 58

5.2.1 RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN 58

5.2.2 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN TERRITORIAL 61

5.2.3 AES GENER S.A UNIDAD 3. PROGRAMA SEMESTRAL 63

5.2.4 AES GENER S.A UNIDAD 3. PROGRAMA TRIMESTRAL 96

5.2.5 AES GENER S.A UNIDAD 4 108

5.2.6 AES GENER S.A UNIDAD 1 Y 2 141

5.2.7 PUERTO VENTANAS S.A. 169

5.2.8 CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS 212

5.2.9 PLANTA GASMAR S.A. QUINTERO 230

5.2.10 TERMINAL MARÍTIMO OXIQUIM S.A. 249

5.2.11 ENAP REFINERÍAS S.A. 281

5.2.12 TERMINAL MARÍTIMO GNL QUINTERO 311

5.2.13 COMPAÑÍA DE PETRÓLEOS DE CHILE - COPEC S.A. 344

5.2.14 PESQUERA QUINTERO 380

5.2.15 PLANTA DE TRATAMIENTO Y EMISARIO SUBMARINO ESVAL QUINTERO 411

5.3 ANÁLISIS DE EFLUENTES 456

5.3.1 PARÁMETROS MEDIDOS POR UF 458

5.3.2 EXCEDENCIAS A LOS LÍMITES EXIGIDOS EN DS 90 477

5.4 ANÁLISIS INTEGRADO DE PSBQ 479

5.5 OE 2. COMPARACIÓN CRÍTICA DE LOS DATOS REPORTADOS EN LOS INFORMES PSBQ CON DATOS REPORTADOS POR OTROS ESTUDIOS. 503

5.5.1 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS DEL POAL BAHÍA QUINTERO 503

5.5.2 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS DEL CEA 549
5.5.3 SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA 582
5.6 OE3. ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PLANES DE SEGUIMIENTO Y PROPUESTA DE NUEVOS CRITERIOS Y VARIABLES A INCORPORAR EN DICHOS PLANES. 583
5.6.1 ANÁLISIS GENERAL DE LAS TÉCNICAS DE LABORATORIO INDICADAS EN LOS PSBQ 583
5.6.2 ANÁLISIS ESPECIFICO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS IDENTIFICADOS. 590
5.6.3 EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD DE LOS PARÁMETROS DE LA VIGILANCIA AMBIENTAL 605
5.6.4 ANÁLISIS DE IDONEIDAD DE LAS FRECUENCIAS DE MUESTREO 611
5.6.5 ANÁLISIS DE IDONEIDAD DEL POSICIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO 618
6 DISCUSIÓN 623
7 CONCLUSIONES 632
8 REFERENCIAS 636
9 ANEXOS 641

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de la información disponible de las unidades fiscalizables presentes en Bahía Quintero. 58

Tabla 2. Transversalidad de las matrices analizadas para cada Programa de Seguimiento Ambiental en Bahía Quintero. 59

Tabla 3. Cuerpos normativos que rigen los diferentes programas de vigilancia ambiental en Bahía Quintero. 60

Tabla 4. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3. X* corresponde a estaciones que forman parte del Programa Trimestral de AES GENER UNIDAD 3. 67

Tabla 5. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3. 68

Tabla 6. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados. 69

Tabla 7. Resumen de estadística descriptiva de la pluma térmica. 72

Tabla 8. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 74

Tabla 9. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 79

Tabla 10. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 81

Tabla 11. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH, en agua entre 2013 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 82

Tabla 12. Resultados de MLG para el parámetro temperatura para la pluma térmica entre 2014 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. . 84

Tabla 13. Resultados de MLG para los parámetros transparencia, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno e hidrocarburos aromáticos totales, en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 86

Tabla 14. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados..... 96
Tabla 15. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados..... 100
Tabla 16. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto..... 103
Tabla 17. Resultados de MLG para los parámetros transparencia y oxígeno disuelto, en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 105
Tabla 18. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4. 110
Tabla 19. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4. 111
Tabla 20. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados..... 112
Tabla 21. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados..... 117
Tabla 22. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados..... 119
Tabla 23. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados..... 123
Tabla 24. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 125
Tabla 25. Resultados de MLG para los parámetros transparencia e hidrocarburos totales, en agua de mar, entre 2015 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 128
Tabla 26. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2. 143
Tabla 27. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2. 144

Tabla 28. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados..... 144
Tabla 29. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados..... 146
Tabla 30. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados..... 157
Tabla 31. Resultados de MLG para el parámetro temperatura, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 161
Tabla 32. Resultados de MLG para los parámetros arsénico total, cloro libre residual, cobre total, hidrocarburos aromáticos totales, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, fluoruro, y transparencia en agua de mar, entre 1994 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 164
Tabla 33. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo PUERTO VENTANAS S.A. 172
Tabla 34. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo PUERTO VENTANAS S. A 173
Tabla 35. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados..... 175
Tabla 36. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados..... 193
Tabla 37. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento intermareal analizados... 199
Tabla 38. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados..... 199
Tabla 39. Resultados de MLG para los parámetros aceites y grasas (AyG), compuestos fenólicos (IF), cobre (Cu), cobre disuelto (Cudis), cobre particulado (Cupar), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), níquel (Ni) y níquel disuelto (Nidis), en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto..... 201
Tabla 40. Resultados de MLG para los parámetros níquel particulado (Nipar), plomo (Pb), plomo disuelto (Pbdis), plomo particulado (Pbpar), sólidos suspendidos (Ssus), vanadio (V), vanadio disuelto (Vdis) y vanadio particulado (Vpar), en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en

ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 202
Tabla 41. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ CODELCO Chile División Ventanas. 214
Tabla 42. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ CODELCO Chile División Ventanas. 215
Tabla 43. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 216
Tabla 44. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados. 218
Tabla 45. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 220
Tabla 46. Resultados de MLG para el parámetro cobre (Cu), en sedimentos submareales, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 222
Tabla 47. Resultados de MLG para el parámetro cobre (Cu) en *E. analoga*, entre 1999 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 224
Tabla 48. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Planta GASMAR S.A. Quintero.. 232
Tabla 49. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Planta GASMAR S.A. Quintero. 233
Tabla 50. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados. 234
Tabla 51. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 237
Tabla 52. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizado. 240
Tabla 53. Estadística descriptiva de los parámetros de macrofauna submareal analizados. 241
Tabla 54. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto para la campaña de febrero de 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 242
Tabla 55. Resultados de MLG para el parámetro sólidos disueltos para la campaña de febrero de 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 244

Tabla 56. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo OXIQUIM S.A. 251
Tabla 57. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo OXIQUIM S.A 252
Tabla 58. Resumen de estadística descriptiva el parámetro hidrográfico analizado. 253
Tabla 59. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 257
Tabla 60. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados..... 260
Tabla 61. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 264
Tabla 62. Resultados de MLG para el parámetro temperatura, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos en agua entre 1995 y 2019. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 268
Tabla 63. Resultados de MLG para los parámetros compuestos fenólicos (IF), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), transparencia (Trans), profundidad (Prof), y capa fótica (Cfótica), en agua de mar, entre 1995 y 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 270
Tabla 64. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ ENAP Refinerías S.A. 283
Tabla 65. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ ENAP Refinerías S.A. 284
Tabla 66. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas. 285
Tabla 67. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 292
Tabla 68. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 297
Tabla 69. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 299
Tabla 70. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, en agua entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 301
Tabla 71. Resultados de MLG para los parámetros coliformes fecales (ColFec), ácidos y grasas (AyG), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) e hidrocarburos totales (HCT), en agua de mar, entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza:

generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 303
Tabla 72. Resultados de MLG para los parámetros hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos totales y tamaño promedio de grano, en sedimento submareal, entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 305
Tabla 73. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo Terminal Marítimo GNL Quintero. 313
Tabla 74. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo GNL Quintero. 314
Tabla 75. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas. 315
Tabla 76. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 318
Tabla 77. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados..... 325
Tabla 78. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 328
Tabla 79. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad, en agua entre 2013 y 2019. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 329
Tabla 80. Resultados de MLG para los parámetros transparencia (Trans), zona fótica (Zfótica) sólidos sedimentables (Ssed), sólidos suspendidos (Ssus), cloro libre residual (CLB), hidrocarburos parafínicos (Hpar) e hidrocarburos totales (HCT), en agua de mar, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 332
Tabla 81. Resultados de MLG para los parámetros materia orgánica (MOT) e hidrocarburos totales (HCT), en sedimentos, entre 2013 y 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 336
Tabla 82. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ COPEC S.A. 346

Tabla 83. Parámetros analizados en cada una de las matrices de COPEC S.A. 347
Tabla 84. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 348
Tabla 85. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento intermareal analizados... 356
Tabla 86. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados..... 357
Tabla 87. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 371
Tabla 88. Resultados de MLG para los parámetros aceites y grasas (AyG), hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), pH, plomo (Pb), sólidos suspendidos (SolSus) y vanadio (V), en agua de mar, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 372
Tabla 89. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Pesquera Quintero. 382
Tabla 90. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Pesquera Quintero. 383
Tabla 91. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas. 384
Tabla 92. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 389
Tabla 93. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 398
Tabla 94. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 401
Tabla 95. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH, en agua para los años 2015 y 2017. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 402
Tabla 96. Resultados de MLG para los parámetros sólidos suspendidos (SolSus), sólidos sedimentables (SolSed), ácidos y grasas (AyG), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), detergentes SAAM (SAAM), coliformes totales (ColTot) y coliformes fecales (ColFec), en agua de mar, entre 2015 y 2017. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 405
Tabla 97. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero. 414
Tabla 98. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero. 415

Tabla 99. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados. 416
Tabla 100. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados. 420
Tabla 101. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados... 432
Tabla 102. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados. 436
Tabla 103. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, salinidad, y densidad, en agua entre 2012 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 438
Tabla 104. Resultados de MLG para los parámetros medidos en agua submareal, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 441
Tabla 105. Resultados de MLG para los parámetros coliformes fecales y aceites y grasas, en agua intermareal, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 443
Tabla 106. Resultados de MLG para coliformes fecales en AMERB, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 444
Tabla 107. Numero de determinaciones y numero de parámetros medidos por Unidad Fiscalizable, entre los años 1993 y 2019. 459
Tabla 108. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 3. 469
Tabla 109. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 4. 470
Tabla 110. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 1 y 2. 471
Tabla 111. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF CODELCO. 472

Tabla 112. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF GASMAR. 473
Tabla 113. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF ENAP..... 474
Tabla 114. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF GNL QUINTERO. 475
Tabla 115. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF TM COPEC..... 475
Tabla 116. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF PESQUERA QUINTERO. 476
Tabla 117. Porcentajes de excedencias al DS 90, por parámetro y UF entre 1993 y 2019. 478
Tabla 118. Tipos de monitoreo efectuados por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera monitoreo, Transv: porcentaje de UF que incorpora el subprograma..... 479
Tabla 119. Frecuencia de campañas efectuadas por UF y año en Bahía Quintero. 480
Tabla 120. Parámetros medidos en el subprograma hidrografía por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro. 481
Tabla 121. Parámetros medidos en columna de agua por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro. 482
Tabla 122. Parámetros medidos en sedimentos por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro. 483
Tabla 123. Resultado del GLM integrado para temperatura y oxígeno disuelto, subprograma hidrografía. 486
Tabla 124. Resultado del GLM integrado para sólidos suspendidos, subprograma calidad de agua..... 490
Tabla 125. Resultado del GLM integrado para tamaño medio de grano, subprograma calidad de sedimentos. 493
Tabla 126. Resultados de GLM para los índices comunitario riqueza y diversidad de especies de la macrofauna submareal. Fte. Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto. 496
Tabla 127. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en agua submareal..... 508
Tabla 128. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en sedimento submareal..... 508

Tabla 129. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en sedimento intermareal..... 509
Tabla 130. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en biota. 509
Tabla 131. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados, periodo 1993-1996. 510
Tabla 132. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 1997-2000. 512
Tabla 133. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2001-2006. 514
Tabla 134. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2007-2011. 516
Tabla 135. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2013-2017. 520
Tabla 136. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2018. 522
Tabla 137. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 1997-2011. 523
Tabla 138. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2013-2017. 525
Tabla 139. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2018. 529
Tabla 140. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2018. 531
Tabla 141. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados, periodo 1994-2011. 533
Tabla 142. Estadística descriptiva de los parámetros de de calidad de organismos analizados, periodo 2013-2017. 535
Tabla 143. Parámetros analizados en cada una de las matrices CEA, 2014..... 552
Tabla 144. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados por el CEA. 555
Tabla 145. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimentos analizados por el CEA. 557
Tabla 146. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados por el CEA.. 559
Tabla 147. Estadística descriptiva de los parámetros de comunidades analizados en el intermareal y submareal. 561

Tabla 148. Revisión general de los métodos utilizados en columna de agua de mar en los programas de seguimiento ambiental de Bahía Quintero. 584
Tabla 149. Revisión general de los métodos utilizados en sedimentos marinos en los programas de seguimiento ambiental de Bahía Quinteros. 585
Tabla 150. Resumen de los principales parámetros analizados en los PVAs de Bahía Quintero para matriz marina (agua y sedimentos). Se indica límite de detección recomendado (LD), límite de cuantificación recomendado (LC), unidad de medida y referencias a los métodos validados. 588
Tabla 151. Límites de Detección estimados de acuerdo a los métodos descritos en el SM, Edición No. 22 595
Tabla 152. Límites de detección informados por los laboratorios que han realizados análisis en el área de estudio..... 597
Tabla 153. Límites de detección para hidrocarburos informados por los laboratorios que han realizados análisis en el área de estudio..... 602
Tabla 154. Clasificación de UF de acuerdo al tipo de actividad industrial. 605
Tabla 155. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental agua de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero. 608
Tabla 156. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental sedimentos de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero. 609
Tabla 157. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental organismos de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero..... 610

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. AMERB decretadas en Bahía Quintero. 62
Figura 2. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3. 64
Figura 3. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3 (Zoom). 65
Figura 4. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 70
Figura 5. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 70
Figura 6. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 71
Figura 7. Perfiles de pH para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.71
Figura 8. Perfiles de temperatura para las estaciones de la pluma térmica UF Ventanas 3, entre los años 2014 y 2018. 73
Figura 9. Niveles de transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2013 y 2018. 75
Figura 10. Niveles de pH en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. 75
Figura 11. Niveles de oxígeno disuelto en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican cambios en los límites de detección. 76
Figura 12. Niveles de saturación de oxígeno en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. 77
Figura 13. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican cambios en los límites de detección. 78
Figura 14. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2013 y 2018. 80
Figura 15. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 83
Figura 16. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 85
Figura 17. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 88
Figura 18. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales. 89

Figura 19. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 90
Figura 20. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton. 92
Figura 21. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton. 93
Figura 22. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 97
Figura 23. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 98
Figura 24. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018. 99
Figura 25. Transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2014 y 2018. 101
Figura 26. Oxígeno disuelto en columna de agua por estación, y estrato, entre los años 2014 y 2018. Líneas punteadas indican los límites de detección. 101
Figura 27. Saturación de oxígeno en columna de agua por estación, y estrato, entre los años 2014 y 2018. 102
Figura 28. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 104
Figura 29. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua. 106
Figura 30. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4. ... 109
Figura 31. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018. 113
Figura 32. Perfiles de salinidad para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018. 114
Figura 33. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018. 115
Figura 34. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018. 116
Figura 35. Transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2013 y 2018. 118

Figura 36. Niveles de hidrocarburos totales en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 118
Figura 37. Fracción granulométrica por estación intermareal entre los 2013 y 2018..... 120
Figura 38. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2013 y 2018. 121
Figura 39. Niveles de hidrocarburos totales en sedimentos submareales por estación, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 122
Figura 40. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2017 y 2018. 124
Figura 41. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos..... 127
Figura 42. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 129
Figura 43. Análisis de componentes principales para sedimentos intermareales. 130
Figura 44. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales. 131
Figura 45. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal..... 132
Figura 46. Resultado del análisis de Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal. 133
Figura 47. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal..... 134
Figura 48. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal..... 135
Figura 49. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton. 137
Figura 50. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton. 138
Figura 51. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2. 142
Figura 52. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 1 y 2, entre los años 2015 y 2018. 145
Figura 53. Arsénico total de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 149

Figura 54. Cloro libre residual de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 150
Figura 55. Cobre total de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 151
Figura 56. Hidrocarburos aromáticos totales de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 151
Figura 57. Oxígeno disuelto de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 152
Figura 58. pH de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. 153
Figura 59. Sólidos suspendidos de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 154
Figura 60. Fluoruros de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 155
Figura 61. Transparencia de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. 156
Figura 62. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2009 y 2018. 158
Figura 63. Niveles de arsénico total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018. 159
Figura 64. Niveles de cobre total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018. 159
Figura 65. Niveles de carbono orgánico total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018. 160
Figura 66. Niveles de sulfuros (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018. 160
Figura 67. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 162
Figura 68. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua. 166
Figura 69. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales. 167
Figura 70. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo Ventanas S.A. 170
Figura 71. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo Ventanas S.A. (zoom). 171
Figura 72. Niveles de aceites y grasas (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 177

Figura 73. Niveles de compuestos fenólicos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 178
Figura 74. Niveles de cobre (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 179
Figura 75. Niveles de cobre disuelto (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 180
Figura 76. Niveles de cobre particulado (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 181
Figura 77. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 182
Figura 78. Niveles de níquel (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 183
Figura 79. Niveles de níquel disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 184
Figura 80. Niveles de níquel particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 185
Figura 81. Niveles de plomo (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 186
Figura 82. Niveles de plomo disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 187
Figura 83. Niveles de plomo particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 188
Figura 84. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 189
Figura 85. Niveles de vanadio (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 190
Figura 86. Niveles de vanadio disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 191
Figura 87. Niveles de vanadio particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 192
Figura 88. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2013 y 2018. 194

Figura 89. Niveles de carbono orgánico total (%) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018. 196
Figura 90. Niveles de cobre (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018. 196
Figura 91. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018. 197
Figura 92. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018. 197
Figura 93. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018. 198
Figura 94. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018..... 198
Figura 95. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua (aceites y grasas - níquel disuelto). 204
Figura 96. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua (níquel particulado – vanadio particulado)..... 205
Figura 97. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales..... 207
Figura 98. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por campaña de muestreo para la comunidad bentónica intermareal..... 209
Figura 99. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por campaña de muestreo para la comunidad bentónica intermareal..... 210
Figura 100. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF CODELCO Chile División Ventanas. 213
Figura 101. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2012 y 2018. 217
Figura 102. Niveles de cobre (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 218
Figura 103. Niveles de cobre (mg/kg) presentes en *Emerita analoga,* por estación, entre los años 2005 y 2018. 219
Figura 104. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2012 y 2018. 221
Figura 105. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de sedimentos. 223
Figura 106. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Organismos..... 225

Figura 107. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad (H`), por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal. 226
Figura 108. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 227
Figura 109. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para los años 2012 a 2018, por taxa identificado en el intermareal. 228
Figura 110. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta GASMAR S.A. Quintero. 231
Figura 111. Niveles de temperatura para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 235
Figura 112. Niveles de pH para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. 236
Figura 113. Oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. 237
Figura 114. Sólidos disueltos para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 238
Figura 115. Sólidos suspendidos para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 239
Figura 116. Hidrocarburos aromáticos totales para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 239
Figura 117. Fracción granulométrica por estación submareal campaña febrero de 2019. 241
Figura 118. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Hidrografía. 243
Figura 119. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua. 245
Figura 120. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales. 246
Figura 121. Riqueza y Diversidad para la macrofauna submareal por estación. 247
Figura 122. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo OXIQUIM S.A. 250
Figura 123. Niveles de temperatura, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019. 253
Figura 124. Niveles de pH, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019. 254

Figura 125. Niveles de oxígeno disuelto, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019. 255
Figura 126. Niveles de sólidos disueltos, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019. 256
Figura 127. Niveles de compuestos fenólicos (mg/L), entre los años 1999 y 2019. 258
Figura 128. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/L), entre los años 1999 y 2019. 258
Figura 129. Niveles de transparencia (m), entre los años 2013 y 2019. 259
Figura 130. Niveles de profundidad (m), entre los años 2013 y 2019. 259
Figura 131. Niveles de capa fótica (m), entre los años 2013 y 2019. 260
Figura 132. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2013 y 2019. 262
Figura 133. Niveles de materia orgánica total (%) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. 263
Figura 134. Niveles de sulfuros (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 264
Figura 135. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2013 y 2019. 266
Figura 136. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 269
Figura 137. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua 272
Figura 138. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales. 274
Figura 139. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación y transecta de muestreo para la comunidad bentónica intermareal. 275
Figura 140. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal. 277
Figura 141. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 278
Figura 142. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF ENAP Refinerías S.A. 282
Figura 143. Niveles de temperatura (ºC) entre los años 2010 y 2018. 286
Figura 144. Niveles de pH entre los años 2010 y 2018. 287
Figura 145. Niveles de salinidad (PSU) entre los años 2010 y 2018. 288
Figura 146. Niveles de oxígeno disuelto (mg/L) entre los años 2010 y 2018. 289
Figura 147. Niveles de saturación de oxígeno disuelto (%) entre los años 2010 y 2018. 290

Figura 148. Niveles de transparencia (m) entre los años 2010 y 2018. 291
Figura 149. Coliformes fecales (NMP/100 ml), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 293
Figura 150. Aceites y grasas (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección 294
Figura 151. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 295
Figura 152. Hidrocarburos totales (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 296
Figura 153. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018. 298
Figura 154. Niveles de hidrocarburos totales (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018. 298
Figura 155. Niveles de tamaño promedio de grano (mm) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018. 299
Figura 156. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Variables hidrográficas. 302
Figura 157. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua 304
Figura 158. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de sedimentos submareales. 306
Figura 159. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales. 307
Figura 160. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 309
Figura 161. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo GNL Quintero. 312
Figura 162. Niveles de temperatura (ºC), por estación, entre los años 2015 y 2019. 316
Figura 163. Niveles de pH, por estación, entre los años 2015 y 2019. 316
Figura 164. Niveles de oxígeno disuelto (mg/L), por estación, entre los años 2015 y 2019. 317
Figura 165. Niveles de salinidad (PSU), por estación, entre los años 2015 y 2019. 317
Figura 166. Niveles de transparencia (m), por estación, entre los años 2013 y 2019. 319
Figura 167 Niveles de la capa fótica (m), por estación, entre los años 2013 y 2019. 320

Figura 168. Niveles de sólidos sedimentables (ml/L/h), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 320
Figura 169. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 321
Figura 170. Niveles de cloro libre residual (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. 322
Figura 171. Niveles de hidrocarburos parafínicos (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección. 323
Figura 172. Niveles de hidrocarburos totales (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. 324
Líneas punteadas indican límite de detección..... 324
Figura 173. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2014 y 2019. 326
Figura 174. Niveles de materia orgánica total (%) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. 327
Figura 175. Niveles de hidrocarburos totales (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección..... 327
Figura 176. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 330
Figura 177. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 334
Figura 178. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 335
Figura 180. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales. 337
Figura 181. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 339
Figura 182. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton. 340
Figura 183. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton. 341
Figura 184. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF COPEC S.A. 345
Figura 185. Niveles de aceites y grasas (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 349
Figura 186. Niveles de benceno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. 350

Figura 187. Niveles de etilbenceno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 350
Figura 188. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 351
Figura 189. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 351
Figura 190. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 352
Figura 191. Niveles de níquel (μg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 352
Figura 192. Niveles de pH, por estación, entre los años 2005 y 2018. 353
Figura 193. Niveles de plomo (μg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 353
Figura 194. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 354
Figura 195. Niveles de tolueno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 354
Figura 196. Niveles de xileno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 355
Figura 197. Niveles de vanadio (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 355
Figura 198. Fracción granulométrica por estación intermareal entre los años 2012 y 2018. 358
Figura 199. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2012 y 2018. 359
Figura 200. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 360
Figura 201. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 361
Figura 202. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 361
Figura 203. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 362

Figura 204. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos intermareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 362
Figura 205. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos intermareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 363
Figura 206. Niveles de benceno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 363
Figura 207. Niveles de etilbenceno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 364
Figura 208. Niveles de tolueno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campana 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 364
Figura 209. Niveles de xileno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 365
Figura 210. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 366
Figura 211. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 367
Figura 212. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 367
Figura 213. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 367
Figura 214. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 368
Figura 215. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 368
Figura 216. Niveles de benceno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 369
Figura 217. Niveles de etilbenceno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 369
Figura 218. Niveles de tolueno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección. 370
Figura 219. Niveles de xileno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección..... 370

Figura 220. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 374
Figura 221. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos intermareales. 376
Figura 222. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales. 377
Figura 223. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 378
Figura 224. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Pesquera Quintero..... 381
Figura 225. Perfiles de temperatura (ºC) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017. 385
Figura 226. Perfiles de pH para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017. 386
Figura 227. Perfiles de oxígeno disuelto (mg/L) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017. 387
Figura 228. Perfiles de saturación de oxígeno disuelto (mg/L) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017. 388
Figura 229. Sólidos suspendidos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017. 391
Figura 230. Sólidos sedimentables (mg/L/h) para los estratos superficie y fondo para los años 2015 y 2017. 392
Figura 231. Aceites y grasas (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017. 393
Figura 232. Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017. 394
Figura 233. Detergentes SAAM (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.395
Figura 234. Coliformes totales (NMP/100 ml) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017. 396
Figura 235. Coliformes fecales (NMP/100 ml) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017. 397
Figura 236. Fracción granulométrica por estación submareal para los años 2015 y 2017. 399
Figura 237. Niveles de materia orgánica total (MOT) en sedimentos submareales por estación, para los años 2015 y 2017. 400
Figura 238. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Variables hidrográficas..... 403

Figura 239. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua..... 406
Figura 240. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales..... 407
Figura 241. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal..... 408
Figura 242. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero..... 412
Figura 243. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero (zoom)..... 413
Figura 244. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018..... 417
Figura 245. Perfiles de salinidad para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018..... 418
Figura 246. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018..... 418
Figura 247. Coliformes fecales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 422
Figura 248. Coliformes totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 423
Figura 249. Aceites y grasas en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 424
Figura 250. Compuestos fenólicos en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 425
Figura 251. Hidrocarburos fijos en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 426
Figura 252. Hidrocarburos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 427
Figura 253. Hidrocarburos volátiles en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección..... 428
Figura 254. Sólidos suspendidos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018..... 429
Figura 256. Sólidos suspendidos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018..... 431

Figura 257. Coliformes fecales en las estaciones del AMERB, por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección. 432
Figura 258. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2012 y 2015. 434
Figura 259. Niveles de hidrocarburos totales en sedimentos submareales por estación, entre los 2013 y 2018. 435
Figura 260. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2017 y 2018. 437
Figura 261. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos. 439
Figura 262. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua submareal. 442
Figura 263. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua intermareal. 444
Figura 264. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua AMERB. 445
Figura 265. Análisis de componentes principales para sedimentos intermareales. 446
Figura 266. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal. 448
Figura 267. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal. 449
Figura 268. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal. 451
Figura 269. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades de la megafauna. 452
Figura 270. Ubicación de los puntos de descarga de las UF analizadas en bahía Quintero. 457
Figura 271. Box-plot de niveles de concentración, para los metales aluminio, arsénico, boro, cadmio, cromo hexavalente, cromo total, medidos en efluentes. 461
Figura 272. Box-plot de niveles de concentración, para los metales cobre, cobre total, hierro, hierro disuelto, mercurio y manganeso, medidos en efluentes. 462
Figura 273. Box-plot de niveles de concentración, para los metales molibdeno, níquel, plomo, selenio, estaño y zinc, medidos en efluentes. 463
Figura 274. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros inorgánicos, medidos en efluentes. 465

Figura 275. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros orgánicos, medidos en efluentes.. 466
Figura 276. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros físico-químicos y biológicos, medidos en efluentes. 468
Figura 277. Serie temporal de temperatura por UF entre 2013 y 2018 y serie de temperaturas corregida. 484
Figura 278. Serie temporal de oxígeno disuelto por UF entre 2013 y 2018. 485
Figura 279. Análisis de efectos para UF y Trimestre, resultado del GLM integrado para temperatura, subprograma hidrografía..... 486
Figura 280. Análisis de efectos para UF y Trimestre, resultado del GLM integrado para oxígeno disuelto, subprograma hidrografía..... 487
Figura 281. Serie temporal de Grasas y Aceites por UF entre 2013 y 2018. 488
Figura 282. Serie temporal de HAT por UF entre 2013 y 2018. 488
Figura 283. Serie temporal de HCT por UF entre 2013 y 2018. 489
Figura 284. Serie temporal de Sólidos suspendidos por UF entre 2013 y 2018. 489
Figura 285. Análisis de efectos para UF y Año, resultado del GLM integrado para sólidos suspendidos, subprograma calidad de agua. 490
Figura 286. Granulometría promedio por Año y UF observada entre 2013 y 2018 en Bahía Quintero... 492
Figura 287. Tamaños medio de grano observados por campaña de muestreo y UF en Bahía Quintero. 493
Figura 288. Análisis de efectos para UF y Año, resultado del GLM integrado para tamaño medio de grano, subprograma calidad de sedimentos. 494
Figura 289. Tipos de grano por estación de muestreo observados en Bahía Quintero. El tamaño promedio corresponde al promedio observado entre los años 2017 y 2019. Subprograma calidad de sedimentos. 495
Figura 290. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada en el análisis de los índices comunitarios riqueza de especies (S) y diversidad de Shannon (H). 497
Figura 291. Riqueza promedio de especies por puntos de monitoreo de macrofauna submareal. El tamaño del círculo representa la riqueza promedio para todo el periodo analizado por estación de monitoreo.499
Figura 292. Diversidad promedio de especies por puntos de monitoreo de macrofauna submareal. El tamaño del círculo representa la diversidad promedio para todo el periodo analizado por estación de monitoreo..... 500
Figura 293. Ubicación y puntos de monitoreo de agua submareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018. 504

Figura 294. Ubicación y puntos de monitoreo de sedimento submareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018 505
Figura 295. Ubicación y puntos de monitoreo de sedimento intermareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018 506
Figura 296. Ubicación y puntos de monitoreo de biota intermareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018. 507
Figura 297. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 1993 y 1996. 511
Figura 298. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 1997 y 2000. 513
Figura 299. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2001 y 2006. 515
Figura 300. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2007 y 2011. 518
Figura 301. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2013 y 2017. 521
Figura 302. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en sedimento submareal, por estación, entre los años 1997 y 2011. 524
Figura 303. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en sedimento submareal, por estación, entre los años 2013 y 2017. 526
Figura 304. Fracción granulométrica por estación submareal entre 2013 y 2017. 527
Figura 305. Fracción granulométrica por estación submareal periodo 2018. 530
Figura 306. Fracción granulométrica por estación intermareal periodo 2018. 532
Figura 307. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*), por estación, entre los años 1994-2011..... 534
Figura 308. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*), por estación, entre los años 2013-2017..... 536
Figura 309. Análisis de componentes principales para agua submaeal..... 537
Figura 310. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 1997-2000. 538
Figura 311. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2001-2006. 539

Figura 312. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2007-2011. 540
Figura 313. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2012-2017. 541
Figura 314. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2018. 542
Figura 315. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 1997-2011..... 543
Figura 316. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 2013-2017..... 544
Figura 317. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 2018. 545
Figura 318. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento intermareal durante el periodo 2018. 546
Figura 319. Análisis de componentes principales para biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*) durante el periodo 1994-2011. 547
Figura 320. Análisis de componentes principales para biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*) durante el periodo 2013-2017. 548
Figura 321. Ubicación y puntos de monitoreo del Estudio Análisis de Riesgo Ecológico Bahía Quintero (CEA, 2014). 550
Figura 322. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2012 y 2015..... 558
Figura 323. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal, CEA 2014. 562
Figura 324. Composición taxonómica de la megafauna intermareal, CEA 2014..... 563
Figura 325. Composición taxonómica de fitoplancton, CEA 2014..... 564
Figura 326. Composición taxonómica de ictioplancton, CEA 2014. 565
Figura 327. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en columna de agua. 567
Figura 328. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en sedimentos..... 569
Figura 329. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en organismos..... 570

Figura 330. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal..... 571
Figura 331. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal. 572
Figura 332. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la megafauna intermareal. 573
Figura 333. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en megafauna intermareal..... 574
Figura 334. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para macrofauna submareal. 575
Figura 335. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para fitoplancton. 576
Figura 336. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el fitoplancton. 577
Figura 337. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para zooplancton. 578
Figura 338. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el zooplancton. 579
Figura 339. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para ictioplancton. 580
Figura 340. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el ictioplancton. 581
Figura 341. Estacionalidad climatológica de la temperatura superficial del mar [ºC] en la región aledaña a bahía Quintero, periodo 2007-2018. La ubicación de la bahía de Quintero se muestra en estrella roja. 611
Figura 342. Estacionalidad climatológica de la clorofila superficial del mar [mg m^{-3}] en la región aledaña a la bahía de Quintero, periodo 2007-2018. La ubicación de la bahía de Quintero se muestra en estrella roja. 612
Figura 343. Promedio espacial de la temperatura superficial del mar (panel izquierdo) y serie de tiempo para la bahía de Quintero (línea negra) y su correspondiente ciclo anual (línea roja). La línea horizontal muestra el promedio de largo plazo. 613
Figura 344. Ciclo anual de la temperatura superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. Las barras de error muestran la desviación estándar mensual. 614

Figura 345. Expresión espacial del mínimo (julio; panel izquierdo) y máximo (febrero; panel derecho) de temperatura superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. 614
Figura 346. Promedio espacial de la clorofila superficial del mar (panel izquierdo) y serie de tiempo para la bahía de Quintero (línea negra) y su correspondiente ciclo anual (línea roja). La línea horizontal muestra el promedio de largo plazo..... 615
Figura 347. Ciclo anual de la clorofila superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. Las barras de error muestran la desviación estándar mensual. 616
Figura 348. Expresión espacial del mínimo (junio; panel izquierdo) y máximo (diciembre; panel derecho) de clorofila superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. 616
Figura 349. Ubicación del conjunto de estaciones monitoreadas en los distintos PSBQ. 621
Figura 350. Propuesta de áreas de monitoreo de impacto y control para PSBQ. 622

1 RESUMEN EJECUTIVO

Se entregan los resultados correspondientes al Informe Final Corregido del Proyecto “Análisis crítico de los informes de seguimiento ambiental y de los planes de vigilancia ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero, Región de Valparaíso” en conformidad a lo estipulado en las Bases Técnicas del Proyecto (R.Ex. Nº 0357/2019, Ministerio de Medio Ambiente).

En términos generales, le generación de los contenidos que se entregan en este informe implicó: (i) la construcción de bases de datos y posterior análisis estadístico de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero (en adelante PSBQ); (ii) un análisis de información bibliográfica y bases de datos de estudios realizados en bahía Quintero (POAL y CEA 2014) y; (iii) un análisis crítico de los PSBQ y recomendaciones sobre los parámetros que son monitoreados, sus frecuencias de monitoreo y el diseño espacial de los PSBQ actualmente monitoreados.

Para la ejecución del primer objetivo especifico, se solicitó el acceso a los informes de PSBQ para cada una de las Unidades Fiscalizables (en adelante UF), que presentaran información cuantificable que pudiera ser analizada estadísticamente. Gran parte de la información proporcionada por la Subsecretaría de Medio Ambiente, correspondió a documentos en formato PDF, lo cual implicó la selección y extracción de información cuantificable desde estos documentos, y no directamente desde bases de datos. Para esto, se utilizó una combinación de distintos softwares OCR (*Optical Character Recognition*) y de editores de PDF para el traspaso de tablas desde los informes originales, a formatos que permitieran finalmente la manipulación de datos (xlsx, dbf, csv). Adicional a estos informes, la contraparte entregó información en formato base de datos para: (i) el PVA AES GENER U1 U2, (ii) calidad de efluentes (en formato MS Excel), (iii) Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) y, (iv) Datos generadas por el Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2014) correspondientes al informe “Análisis de Riesgo Ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”. Estas bases de datos, fueron revisadas y sistematizadas para la generación de los análisis estadísticos independientes.

Luego de más de 1 mes de trabajo de digitalización de información, se generaron las bases de datos integradas con información cuantificable para 12 UF, a saber: (i) AES GENER S.A UNIDAD 3, (ii) AES GENER S.A UNIDAD 4, (iii) AES GENER S.A UNIDAD 1 Y 2, (iv) PUERTO VENTANAS

S. A., (v) CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS, (vi) GASMAR S. A., (vii) OXIQUIM S.A., (viii) ENAP REFINERIAS S.A., (ix) COMPAÑIA DE PETROLEOS DE CHILE - COPEC S.A, (x) GNL QUINTERO S.A, (xi) PESQUERA QUINTERO y (xii), EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE VALPARAÍSO S.A.- ESVAL. El análisis de esta información reveló una alta heterogeneidad en cuanto al diseño de cada uno de programas, incluyendo: número y disposición de estaciones de muestreo, subcomponentes o matrices evaluadas, número y tipo de parámetros evaluados en cada matriz, además de la frecuencia de monitoreo.

El análisis aquí presentado, incluyó la exploración de la disposición de las estaciones de monitoreo de las matrices que son analizadas en cada programa de seguimiento, y del numero de campañas de muestreo con información disponible. Dada la heterogeneidad observada en las bases de datos, los análisis estadísticos fueron realizados primero de manera independiente para cada PSBQ, seleccionando posteriormente aquellas matrices y parámetros que mostraron mayor transversalidad para la generación de análisis integrados y contrastes entre los resultados informados por cada UF.

Los resultados de esta etapa permitieron establecer que, para el caso de la hidrografía, destacaron diferencias estacionales (entre trimestres) y entre estratos de profundidad. En el caso de las variables medidas en columna de agua, la mayoría mostró diferencias entre años y estaciones y, en el caso de los muestreos de sedimentos, se observaron diferencias principalmente entre años. Para las matrices sedimentos y columna de agua, la mayor proporción de muestreos se efectuaron en el ambiente submareal, destacando el análisis de sedimentos intermareales únicamente en el caso de las UF AES GENER U4 y TM COPEC y de columna de agua intermareal para ESVAL.

En cuanto a los componentes bióticos, la mayor proporción de análisis corresponde a la macrofauna bentónica submareal, la que se efectúa en 11 de las 12 UF. Con menor transversalidad se efectúan análisis de Macrofauna intermareal (5 UF), Fitoplancton (3 UF), Zooplancton (2 UF) y Megafauna (3 UF). Los resultados del análisis de la macrofauna en el intermareal revelaron, que el nivel de muestreo perpendicular a la línea de costa (estrato) es el principal estructurador de las comunidades, destacando la presencia de *Orchestoidea tuberculata* en los niveles superiores y de *Emerita analoga* en los niveles inferiores. Para el caso de macrofauna submareal, Fitoplancton, Zooplancton y Megafauna, se observó problemas graves en las bases de datos de especies, asociados con la correcta ortografía utilizada en la

nomenclatura de familias, géneros y especies, lo que impidió la ejecución de análisis transversales a lo largo del tiempo. Por este motivo, para estos componentes no fue posible realizar análisis de composición taxonómica, y en su lugar, se optó por presentar los resultados de la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

Los resultados del análisis integrado para las variables comparables entre UF revelaron que sólo temperatura, oxigeno disuelto, sólidos suspendidos y tamaño de grano, mostraron cierto grado de transversalidad, como para permitir la ejecución de análisis estadísticos incorporando más de una UF. Para la temperatura, la época del año (trimestre), explicó en mayor medida la variabilidad observada; mientras que para el oxígeno disuelto se observaron importantes variaciones entre años, aunque sin detectarse tendencias ascendentes y/o descendentes en las series analizadas. Para los sólidos suspendidos medidos en agua, y tamaños de grano registrados en los sedimentos, la posición geográfica de los puntos de muestreo, explicó la mayor variabilidad observada, siendo en la sección centro-norte de la bahía donde se registraron las mayores concentraciones de sólidos suspendidos; mientras que en la sección sur de la bahía fue donde se ubicaron las estaciones con tamaños de grano mayores. Se destaca que en el monitoreo de ESVAL que se efectúa en la sección sur de la bahía, se observa comportamientos que lo diferencian del resto de las UF, con menores niveles de temperatura para hidrografía, y con presencia de una fracción importante de Limo en la granulometría.

Por otra parte, y considerando que la macrofauna, también presentó una transversalidad importante en las UF analizadas, se generó un análisis basado en el contraste estadístico de los indicadores riqueza y diversidad de especies de Shannon-Wiener (H'). El resultado de este análisis reveló que, al considerar en conjunto las UF con bases de datos de macrofauna analizables (10 UF), la diferenciación espacial resultó estadísticamente significativa y explicó un 33% de la variabilidad observada en la riqueza de especies y un 23% de la variabilidad en la diversidad, observándose que los registros promedio más bajos de riqueza y diversidad de especies se observan en aquellas estaciones de muestreo ubicadas en la zona central de la bahía, y específicamente en áreas más cercanas a la línea de costa y a profundidades inferiores a 10 m.

Un análisis de la caracterización de las bases de datos disponibles para efluentes, que incluyeron 9 de las 12 UF analizadas en este proyecto, permitió establecer que la mayoría de los parámetros

no presentó excedencias a la norma (DS 90), o bien, que las excedencias se registraron en baja proporción y sólo para algunas UF. Se constató también, la existencia de parámetros como boro, cloruros, hierro, sulfatos, triclorometano y xileno, que presentaron excedencias en el 100% de los casos y en todas las UF analizadas. Sin embargo, el número de registros para estos parámetros fue muy bajo e inferior a 6 determinaciones por UF.

Para la ejecución del segundo objetivo específico, la información cuantificable que permitió efectuar análisis estadísticos, correspondió a las bases de datos del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) que se efectúa para Bahía Quintero desde el año 1993, y los datos proporcionados por la contraparte técnica, asociados a los análisis efectuados por CEA (2014), los que incluyen dos campañas de muestreo efectuadas durante el invierno de 2012 y verano de 2013.

Las bases de datos de POAL y CEA (2014), fueron también sometidas a análisis estadísticos para cada matriz ambiental disponible, con la finalidad de obtener resultados cuantificables que permitieran caracterizar la bahía, desde fuentes de información diferentes a las proporcionadas por los PSBQ. En términos generales, las bases de datos del POAL mostraron una alta variabilidad y escasa transversalidad entre los diferentes programas de muestreo. De esta manera, se optó por diferenciar para cada matriz analizada, periodos con cierta homogeneidad en términos de los parámetros analizados y del número de estaciones medidas. Así se identificó 6 periodos para agua submareal, 3 periodos para sedimentos submareales, 1 periodo para sedimentos intermareales y 2 periodos para biota. En el caso de CEA (2014), se analizó 60 parámetros medidos en agua de mar submareal, 43 parámetros en sedimentos submareales y 19 parámetros en organismos marinos, este último correspondiente al taxón *Fissurella spp.* evaluado en 3 localidades diferentes cercanas a Bahía Quintero. En este programa se incluyó, además, el análisis de las matrices de fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macrofauna intermareal y macroinfauna.

Los resultados de los análisis para el caso del POAL, revelaron una alta heterogeneidad en diferentes periodos de muestreo, con cambios en estaciones, parámetros y límites de detección, para los componentes agua, sedimentos y organismos, por lo cual no fue posible generar una base de datos que permitiera efectuar un contraste estadístico con las bases de datos de los PSBQ. El análisis estadístico de esta fuente de datos permitió observar que, para columna de agua, se detectó una importante diferenciación entre años, con una alta proporción de parámetros

bajo los límites de detección, particularmente desde el 2014. Para el caso de los sedimentos, la principal fuente de variación estadística también fue el año, siendo los cambios en la granulometría, los que explicaron mayoritariamente la diferenciación estadística entre años. Para biota (*Perumytilus purpuratus*), se han monitoreado 2 sitios en la bahía, entre los cuales no se observó diferencias significativas para los parámetros analizados, siendo el Año la principal fuente de diferenciación.

La base de datos del CEA (2014) presentó una mayor consistencia entre campañas de muestreo, pero dado que comprenden un corto periodo de análisis (invierno 2012 y verano 2013), tampoco fue posible contrastar esta fuente de información con datos de los PSBQ. Pese a lo breve del periodo de muestreo, también se observó diferencias en los límites de detección informados, especialmente en el caso de los sedimentos. Los resultados de los análisis estadísticos ejecutados sobre esta base de datos revelaron, para columna de agua que, de los 60 parámetros medidos, el 47% presentó más de un 90% de los registros bajo los límites de detección de laboratorio. Para el resto de los parámetros, se observó diferencias significativas entre campañas de muestreo. Los sedimentos mostraron que un 12% de los parámetros analizados presentó más de un 90% de los registros bajo los límites de detección de laboratorio, observándose para el resto de los parámetros diferencias significativas entre campañas de muestreo. En el caso de la calidad de organismos, destaca la detección de diferencias espaciales, con mayores concentraciones de plomo en individuos de *Fissurella sp.* extraídos al interior de Bahía Quintero.

Un análisis de información bibliográfica, que incluyó análisis de publicaciones científicas y proyectos de investigación efectuados en la bahía, indica que, en términos generales, la bahía presenta una condición ambiental crítica, con problemas de contaminación asociados a las concentraciones de metales pesados en sedimentos, agua y biota, los que exceden las referencias ambientales utilizadas en las investigaciones revisadas, lo que implicaría un riesgo ecológico, tanto para el sistema marino como para la población residente.

Para la ejecución del tercer objetivo específico, se analizó el total de información referida a las técnicas de laboratorio y metodologías de muestreo disponibles en los informes analizados para cada PSBQ, constatándose que las técnicas utilizadas en los monitoreos ambientales no son las más apropiadas para el ambiente marino. Se detectó además la utilización de técnicas desarrolladas originalmente para la matriz agua, aplicadas directamente en sedimentos, observándose importantes diferencias en los límites de detección y/o de cuantificación entre

campañas de monitoreo, lo que dificulta aún más la ejecución de análisis temporales robustos, que permitan efectivamente evaluar la variabilidad existente entre campañas y entre años de monitoreo. A partir de este análisis, se entregan una serie de recomendaciones y una propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados por matriz ambiental, según el tipo de actividad industrial que desarrolla cada UF. En este sentido, es importante indicar que, los parámetros específicos que deben ser vigilados por cada UF, deben estar relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declare dentro de sus emisiones tanto puntuales como difusas.

Complementariamente, se analizó la frecuencia en las campañas de monitoreo de cada UF, constatándose una baja sincronía entre campañas, existiendo una escasa regularidad en las fechas en las cuales se realizan las campañas de monitoreo. A partir del análisis de estos resultados, y con base en un análisis de imágenes satelitales diarias de alta resolución (1 km) entre los años 2007 y 2018, se efectúa una propuesta general de frecuencia de monitoreo para las UF que operan en Bahía Quintero. Este análisis indica que, como mínimo, los programas de vigilancia ambiental de Bahía Quintero debieran contemplar la ejecución de 3 campañas al año, para rescatar la variabilidad estacional de la estructura hidrografía de la bahía. Esto requeriría, por una parte, el aumento de la frecuencia de aquellos programas semestrales, anuales y bienales, y el ajuste de aquellos programas que contemplan 3 o 4 campañas al año, considerando al menos, los periodos enero-febrero, junio-julio y noviembre-diciembre, lo cual permitiría un mejor entendimiento de la información recopilada por cada UF, al considerar los peaks de productividad (noviembre-diciembre), temperatura de la columna de agua (enero-febrero), con contraste con le época invernal (junio-julio), donde ambos indicadores (temperatura y clorofila) muestran valores mínimos.

En cuanto al posicionamiento de estaciones, se aprecia que gran parte de los puntos de evaluación se ubican bajo la isóbata de 10 m de profundidad, lo que minimiza las diferencias espaciales y confirma el resultado de los análisis estadísticos efectuados en cada UF, los que mostraron la ausencia de diferencias relevantes entre estaciones de muestreo. El análisis efectuado revela que la ubicación de las estaciones de impacto se encuentra asociada a sus propios emisarios, y dado que éstos están muy cerca uno de otro, produce que algunas UF tengan estaciones “control”, entremezcladas con estaciones de “impacto” de otras UF. Este factor es relevante y contraproducente para los fines de la vigilancia ambiental, ya que se espera que las estaciones de referencia no estén influenciadas, al menos directamente, por actividades

antrópicas, y que los cambios o variabilidad que ellas presenten, sean el reflejo de una condición natural o más bien de eventos o situaciones de naturaleza de meso escala.

En este sentido, en este informe se presenta una propuesta de zonificación que incluye un área de impacto y dos zonas o áreas de referencia, en las que se espera que los efectos de las descargas industriales sean minimizados. Una de las zonas de referencia propuestas se ubica al interior de la bahía, a unos 700 m del área de impacto y colindante a las AMERB Horcón y Ventanas. La segunda zona de referencia está unicada fuera de la bahía, a más de 3 km al norte desde el límite del área de impacto, donde se espera que los efectos de la actividad industrial sean aminorados completamente.

En síntesis, los resultados aquí presentados dan cuenta de problemas relacionados con las metodologías de laboratorio aplicadas, idoneidad de los parámetros monitoreados, frecuencias de monitoreo y diseño de los programas, en cuanto a la ubicación de las estaciones monitoreadas, todo lo cual ha dificultado la ejecución de análisis integrados que permitan generar un diagnóstico robusto de la condición de la Bahía. No obstante, es destacable indicar que aquellos análisis efectuados de manera más transversal indicaron que sólidos suspendidos, tamaño de grano e indicadores comunitarios asociados con la macrofauna, mostraron diferencias espaciales al interior de la bahía, destacando mayor concentración de sólidos suspendidos en columna de agua, con menores tamaños de granos en sedimentos y con menores niveles de riqueza de especies en la sección centro-norte de la bahía, específicamente en zonas con profundidades inferiores a 10 m.

Se espera que las recomendaciones efectuadas a lo largo del documento, contribuyan a mejorar la vigilancia ambiental, en una zona emblemática, multiusuario y con alto desarrollo industrial, como es Bahía Quintero.

2 ANTECEDENTES GENERALES

La Bahía de Quintero, se encuentra aproximadamente a 41 km al norte de Viña del Mar y en ella colindan 2 comunas de la Región de Valparaíso, a saber: Comuna de Quintero y Comuna de Puchuncaví. La comuna de Quintero tiene una población de 21.144 habitantes, mientras que Puchuncaví cuenta con un total de 12.934 habitantes (https://www.censo2017.cl). Ambas comunas poseen acceso al borde costero de Bahía Quintero prácticamente en partes iguales, correspondiendo la zona sur a la Comuna de Quintero y zona norte a la comuna de Puchuncaví. La extensión del borde costero es de aproximadamente 14 Km de costa, con profundidades máximas de alrededor de 40 metros (CEA, 2013). En toda esta extensión, considerando además la zona terrestre aledaña, coexisten diferentes actividades, incluyendo restaurantes, playas y espacios recreacionales, viviendas, club de yates, aeródromo de la Fuerza Aérea de Chile, caletas de pescadores artesanales, Áreas de Manejo de Extracción de Recursos Bentónicos (AMERB) e industrias de diversa índole, incluyendo termoeléctricas, refinerías y generación de productos químicos, regasificadoras, pesqueras y una planta de tratamiento de aguas servidas.

Cada una de estas actividades genera algún tipo de impacto ambiental al medio marino adyacente, algunas de tipo difuso y otras de forma puntual o focal. En particular, entre los impactos del tipo puntual se encuentra la generación de Residuos Industriales Líquidos (RILes) al interior de las aguas marinas de la bahía. Desde el punto de vista comunal, algunas de esas empresas se encuentran emplazadas en la Comuna de Puchuncaví y otras en la Comuna de Quintero. No obstante, desde el punto de vista geográfico, la mayoría de estas industrias se encuentran focalizadas y dispuestas en el “fondo de saco” de la bahía, aunque con mayor concentración en el borde costero norte, destacando:

- AES GENER S.A
- PUERTO VENTANAS S. A.
- CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS
- GASMAR S. A.
- OXIQUIM S.A.
- ENAP REFINERÍAS S.A. (QUINTERO)
- COMPAÑIA DE PETRÓLEOS DE CHILE - COPEC S.A
- PESQUERA QUINTERO
- GNL QUINTERO S.A
- EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE VALPARAÍSO S.A.- ESVAL

Debido al desarrollo de sus actividades, estas empresas, generan un impacto al medio ambiente marino y, por tanto, cuentan con Planes de Vigilancia Ambiental (PVA) y/o Planes de Seguimiento Ambiental (PSA). Estos seguimientos ambientales implican la recolección de una o más mediciones que se utilizan para evaluar el estado del ambiente receptor (Artiola & Warrick, 2004). Las observaciones objetivas producidas a través de estos levantamientos, debieran entregar datos sólidos, los que a su vez deben permitir generar información y conocimiento conducente a una mejor comprensión del problema ambiental bajo estudio, lo que en definitiva se debe traducir en una mejora en las posibilidades de tomar decisiones informadas (Artiola et al., 2004).

En este sentido, contar con series temporales de larga data, no sólo mejora nuestro entendimiento sobre los impactos ambientales que deseamos monitorear, sino que también aporta al conocimiento general del sistema bajo estudio (von Brömssen et al., 2018). En este caso, se espera que la revisión integrada de los planes de vigilancia ambiental efectuados en Bahía Quintero, permita generar información de utilidad para tomar decisiones acertadas sobre la idoneidad de la propia vigilancia ambiental efectuada por cada una de las compañías que descargan sus residuos líquidos a la bahía, lo que eventualmente puede traducirse en generar mejoras adaptativas a cada Programa de Vigilancia Ambiental.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Realizar un análisis crítico de los Informes de Seguimiento Ambiental y de los Planes de Vigilancia Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero, Región de Valparaíso.

3.2 Objetivos específicos

1. Análisis crítico y de tendencia para parámetros fisicoquímicos, biológicos y otros, si corresponde, señalados en los Informes llevados a cabo en razón de los Planes de Seguimiento Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero (en adelante, Informes PSBQ).

2. Comparación crítica de los datos reportados en los Informes PSBQ con datos reportados por otros estudios.

3. Análisis crítico de los Planes de Seguimiento y propuesta de nuevos criterios y variables a incorporar en dichos Planes.

4 METODOLOGÍA

4.1 OE 1. Análisis crítico y de tendencia para parámetros fisicoquímicos, biológicos y otros, si corresponde, señalados en los Informes llevados a cabo en razón de los Planes de Seguimiento Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a ala bahía de Quintero (en adelante, Informes PSBQ).

4.1.1 Georreferenciación de establecimientos que operan en BQ y usos relevantes

4.1.1.1 Recopilación y sistematización de establecimientos que operan en Bahía Quintero

Se solicitó a la contraparte los Informes de Seguimiento Ambiental de establecimientos con Resolución de Calificación Ambiental Favorable (RCA) y de establecimientos que se encuentran bajo control y seguimiento sectorial, por parte de los organismos competentes (e.g. Programa Mínimo de Evaluación de Impacto Ambiental de DIRECTEMAR).

Se extrajo de estos informes, la información cartográfica de los puntos de monitoreo de cada Unidad Fiscalizable. Con esta información se elaboró una cartografía básica, detallando en cada caso el tipo de estación (eg. control, impacto, intermareal, lanzamiento de derivadores) y la disposición espacial de éstas dentro de la bahía.

4.1.1.2 Obtención de información territorial complementaria

Se realizó un levantamiento de información relativa a los usos de la zona costera de bahía Quintero, considerando: Áreas Apropiadas para el ejercicio de la Acuicultura (AAA), Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), Monumentos Naturales, Parques Marinos, Reservas Marinas, Santuarios de la Naturaleza y Áreas Marinas Costeras Protegidas de Múltiples Usos, Zonas de Ejercicio Naval, entre otras.

Las fuentes de información incorporadas en la confección de cartografías corresponden a las disponibles vía plataforma web en el Sistema de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) del Ministerio de Bienes Nacionales (http://www.ide.cl/), por Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (http://www.subpesca.cl/), Servicio Nacional de Información Ambiental (http://sinia.mma.gob.cl/), Sistema Integral de Información Territorial (http://siit2.bcn.cl/), entre otros. Las cartografías fueron elaboradas en ArcGis 10.2, software líder en el geoproceso de información territorial de amplio uso a nivel global (http://www.esri.com/).

4.1.2 Recopilación de información de PSBQ

Durante los meses de julio y agosto de 2019, la Subsecretaría de Medio Ambiente envió el total de información disponible, que correspondió a documentos provenientes de ~290 links (http://snifa.sma.gob.cl/) y de data de DIRECTEMAR para PSBQ Termo Ventanas (Campañas 30 a 48 – faltan 31, 32, 35, 38). La información existente en estos registros correspondió a 12 Unidades Fiscalizables, los cuales fueron descargados para su posterior sistematización, incluyendo las siguientes etapas:

1. Selección de información cuantificable: se descargó el total de informes provenientes de los links entregados. La información colectada correspondió a un total de 741 documentos en formato PDF. A partir de esta información, comenzó la etapa de selección y extracción de la información cuantificable en los informes PVA/PSA, lo cual implicó utilizar una combinación de softwares OCR (*Optical Character Recogition*) y editores de PDF, posibilitando el traspaso de tablas desde los informes originales, a formatos de manipulación de los datos (xlsx, dbf, csv). De los 741 documentos descargados, 450 contaron con información cuantificable.

2. Sistematización y depuración de bases de datos: posterior a la etapa de extracción de tablas desde los archivos originales PDF, se realizó el ordenamiento y estructuración de las bases de datos. Con esta medida fue posible ordenar la información disponible, depurar las bases de datos y detectar faltas de información.

La información obtenida a partir de los informes de los PVA/PSA constituye la base de los análisis estadísticos entregados en el presente informe. Toda la información obtenida, sistematizada y depurada en esta etapa del estudio, se entrega en archivos digitales con formato Excel (**Anexo Digital 01**).

4.1.3 Análisis estadístico

Las bases de datos sistematizadas para cada PVA/PSA, fueron sometidas a un riguroso análisis estadístico, orientado a detectar tendencias espacio-temporales en los parámetros medidos en cada vigilancia ambiental. Dada la alta heterogeneidad detectada en los subprogramas, los análisis estadísticos fueron realizados primero de manera independiente para cada PSBQ, seleccionando posteriormente aquellas matrices y parámetros que mostraron mayor

transversalidad para la generación de análisis integrados y contrastes entre los resultados informados por cada UF.

En términos generales el análisis estadístico propuesto consideró las siguientes etapas:

1. Generación de bases de datos por PSBQ: Sistematización e historización de bases de datos independientemente por PSBQ y matriz de análisis (*e.g.* columna de agua, sedimentos). Posicionamiento espacial de puntos de monitoreo y estratos y sistematización de técnicas de laboratorio y límites de detección.
2. Integración de bases de datos: Generación de bases de datos integradas, homogenización de nombres y unidades de medida por parámetro y matriz.
3. Análisis Exploratorio: Cuantificación del número de registros por parámetro, determinación de estadígrafos de tendencia central y dispersión, determinación de variabilidad (coeficiente de variación) por parámetro. Elaboración de gráficas de tendencia general por parámetro, puntos de muestreo y PSBQ.
4. Data cleaning: Identificación de parámetros con alta frecuencia bajo el límite de detección, identificación de observaciones atípicas (outliers), selección de series de datos para el análisis estadístico.
5. Determinación de tendencias espacio-temporales: evaluación de la significancia estadística de fuentes de variabilidad espacial (e.g. Puntos de muestreo, Estratos) y temporal (e.g. Año, Trimestre), mediante el empleo de modelos aditivos generalizados (GLM)[1].
6. Elaboración de preguntas de investigación: generación de preguntas de investigación, tales como: ¿existen diferencias espaciales al interior de cada PSBQ? ¿existe una tendencia en las concentraciones de contaminantes? ¿existe estacionalidad en los parámetros analizados?
7. Interpretación de resultados y determinación de tendencias espacio-temporales: evaluación integrada de los resultados del análisis estadístico con la finalidad de establecer tendencias generales.

[1] Los GLM son una extensión de los modelos lineales (LM) cuya principal ventaja es que permiten utilizar distribuciones no normales de los errores y varianzas no constantes, ambos supuestos básicos de los modelos lineales del tipo Análisis de Varianza y que normalmente no se cumplen en bases de datos ambienatles. Los GLM permiten la especificación de la familia de los errores del modelo (binomial, Poisson, gamma, exponencial, etc) y evaluar relaciones no lineales entre la variable respuesta y las variables independientes mediante la función de vínculo (identidad, raíz cuadrada, logarítmica, exponencial, logit, recíproca) (Cayuela, 2014)

A partir de los resultados que emergieron de este análisis, se elaboró un reporte para cada UF, que incluyó el análisis de los patrones espacio-temporales de las bases de datos en el mediano plazo (dependiendo de la extensión de las bases de datos recibidas).

Todos los análisis estadísticos fueron efectuados utilizando rutinas elaboradas y formuladas en la plataforma R (http://www.r-project.org/), utilizando las librerías mgcv (Wood, 2018), ggplot2 (Wickham, 2016), vegan (Oksanen, 2019) y devtools (Wickham, 2018).

4.1.4 Análisis integrado de PSBQ

Para el análisis integrado de los monitoreos ejecutados en Bahía Quintero, se determinó la transversalidad de los tipos de monitoreo o subprograma (i.e. hidrografía, calidad de agua, sedimentos, etc.) y dentro de cada tipo de monitoreo, se determinó aquellos parámetros que son medidos por mayor proporción de Unidades Fiscalizables (UF). Estos parámetros fueron seleccionados para la ejecución del análisis GLM integrados que consideraron como variable dependiente el valor registrado para cada parámetro, como fuentes de variabilidad espacial la UF y como fuentes de variación temporal el Año y el Trimestre. A partir de este diseño, resulta posible responder a las preguntas de investigación: ¿existen diferencias entre las concentraciones reportadas por diferentes UF? y ¿existen tendencias estacionales o de mediano plazo en las concentraciones analizadas?

4.1.5 Análisis de efluentes

De acuerdo a la información proporcionada por la Subsecretaría de Medio Ambiente, se analizó la base de datos de efluentes, cuyos datos disponibles abarcan entre los años 2013 y 2019, y sólo para 9 de las 12 Unidades Fiscalizables que son analizadas en este proyecto. Las 9 UF para las cuales se dispone de información son: AES GENER UNIDAD 3, AES GENER UNIDAD 4, AES GENER UNIDAD 1 Y 2, CODELCO, GASMAR, ENAP, GNL QUINTERO, TM COPEC y PESQUERA QUINTERO.

En análisis llevado a cabo, implicó en una primera etapa un análisis estadístico descriptivo de los parámetros que son monitoreados por cada UF, considerando estadígrafos como promedio, desviación estándar, coeficientes de variación y pruebas de normalidad. Adicionalmente, se entregan gráficos del tipo box-plot para todos los parámetros monitoreados, permitiendo identificar aquellas UF que presentan niveles más altos en algún parámetro. Finalmente, se

entrega un análisis relacionado con los porcentajes de excedencias a la norma DS 90, indicando el nivel de cumplimiento que tiene cada UF respecto a la norma.

4.2 OE2. Comparación crítica de los datos reportados en los Informes PSBQ con datos reportados por otros estudios.

Para dar cumplimiento a este objetivo especifico, se recopiló información proveniente desde fuentes secundarias diferentes a la información proporcionada por los PSBQ, con la finalidad de obtener información cuantificable que permitiera caracterizar la zona de estudio y contrastar con la información recopilada de cada UF. Cabe destacar que, la única información disponible y analizable estadísticamente, correspondió a las bases de datos del POAL y al estudio efectuado por el CEA (2014). Adicionalmente, se recopiló información respecto del estado de conocimiento de la bahía, la cual fue sistematizada y analizada dentro del presente informe. El detalle metodológico del análisis de las fuentes de información recopiladas, se entrega en los numerales siguientes.

4.2.1 Recopilación y sistematización de datos provenientes del POAL

Se recopiló las bases de datos del POAL provenientes de la plataforma online de DIRECTEMAR (https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/datos_poal.html). En el POAL (Programa de Observación del Ambiente Litoral) se determinan y evalúan los niveles y concentraciones de los principales contaminantes en aguas costeras y dulces, focalizándose en aquellos cuerpos de agua más usados o intervenidos en Chile. En el caso de Bahía Quintero, el POAL mantiene actualmente registros de contaminantes entre los años 1993 y 2017, mientras que los datos del año 2018, fueron entregados directamente por la contraparte técnica.

Si bien en la plataforma *online*, es posible realizar la descarga de bases de datos por año, fue necesario su estandarización y posterior consolidación en una base de datos única que permita efectuar análisis estadísticos. Finalmente, la base de datos asociada al POAL contó con un total de 4 matrices o subprogramas, a saber: Agua de mar, Sedimento submareal, Sedimento intermareal y Biota.

4.2.2 Recopilación y sistematización de datos provenientes del CEA

Se solicitó el total de información contenida en las bases de datos asociadas al Informe Final del proyecto Análisis de Riesgo Ecológico por Sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (CEA, 2014), con la finalidad de generar una base de datos que permitiera caracterizar la bahía, y analizar la factibilidad de establecer contrastes con la información generada por cada PSBQ. Al igual que en el caso anterior, la base de datos fue estandarizada y consolidada en los formatos de las bases de datos

ya disponibles. La base de datos sistematizada contiene 9 matrices o subprogramas, a saber: Calidad de agua, Calidad de sedimentos, Fitoplancton, Zooplancton, Ictioplancton, Macroinfauna, Megafauna, Macrofauna intermareal, y Calidad de organismos, en dos campañas efectuadas en junio de 2012 (invierno) y enero de 2013 (verano).

4.2.3 Recopilación de información de estudios y publicaciones

El enfoque metodológico utilizado para la recopilación bibliográfica, contempló un análisis detallado de la información científica actualizada, definiendo como área de búsqueda el sector de bahía Quintero, Región de Valparaíso. El análisis estuvo basado principalmente en: (i) revisión exhaustiva de documentos técnicos proporcionados por la Subsecretaría de Medio Ambiente y; (ii) buscadores de publicaciones científicas nacionales e internacionales y tesis académicas, incluyendo bases de datos bibliográficos tales como ScienceDirect, Scopus y Google Academic.

Posteriormente, se sistematizó toda aquella información que permitiera realizar una caracterización apropiada del estado del conocimiento de la bahía, incluyendo:

- Características de los procesos oceanográficos físicos que afectan la dinámica de corrientes en Bahía Quintero.
- Estructura y funcionamiento de las matrices ambientales agua, sedimentos y organismos.
- Determinación de frecuencias de procesos oceanográficos, como insumo para determinar frecuencias óptimas de monitoreo y extensión de monitoreos integrados.
- Evaluación de usos territoriales relevantes de la zona de estudio, mediante Sistemas de Información Geográficos (SIG), incluyendo: zonas AAA, Áreas de Manejo, Concesiones de Acuicultura, Zonas de conservación o Reservas marinas, establecimientos industriales, usos de la zona costera, etc. (ver **Numeral 5.5.3.2**).

El total de información sistematizada por temática (eg. estudios ambientales, genómicos, geográficos, sociológicos, entre otros), es entregada en el **Anexo 1**. A partir de esta recopilación, se realizó una síntesis con información de la bahía a nivel de sistema, lo cual permitió mejorar el entendimiento de la condición ambiental de Bahía Quintero, más allá de la información ambiental proporcionada.

4.3 OE3. Análisis crítico de los Planes de Seguimiento y propuesta de nuevos criterios y variables a incorporar en dichos Planes.

Para el análisis crítico de los PSBQ y propuesta de nuevos criterios y variables, se consideró básicamente 3 elementos: (i) la idoneidad de los métodos, técnicas de muestreo, preservación de muestras y análisis de laboratorio; (ii) la idoneidad de las frecuencias de muestreo y; (iii) la idoneidad del posicionamiento espacial de las estaciones de muestreo. El detalle metodológico se entrega a continuación:

4.3.1 Idoneidad de los métodos y técnicas de muestreo, preservación y análisis de laboratorio

Con la finalidad de analizar si las metodologías aplicadas por cada UF son apropiadas para cada matriz o componente ambiental, y acreditadas de acuerdo a la norma 17.025 of 2017 del INN (Instituto Nacional de Normalización) y por el sistema ETFA (Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental) de la SMA (Superintendencia del Medio Ambiente), se sistematizó la información contenida en los informes de cada PSBQ y en los certificados de laboratorio disponible por PSBQ, centrando la búsqueda en la identificación de metodologías de análisis utilizadas.

Para cada UF se elaboró una Tabla, que contiene la campaña, la matriz o subprograma monitoreado, el estrato, el parámetro, la acreditación, el laboratorio, la metodología utilizada y los límites de detección y de cuantificación señalados. La Tabla con la información recopilada para cada UF se entrega en el **Anexo Digital 02.**

En términos generales, el análisis efectuado, implicó las siguientes actividades:

- Evaluación de la idoneidad de los parámetros de la vigilancia ambiental.
- Evaluación de las metodologías aplicadas en los diferentes programas.
- Análisis de los límites de detección y de cuantificación.
- Análisis específicos para parámetros que presentaron mayor transversalidad en las diferentes UF analizadas.
- Recomendación de parámetros clave, que deben ser considerados para cada matriz ambiental, por tipo de industria, considerando las recomendaciones internacionales para la matriz marina como EPA Methods, Grasshoff et al. (1999), Crompton (1989), Libes (2009), entre otros.

El análisis integrado de la información recabada a lo largo del proyecto, independientemente por cada entidad, permitió realizar recomendaciones generales para los PSBQ analizados, sobre la base de la información científica y técnica actualizada.

4.3.2 Idoneidad de las frecuencias de monitoreo

Con la finalidad de proponer frecuencias de monitoreo adecuadas, dadas las condiciones que se generan en Bahía Quintero, se utilizó información satelital como una herramienta apropiada para caracterizar la estructura hidrográfica de la bahía, considerando como variables clave, la temperatura superficial del mar y clorofila superficial, las cuales han sido ampliamente estudiadas debido a los patrones de variabilidad estacional que presentan.

4.3.2.1 Procesamiento y análisis de información satelital

Para la obtención de imágenes diarias de temperatura superficial del mar y de la concentración superficial de clorofila-a al interior y en el océano aledaño a bahía de Quintero, se procesó información satelital de alta resolución (1 km) registrada por el sensor remoto MODIS-Aqua, la que fue procesada, calibrada y validada por el OBPG del GSFC de la NASA (Feldman, 2016). El tratamiento de los datos de dichas imágenes se realizó por medio del software Matlab 2018a, utilizando el algoritmo OC3 (O`Reilly et al., 2000), el cual utiliza la radiancia emitida por el agua de mar en tres longitudes de onda: 0,443 0,448 y 0,551 µm, correspondientes a las bandas espectrales 9, 10 y 12, respectivamente.

Se analizaron imágenes diarias obtenidas para el período 2007-2018 desde las cuales se realizaron productos mensuales siguiendo la metodología propuesta por Marcotte (1991). Todos estos procedimientos fueron implementados para realizar los siguientes análisis: i) campos espaciales de la climatología mensual de ambas variables; ii) análisis del ciclo anual de ambas variables al interior de bahía Quintero (detección del máximo y mínimo anual); iii) análisis de series de tiempo al interior de bahía Quintero, periodo 2007-2018.

4.3.3 Idoneidad de las estaciones de muestreo

Con la información espacial recopilada de cada UF, fue posible en una primera etapa conocer el diseño de cada programa, en especial lo que tiene relación con las estaciones de impacto vs estaciones control, trazabilidad de las estaciones monitoreadas en las diferentes matrices ambientales, y el posicionamiento de las estaciones en relación a la batimetría de la bahía. Adicionalmente, y como una forma de complementar el análisis espacial, se adquirió la batimetría

de bahía Quintero directamente desde el sitio web del Centro Nacional de Datos Hidrográficos de Chile (CENDHOC) del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Finalmente, se entregan recomendaciones las cuales se espera contribuyan a mejorar los diseños de los programas de vigilancia ambiental evaluados en esta bahía. La información georreferenciada asociada a los puntos de muestreo para cada UF analizada, y la batimetría de bahía Quintero se entrega en el **Anexo Digital 03.**

4.4 Reuniones y talleres

4.4.1 1º Reunión Consultores-MMA

Se efectuó una reunión inicial con la contraparte técnica, en la cual se presentó y discutió los aspectos metodológicos más relevantes para llevar a cabo el estudio. En esta instancia se solicitó al mandante el total de información y bases de datos de los establecimientos que cuentan con PSBQ y que deben ser incorporados en el proyecto.

4.4.2 2º Reunión Consultores-MMA

Una vez entregado el primer informe de avance, considerando las respectivas correcciones del mandante, se efectuó una segunda reunión con la contraparte técnica, donde se presentaron los resultados asociados al primer objetivo específico del proyecto.

4.4.3 Revisión y aprobación del informe final por contraparte técnica

Una vez efectuadas todas las actividades comprometidas en el presente proyecto, se elaboró el Informe Final, considerando además la entrega de la totalidad de las bases de datos generadas durante el presente proyecto. Posteriormente, y una vez recibidas las observaciones de la contraparte, estas fueron incorporadas en la presente versión denominada Informe Final Corregido.

4.4.4 Taller de cierre

En conjunto con la entrega del Informe Final Corregido, se programó el taller final de resultados, en el cual se invitarán a los actores locales relevantes que estime la contraparte técnica. El taller se efectuará en la ciudad de Santiago el día 17 de diciembre de 2019, el cual está siendo coordinado en conjunto con el mandante.

5 RESULTADOS

5.1 Generales

5.1.1 Primera reunión de coordinación

El día jueves 18 de julio de 2019, se efectuó la primera reunión con la Subsecretaria del Medio Ambiente. En esta reunión, se presentaron los alcances metodológicos expuestos en la propuesta técnica, y se solicitó la información de los Informes de Seguimiento Ambiental de establecimientos con Resolución de Calificación Ambiental Favorable (RCA) y de establecimientos que se encuentran bajo control y seguimiento sectorial, por parte de los organismos competentes (e.g. Programa Mínimo de Evaluación de Impacto Ambiental de DIRECTEMAR). Finalmente, se discutió respecto de los plazos para presentar los informes y contenidos del primer informe de avance.

5.1.2 Segunda reunión de coordinación

El día martes 15 de octubre de 2019, se efectuó la segunda reunión con la Subsecretaria del Medio Ambiente. En esta reunión, se presentaron los resultados del informe de avance corregido, el cual contenía básicamente los resultados asociados al primer objetivo especifico del proyecto incluyendo las correcciones y recomendaciones efectuadas por la contraparte técnica. Adicionalmente, se discutió respecto de los plazos para presentar el informe final.

5.2 OE 1. Análisis crítico y de tendencia para parámetros fisicoquímicos, biológicos y otros, si corresponde, señalados en los Informes llevados a cabo en razón de los Planes de Seguimiento Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero (en adelante, Informes PSBQ).

5.2.1 Recopilación y sistematización de información

En la **Tabla 1** se entrega una síntesis de la información disponible, y sobre la cual se efectuaron los análisis que son presentados en este informe. La información disponible presenta ausencia de campañas para la mayoría de los programas analizados, en especial la información previa al 2012. Sólo en los casos de CT AES GENER U1 Y U 2 (48 Informes) PLANTA GASMAR (1 informe), TERMINAL MARÍTIMO OXIQUIM S.A. (71 informes) y PTAS Y EMISARIO SUBMARINO QUINTERO (11 informes), la información esta disponible desde la primera campaña.

Tabla 1. Resumen de la información disponible de las unidades fiscalizables presentes en Bahía Quintero.

UF	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
CT AES GENER U3																				2	4	4	4	4	5		23
CT AES GENER U4																				4	4	4	4	4	4		24
CT AES GENER U1U2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		48
TM VENTANAS																				4	4	3	3	3	2		19
CODELCO VENTANAS																			1	2	2	2	2	1	4		14
PTA GASMAR																										1	1
TM OXIQUIM		3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	1	71
TM ENAP																	2	2	2	2	2	2	2	2	2		18
TM GNL QUINTERO																				6	3	4	4	4	4	1	26
TM COPEC																			1	2	2	1	2	2	1		11
PESQ QUINTERO																						1		1			2
PTAS ESVAL																			2	1	1	2	1	3	1		11

En la **Tabla 2**, se entrega el total de matrices con información disponible para las 12 unidades fiscalizables. Se puede apreciar que hidrografía, agua, sedimentos y macrofauna, son las matrices que presentan un grado de transversalidad mayor, es decir, que se analizan en prácticamente todos los programas. Por el contrario, matrices como corrientes, organismos, fitoplancton, zooplancton, megafauna y bioensayos, son analizados sólo en algunos casos.

Tabla 2. Transversalidad de las matrices analizadas para cada Programa de Seguimiento Ambiental en Bahía Quintero.

UF	HIDROGRAFIA	CORRIENTES	AGUA	SEDIMENTOS	ORGANISMOS	MACROFAUNA	FITOPLANCTON	ZOOPLANCTON	MEGAFAUNA	BIOENSAYOS	TOTAL
CT AES GENER U3	1	1	1	1		1	1	1			7
CT AES GENER U4	1	1	1	1		1	1				6
CT AES GENER U1U2	1		1	1							3
TM VENTANAS	1		1	1		1					4
CODELCO VENTANAS				1	1	1					3
PTA GASMAR			1	1		1				1	4
TM OXIQUIM	1		1	1		1			1		5
TM ENAP	1		1	1		1					4
TM GNL QUINTERO	1		1	1		1	1	1	1	1	8
TM COPEC			1	1		1					3
PESQ QUINTERO	1		1	1		1					4
PTAS ESVAL	1	1	1	1		1			1		6

Adicionalmente, de las 12 unidades fiscalizables que forman parte del presente informe, existen 4 cuyo requerimiento normativo corresponde a Ordinarios de la Autoridad Marítima; mientras que el resto de las unidades fiscalizables presentan Resoluciones Exentas (R. Ex.) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA). Para mayor comprensión, en la **Tabla 3**, se entrega una síntesis, de los instrumentos que rigen el cumplimiento normativo de cada una de las unidades fiscalizables.

Tabla 3. Cuerpos normativos que rigen los diferentes programas de vigilancia ambiental en Bahía Quintero.

UF	Requerimientos normativos
COMPLEJO TERMOELÉCTRICO VENTANAS UNIDAD 3	RCA 1124/2006 y RCA 1632/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso (actualmente Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Valparaíso).
COMPLEJO TERMOELÉCTRICO VENTANAS UNIDAD 4	Resolución de Calificación Ambiental N°275 del 26 de febrero de 2010 (RCA N°275/2010) de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso (actualmente Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Valparaíso).
PSBQ TERMOVENTANAS 1 Y 2	DIM y MAA Ord. Nº12.600/766
PUERTO VENTANAS S. A	Resolución Exenta No 026/2003 (proposición de fusión de los Planes de Vigilancia Ambiental) que modifica la resolución exenta No 01/1999 de la COREMA - V Región. Ordinario No 149/2001 de fecha 30 de enero de 2001 emitido por la Dirección General de Aguas de la Quinta Región
CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS	Ordinario Nº12.600/2762 de noviembre de 1992 (DIRECTEMAR). Ordinario Nº12.600/130 de noviembre de 1999 (DIRECTEMAR). RCA 161/2004 “Planta de tratamiento de RILES de fundición y refinería Ventanas”, referente a lo indicado en su numerando N°5 que establece como compromiso voluntario: “El titular continuará con el Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) acordado con la DIRECTEMAR, en cumplimiento a lo especificado en la resolución Ord. No12.600/2762 y N°12.600/130 de noviembre 1992 y agosto de 1999, respectivamente.
PLANTA GASMAR QUINTERO	ORD. N° 12.600/05/230 del 16 de febrero de 2018 de la D.G.T.M. Y MM.
TERMINAL MARÍTIMO OXIQUIM S.A.	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante mediante DIM y MAA. ORD. N°12600/940/OXIQUIM de fecha 4 de octubre de 1994 y que luego fue nuevamente reformado por medio de C.P. QUINTERO ORD. No12.600/93 de fecha 31 de agosto de 1999, y G.M. VALP. ORD. No12600/02/SMA/350/OXIQUIM de junio de 2006.
TERMINAL MARÍTIMO DE QUINTERO ENAP	RCA N°584/2000 Quintero “Fondeadero marítimo para barcazas Bahía Quintero. RCA N°616/2001 Quintero Aumento de la capacidad de almacenamiento de petróleo crudo en terminal quintero. RCA N°053/2005 Quintero mejoramiento sistema de tratamiento de riles en Terminal Quintero.
TERMINAL MARÍTIMO GNL-QUINTERO	Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 323/2005, del 29 de noviembre de 2005. Posteriormente, por Resolución Exenta N°28 del 5 de febrero de 2013 "Modificación de la Descarga de CLR fuera de ZPL en Terminal GNL Quintero", incorpora dos nuevas estaciones cercanas a la aducción y descarga.
TERMINAL MARÍTIMO DE QUINTERO COPEC	Resolución Exenta No 0239/2004 de la COREMA, Región de Valparaíso.
PESQUERA QUINTERO	Resolución Ordinario N°12.600/355. RCA N°07 del 05 de enero de 2000, Comisión Nacional del Medio Ambiente Región de Valparaíso.
PTAS Y EMISARIO SUBMARINO QUINTERO	R. Ex. 3/2004

5.2.2 Obtención de información territorial

Bahía Quintero es una zona donde confluyen usos territoriales diversos. Junto a las ya conocidas empresas que operan en el borde costero, también existen otros usos como la presencia de 6 Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), decretadas en las cercanías de la bahía, a saber: Farallones de Quintero, Horcón, Ventanas Punta Lunes, Embarcadero, Norweste Península Los Molles y El Papagallo (**Figura 1**).

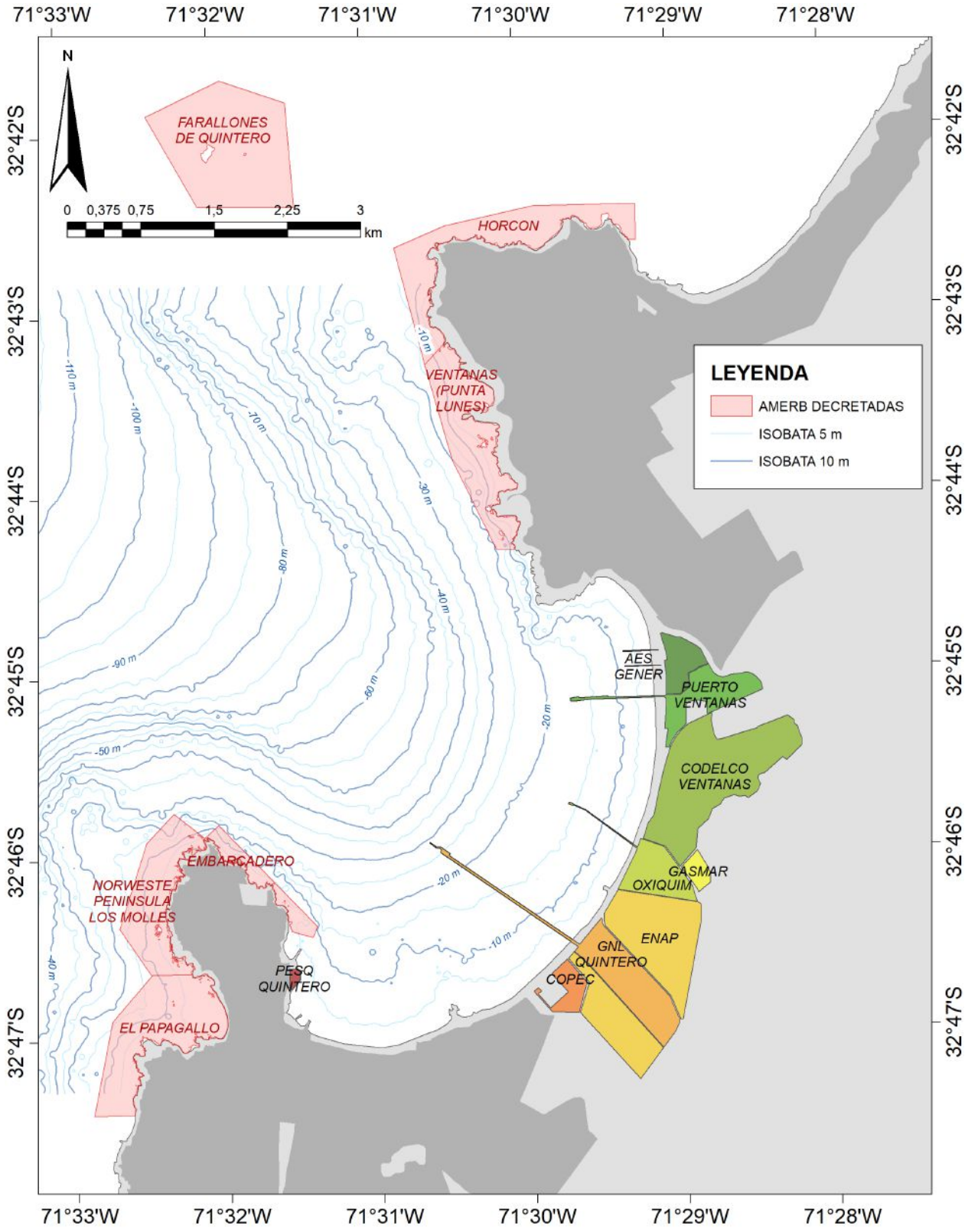


Figura 1. AMERB decretadas en Bahía Quintero.

En las secciones siguientes se entrega el análisis estadístico para cada una de las unidades fiscalizables, independientemente. En todos los casos, la información presentada incluye un mapa con la ubicación de los puntos de monitoreo, las matrices (o subprogramas) analizadas en cada PVA/PSA, los parámetros que son medidos en cada una de las matrices, una sección de análisis estadístico descriptivo y una sección de análisis espacio - temporales.

5.2.3 AES GENER S.A UNIDAD 3. Programa Semestral

5.2.3.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figuras 2** y **3** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo del Complejo Termoeléctrico Ventanas AES GENER S.A UNIDAD 3. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que la mayoría de las estaciones se encuentra muy cerca de la costa (la mayoría en la profundidad menor a 20 m), y próximos a emisarios submarinos de otras UF existentes en el sector, exceptuando el punto de control que se ubica al norte de la bahía. Los puntos asociados al lanzamiento de derivadores, simulan una transecta en dirección W-E, mientras que las estaciones para la pluma térmica en su mayoría son más costeras aún. En este programa no se analiza el ambiente intermareal.

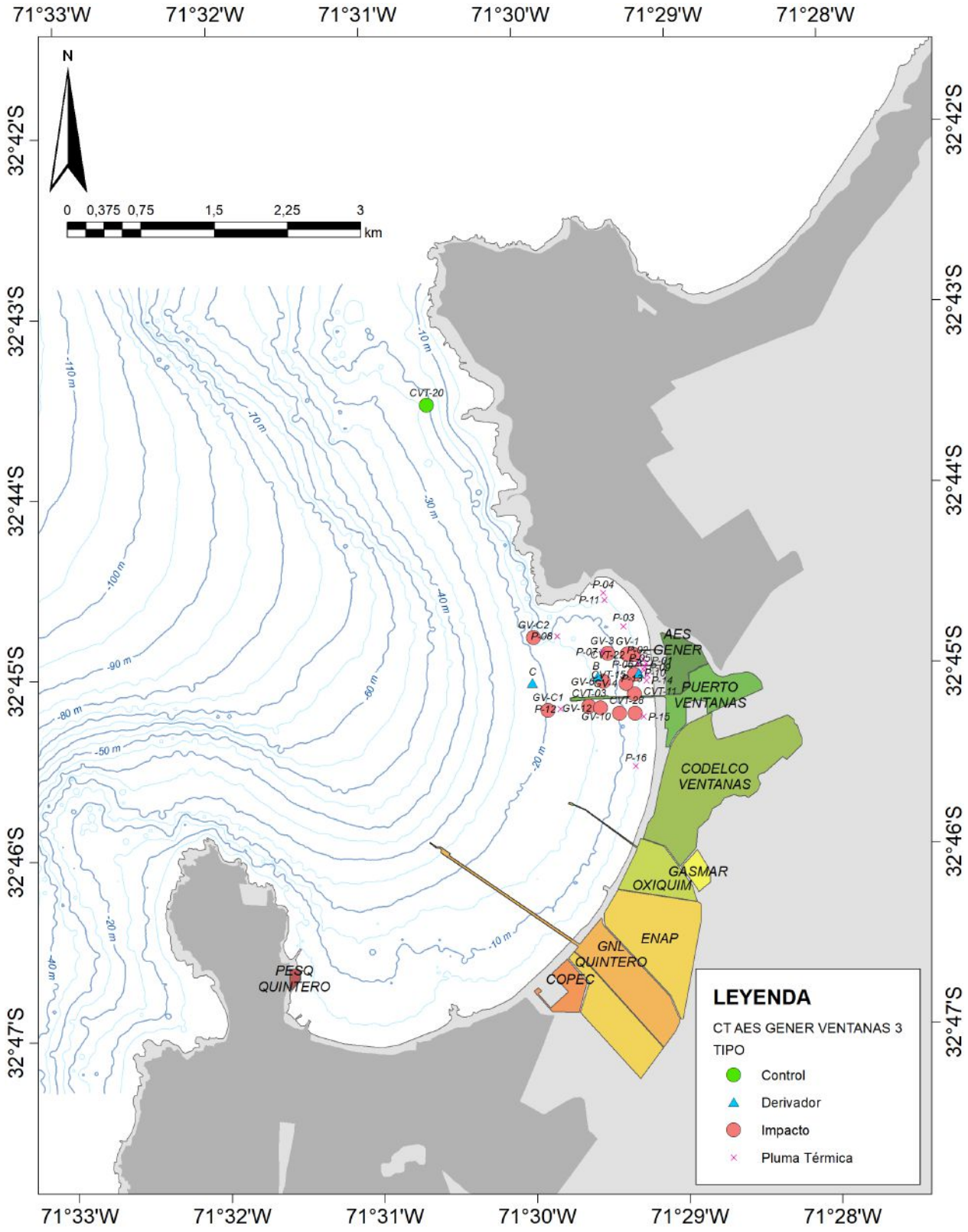


Figura 2. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3.

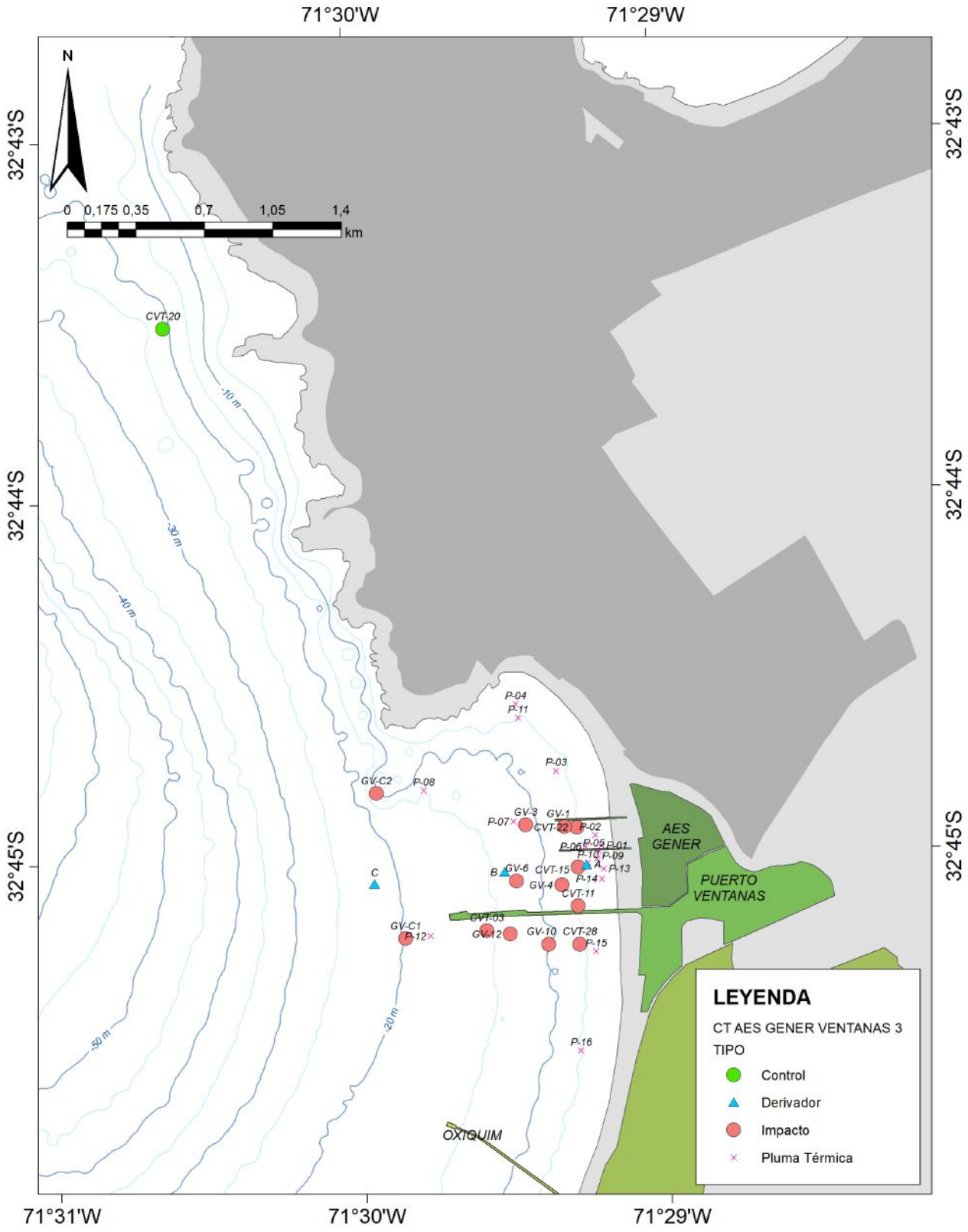


Figura 3. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3 (Zoom).

5.2.3.2 Matrices analizadas

La información recopilada para el Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3, consta de 14 estaciones submareales (13 de impacto; 1 control), 16 estaciones donde se efectúa un perfil de temperatura (pluma térmica; P1-P16) y 3 estaciones de correntometría lagrangiana (derivadores) (**Tabla 4**). Cabe destacar que esta entidad presenta a la Autoridad Ambiental dos Programas de Monitoreo, uno de frecuencia semestral, donde se analizan las matrices hidrografía, corrientes, calidad de agua submareal, calidad de sedimento submareal e intermareal, análisis de comunidades de macrofauna submareal e intermareal, comunidades del fito y zooplancton y; otro de frecuencia trimestral donde se analiza solamente hidrografía y calidad de agua. En análisis aquí presentado se hace en forma independiente para las campañas semestrales y trimestrales.

Tabla 4. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3. X* corresponde a estaciones que forman parte del Programa Trimestral de AES GENER UNIDAD 3.

EST	TIPO	CORRIENTES	HIDROG	PLUMA TÉRMICA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA	FITOPLANCTON	ZOOPLANCTON
CVT-03	Impacto		X*		X*	X	X		
CVT-11	Impacto		X*		X*	X	X		
CVT-15	Impacto		X*		X*	X	X		
CVT-20	Control		X*		X*	X	X		
CVT-22	Impacto		X*		X*	X	X		
CVT-28	Impacto		X*		X*	X	X		
GV-1	Impacto		X		X			X	X
GV-3	Impacto		X		X			X	X
GV-4	Impacto		X		X			X	X
GV-6	Impacto		X		X			X	X
GV-10	Impacto		X		X			X	X
GV-12	Impacto		X		X			X	X
GV-C1	Impacto						X		
GV-C2	Impacto						X		
P-01	Impacto			X					
P-02	Impacto			X					
P-03	Impacto			X					
P-04	Impacto			X					
P-05	Impacto			X					
P-06	Impacto			X					
P-07	Impacto			X					
P-08	Impacto			X					
P-09	Impacto			X					
P-10	Impacto			X					
P-11	Impacto			X					
P-12	Impacto			X					
P-13	Impacto			X					
P-14	Impacto			X					
P-15	Impacto			X					
P-16	Impacto			X					
A	Derivador	X							
B	Derivador	X							
C	Derivador	X							

5.2.3.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 5** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 5 variables, a saber: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH. Para corrientes se mide la dirección y magnitud de la corriente. En calidad de agua, los parámetros monitoreados corresponden a transparencia, pH, oxígeno disuelto e hidrocarburos aromáticos totales. En sedimentos se analizan solamente los parámetros granulométricos. Finalmente, en comunidades, se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón, salvo para fitoplancton donde solo se cuantifica la abundancia.

Tabla 5. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Profundidad	m	Prof
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	Saturación de Oxígeno	%	Osat
Hidrografía	pH	Unidades	pH
Pluma	Pluma Térmica	ºC	PlumTerm
Calidad agua	Transparencia	m	Trans
Calidad agua	pH	unidades	pH
Calidad agua	Oxigeno Disuelto	mg/L	Odis
Calidad agua	Saturación de Oxígeno	%	Osat
Calidad agua	Hidrocarburos Aromáticos Totales	mg/L	HAT
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Limo arcilla	%	LA
Calidad sedimentos	Tamaño promedio de grano	mm	M
Calidad sedimentos	Tipo de grano	Descriptivo	Tip_M
Calidad sedimentos	Desviación Estándar Gráfica Inclusiva	-	DEGI
Calidad sedimentos	Tipo de clasificación	Descriptivo	Tip_DEGI
Calidad sedimentos	Simetría	-	Sk1
Calidad sedimentos	Tipo de simetría	Descriptivo	Tip_Sk1
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B
Fitoplancton	Abundancia	ind/m3	N
Zooplancton	Abundancia	ind/m3	N
Corrientes	Marea	Descriptivo	Vaciante-Llenante
Corrientes	Profundidad	m	Prof
Corrientes	Hora	Hora: Min	Hora
Corrientes	Coordenada Este	UTM	E
Corrientes	Coordenada Norte	UTM	N
Corrientes	Distancia Tramo	m	Dist
Corrientes	Mag. Tramo	cm/s	Magn
Corrientes	Rec. Total	m	RecTot
Corrientes	Rec. Neto	m	RecNet
Corrientes	Magnitud Media	cm/s	MagMed
Corrientes	Magnitud Neta	cm/s	MagNet
Corrientes	Newman	%	New
Corrientes	Magnitud del viento	m/s	Vientos
Corrientes	N (Dirección)	%	N
Corrientes	NE (Dirección)	%	NE
Corrientes	E (Dirección)	%	E
Corrientes	SE (Dirección)	%	SE
Corrientes	S (Dirección)	%	S
Corrientes	SO (Dirección)	%	SO
Corrientes	O (Dirección)	%	O
Corrientes	NO (Dirección)	%	NO
Corrientes	Frecuencia	%	Frec

5.2.3.4 Estadística descriptiva

5.2.3.4.1 Hidrografía

Se analizaron los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH. La temperatura osciló entre 11,22ºC y 21,59ºC, con una media de 13,48ºC, y un coeficiente de variación del 10%. El oxígeno disuelto osciló entre 1,37 mg/L y 11,25 mg/L, con una media de 6,75 mg/L, y un coeficiente de variación del 28%. La saturación de oxígeno disuelto fluctuó entre 15,8% y 142,9%, con una media de 80,36% y un coeficiente de variación del 31%. El pH fluctuó entre 3,58 y 11,1, con una media de 7,7 y un coeficiente de variación del 10%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 6**).

Tabla 6. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	2816	11,22	21,59	13,48	1,32	10%	0,9481	0,0000
Odis	mg/L	1872	1,37	11,25	6,75	1,92	28%	0,9290	0,0000
Osat	%	1872	15,8	142,9	80,36	24,91	31%	0,9602	0,0000
pH	Unidad	1615	3,58	11,11	7,77	0,76	10%	0,6595	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.3.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 6**.

En las **Figuras 4 a 7** se entrega el análisis de los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH. Para temperatura, se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad, en general la mayor variabilidad se observa en los primeros metros de profundidad, y a partir de los 10 m la columna de agua tiende a homogenizarse, existiendo una mayor variabilidad en el cuarto trimestre de cada año. Para el oxígeno disuelto, se observa una alta variabilidad entre estaciones y una tendencia descendente a medida que aumenta la profundidad, salvo el Trimestre 4 del año 2016 y los Trimestre 2 y 4 del año 2018. La saturación de oxígeno disuelto presenta también una alta variabilidad entre estaciones y una tendencia a disminuir con la profundidad, excepto el Trimestre 4 del año 2016 y el Trimestre 2 del año 2018. Finalmente, el pH presenta un patrón homogéneo en la columna de agua y entre estaciones, salvo en el Trimestre 4 del año 2018.

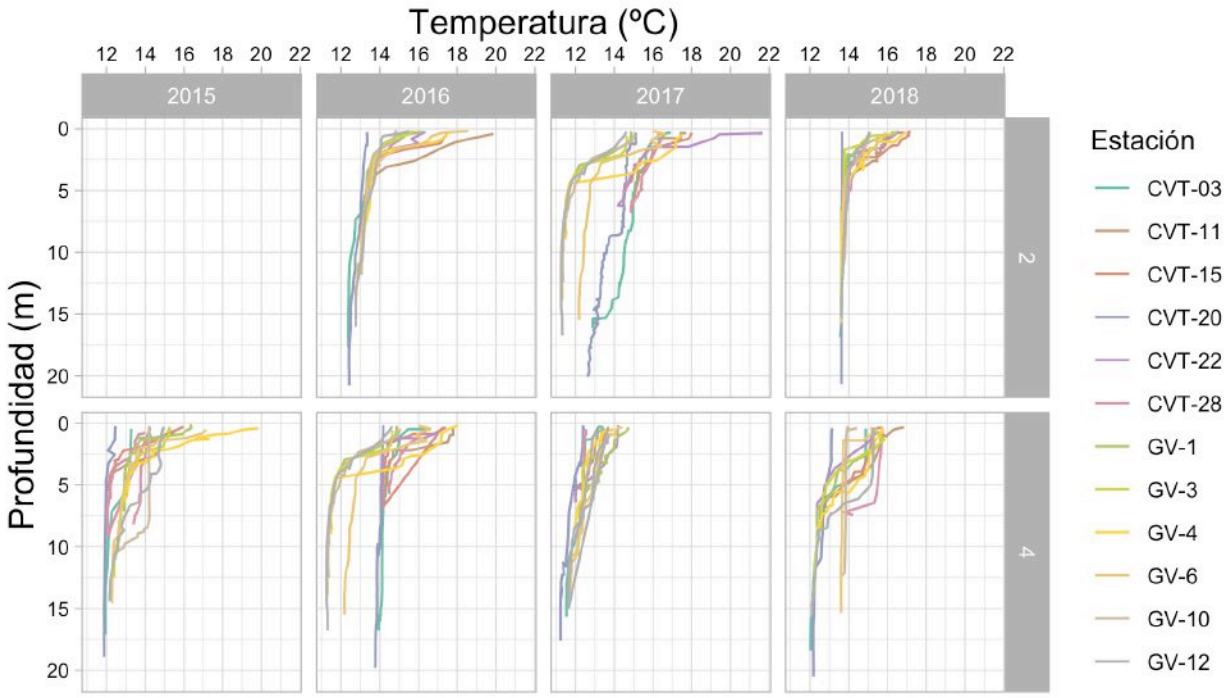


Figura 4. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

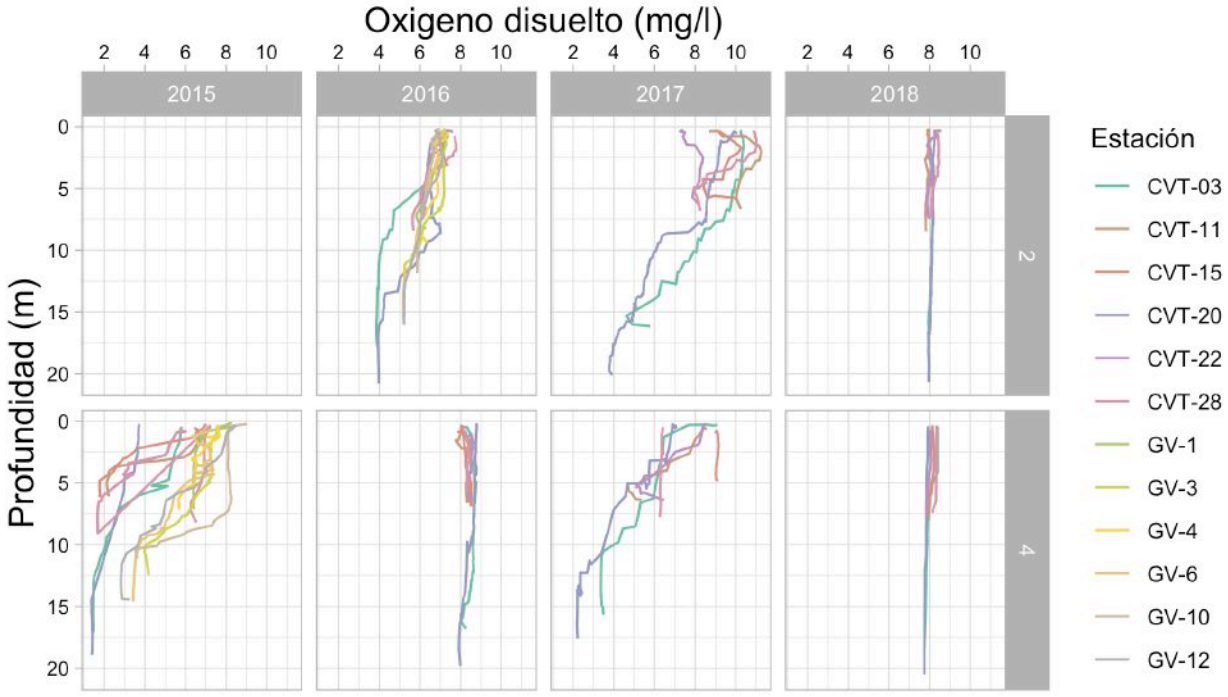


Figura 5. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

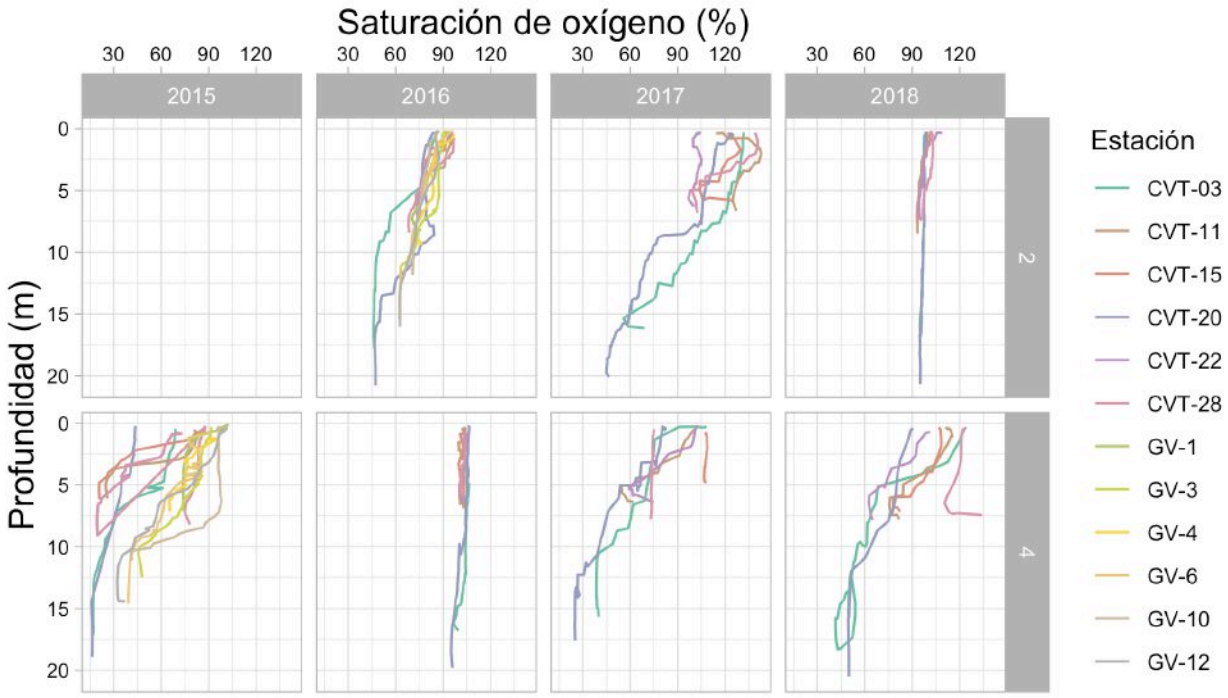


Figura 6. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

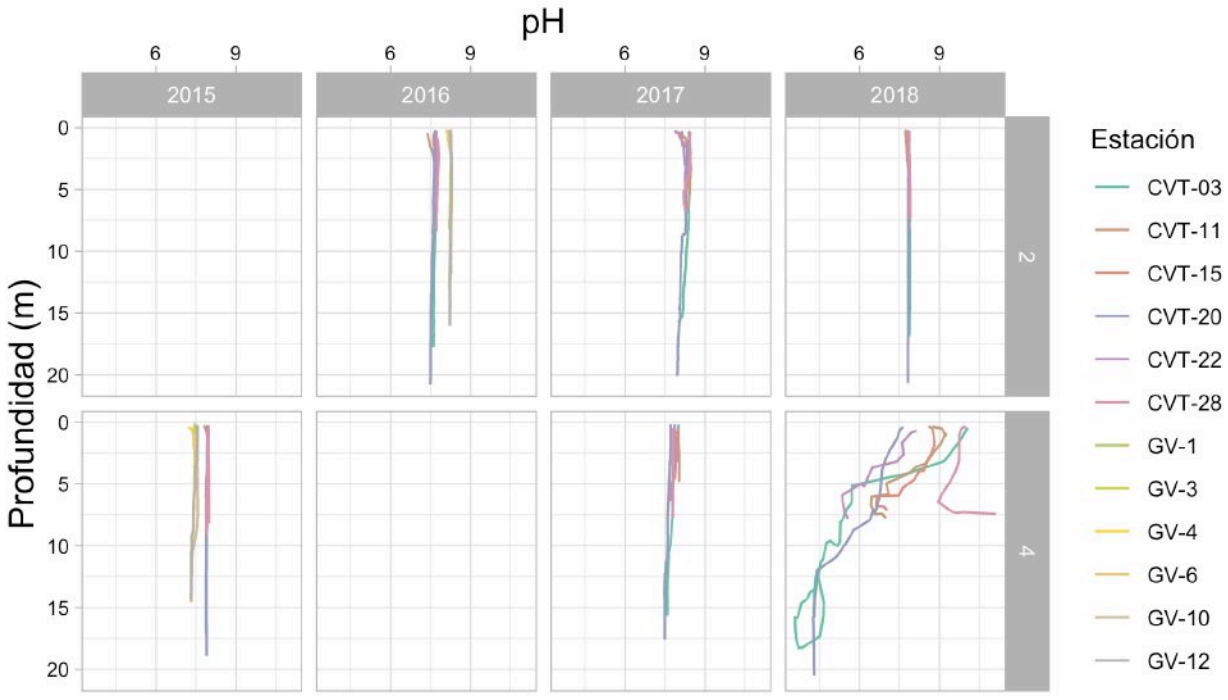


Figura 7. Perfiles de pH para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

5.2.3.4.2 Pluma térmica

Se registró el parámetro temperatura, en 16 puntos de bahía Quintero (P1 a P16) y entre los 0 y 20 m de profundidad. La temperatura osciló entre 11,57ºC y 21,6ºC, con una media de 14,01ºC, y un coeficiente de variación del 11%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 7**).

Tabla 7. Resumen de estadística descriptiva de la pluma térmica.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
PlumTerm	ºC	3272	11,57	21,6	14,01	1,61	11%	0,8975	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.3.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 7**.

En la **Figura 8** se entrega el análisis de la temperatura, por estación, observándose una disminución a medida que aumenta la profundidad. En general, la mayor variabilidad se observa en los primeros 5 metros de profundidad, y a partir de los 10 m la columna de agua tiende a homogenizarse. Se observa el mismo patrón en todas las campañas analizadas.

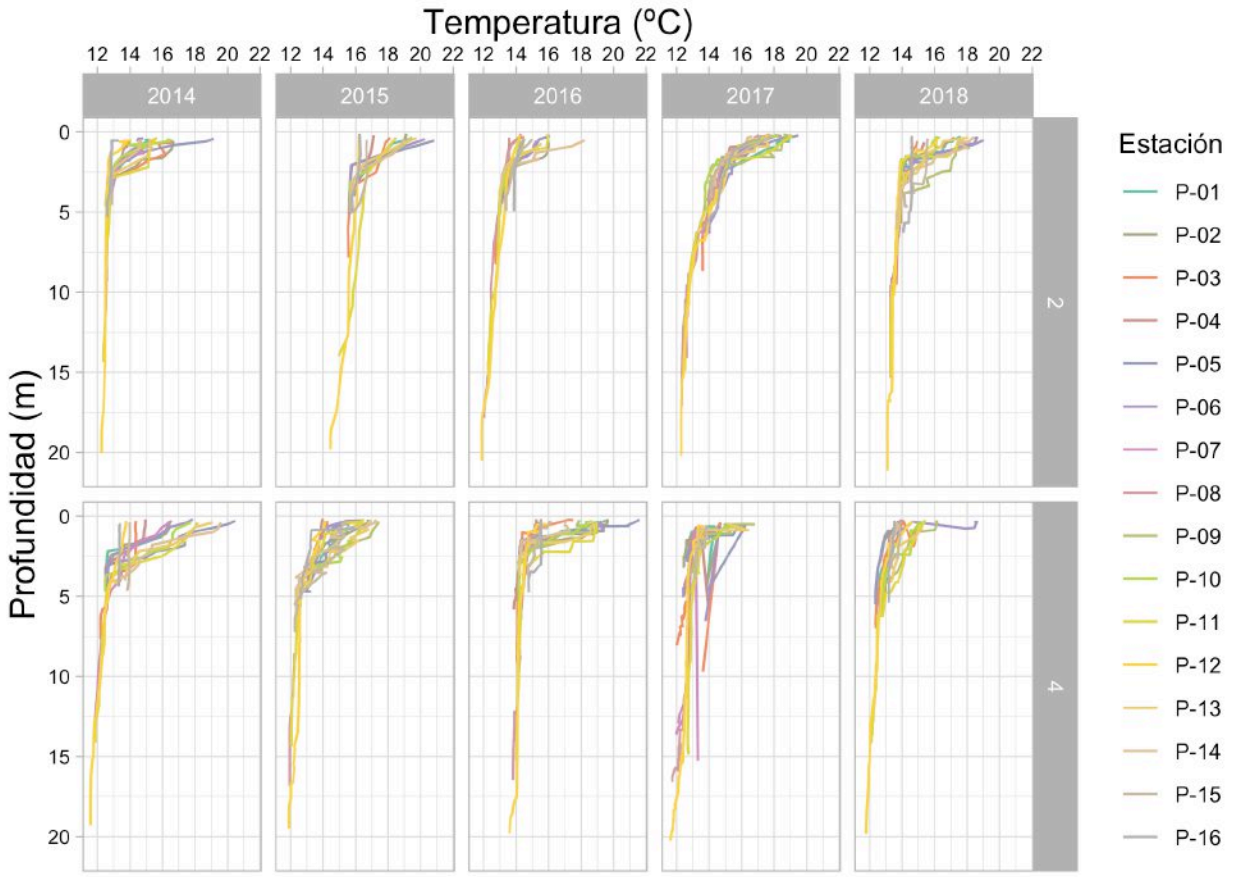


Figura 8. Perfiles de temperatura para las estaciones de la pluma térmica UF Ventanas 3, entre los años 2014 y 2018.

5.2.3.4.3 Calidad de agua

Se entregan los resultados de transparencia, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno e hidrocarburos aromáticos totales medidos en columna agua submareal (**Tabla 8**). La transparencia de la columna de agua osciló entre 2 y 11 m, con una media de 4,79 m, y un coeficiente de variación de 43%. El pH fluctuó entre 7,34 y 8,43, con una media de 7,91, y un coeficiente de variación de 3%. El oxígeno disuelto fluctuó entre 1,4 y 10,84 mg/L, con una media de 7,04 mg/L, y un coeficiente de variación del 32%. La saturación de oxígeno disuelto fluctuó entre 15,6 y 138,9%, con una media de 90%, y un coeficiente de variación del 28%. Para hidrocarburos aromáticos totales, los datos presentaron una alta variabilidad, con mínimos de 0,0001 y máximos de 0,5776 mg/L, una media de 0,01 mg/L y un coeficiente de variación superior al 300%. Para este parámetro el 79% de los datos estuvo bajo los límites de detección (%BLD).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 8. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
Trans	m	69	2	11	4,79	2,08	43%	0,9380	0,0019	-
pH	Unidad	144	7,34	8,43	7,91	0,25	3%	0,9858	0,1469	-
Odis	mg/L	144	1,4	10,84	7,04	2,25	32%	0,8856	0,0000	0%
Osat	%	132	15,6	138,9	90,00	25,12	28%	0,8944	0,0000	-
HAT	mg/L	144	0,0001	0,5776	0,01	0,05	393%	0,2271	0,0000	79%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.3.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 8**.

En las **Figuras 9** a **13** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2013 y 2018. Para la transparencia (**Figura 9**) se observa alta variabilidad entre las campañas y entre estaciones de muestreo, con niveles que fluctúan mayormente entre los 3 y 10 m. Se destacan mayores niveles de transparencia en la estación CVT-20 y menores transparencias en CVT-28. En el caso del pH (**Figura 10**), sólo se observan datos hasta las campañas del año 2015, con un patrón similar en todas las estaciones, y alta variabilidad entre campañas. Se observa una alta variabilidad entre las estaciones, siendo la estación CVT-03 la que presentó los mayores valores de pH, mientras que la CVT-15 presentó los menores valores de pH en superficie; mientras que en el fondo, la estación CVT-28 presentó los mayores valores de pH y la estación CVT-20 presentó los menores niveles de este parámetro. En cuanto al oxígeno disuelto (**Figura 11**), se observa una alta variabilidad entre estaciones y entre campañas, donde la estación CVT-22 presentó las mayores concentraciones en superficie y la CVT-11 las mayores concentraciones en el estrato de fondo. En cuanto a la saturación de oxígeno (**Figura 12**), se observa que los menores porcentajes de saturación se observaron en la estación CVT-20 en superficie y fondo. Para los hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 13**), se observa que la mayoría de las estaciones se encontraron bajo los límites de detección, salvo campañas previas al 2014, donde se observan peaks de este parámetro para las estaciones GV10, GV12 y GV6 en superficie y fondo, y en el año 2016, con peaks asociados GV-3 y GV6.

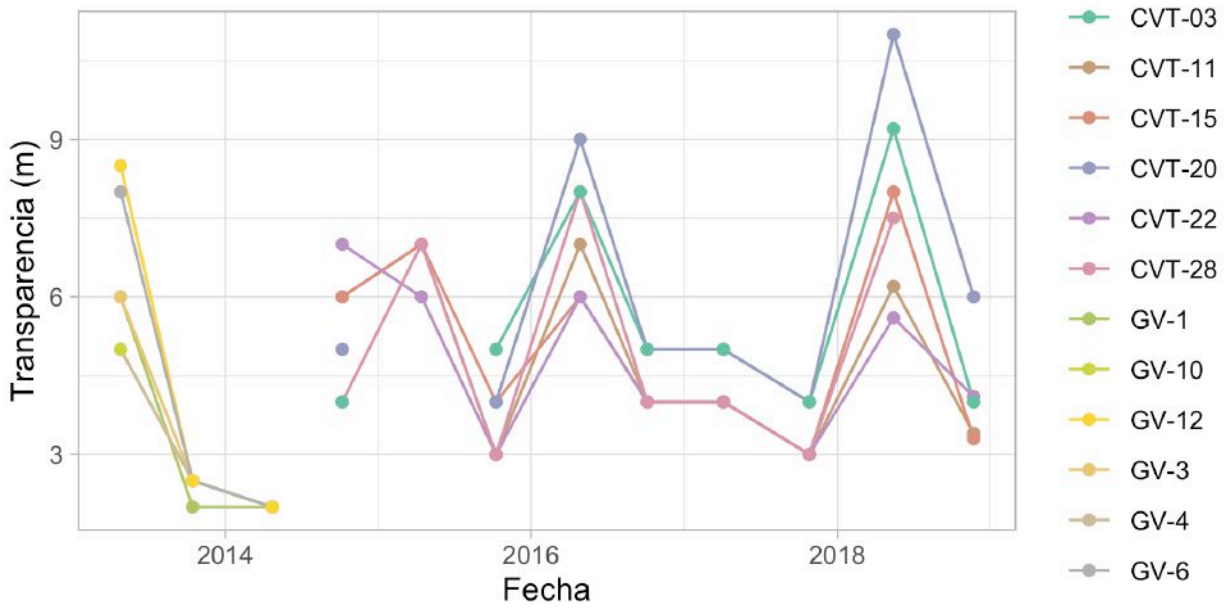


Figura 9. Niveles de transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2013 y 2018.

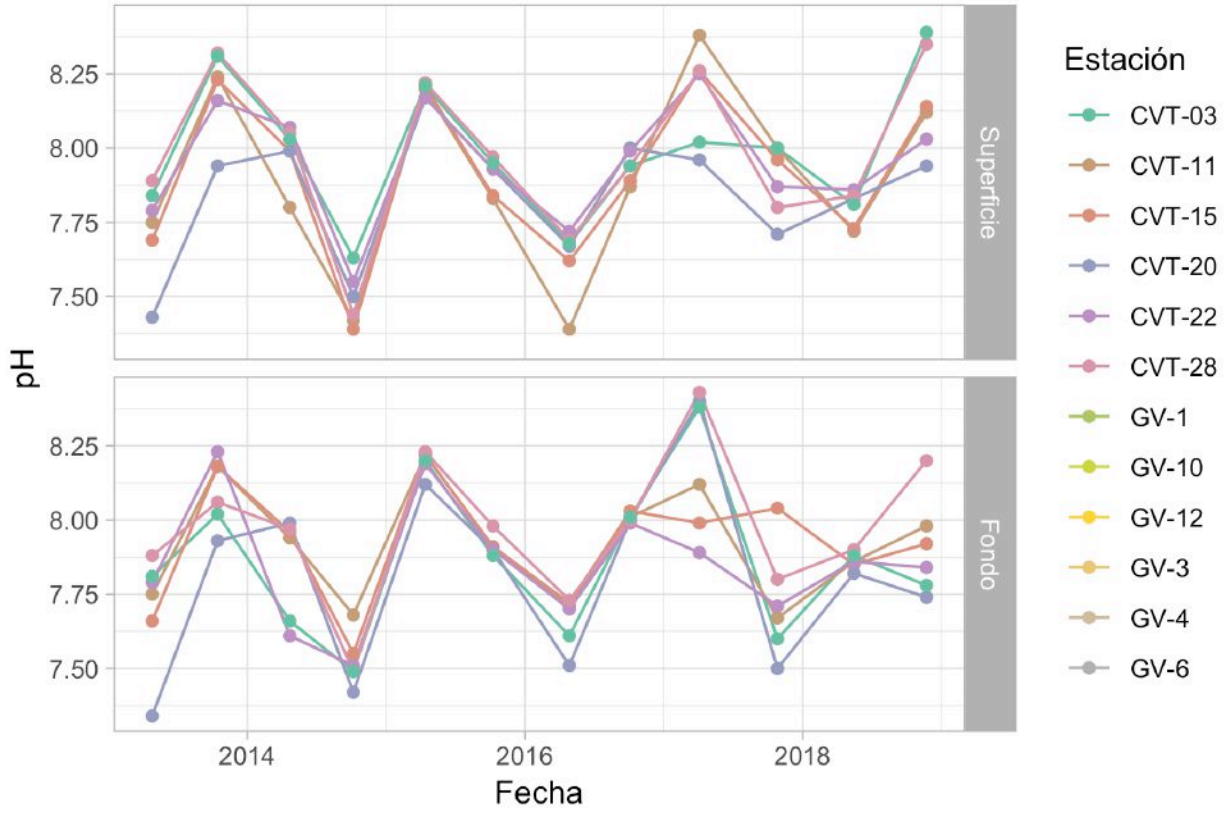


Figura 10. Niveles de pH en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018.

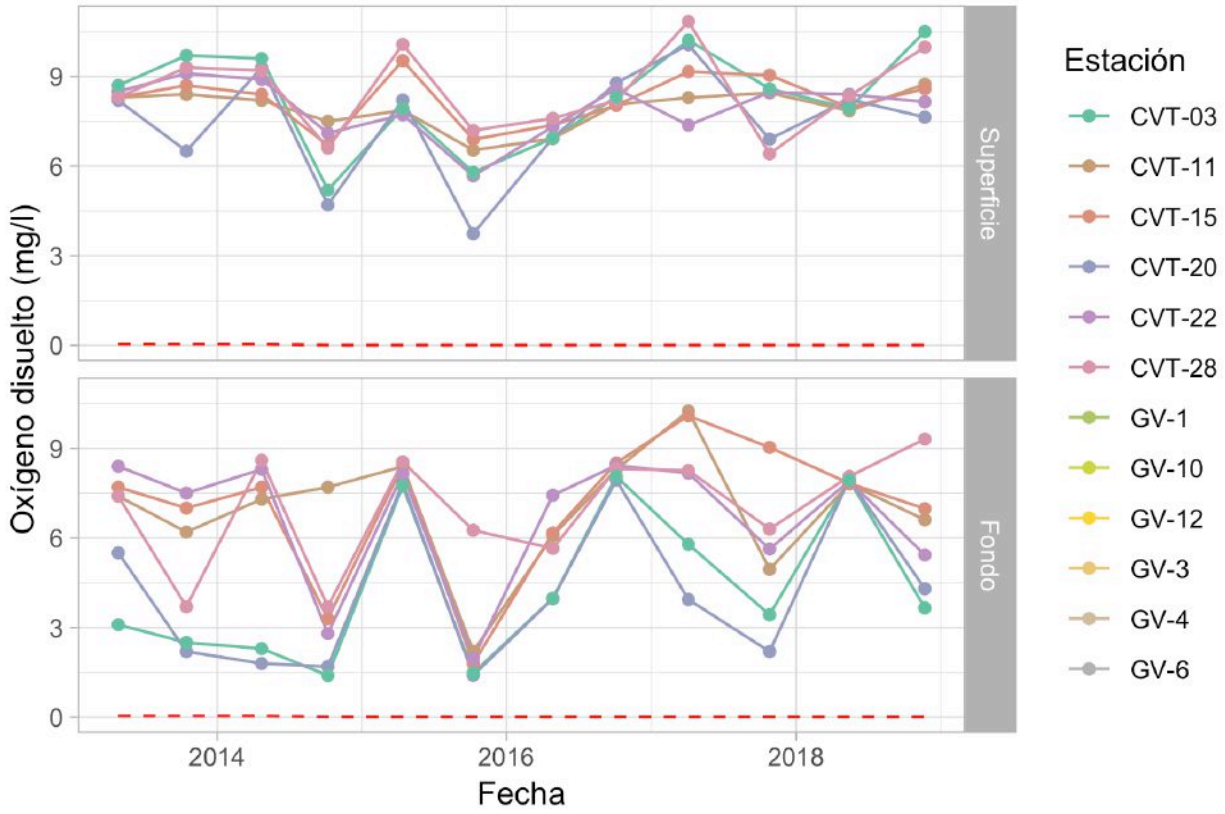


Figura 11. Niveles de oxígeno disuelto en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican cambios en los límites de detección.

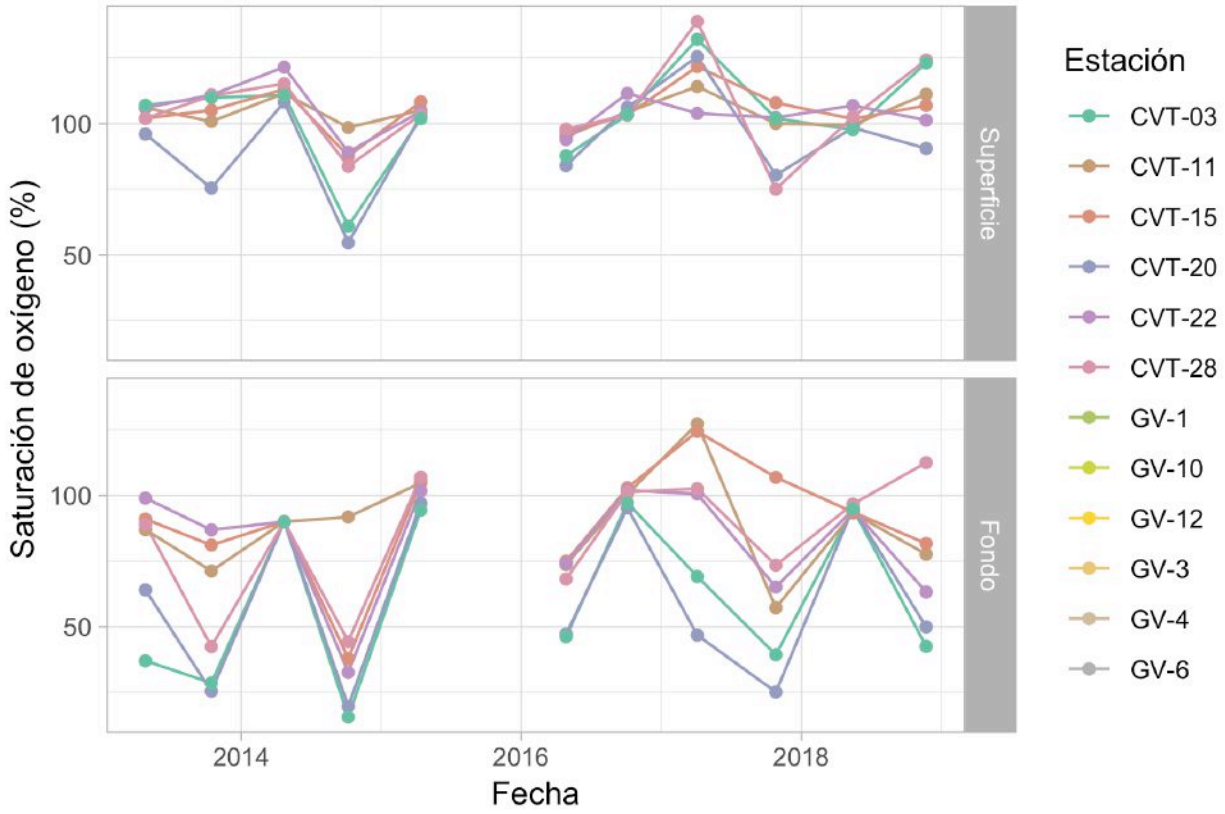


Figura 12. Niveles de saturación de oxígeno en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018.

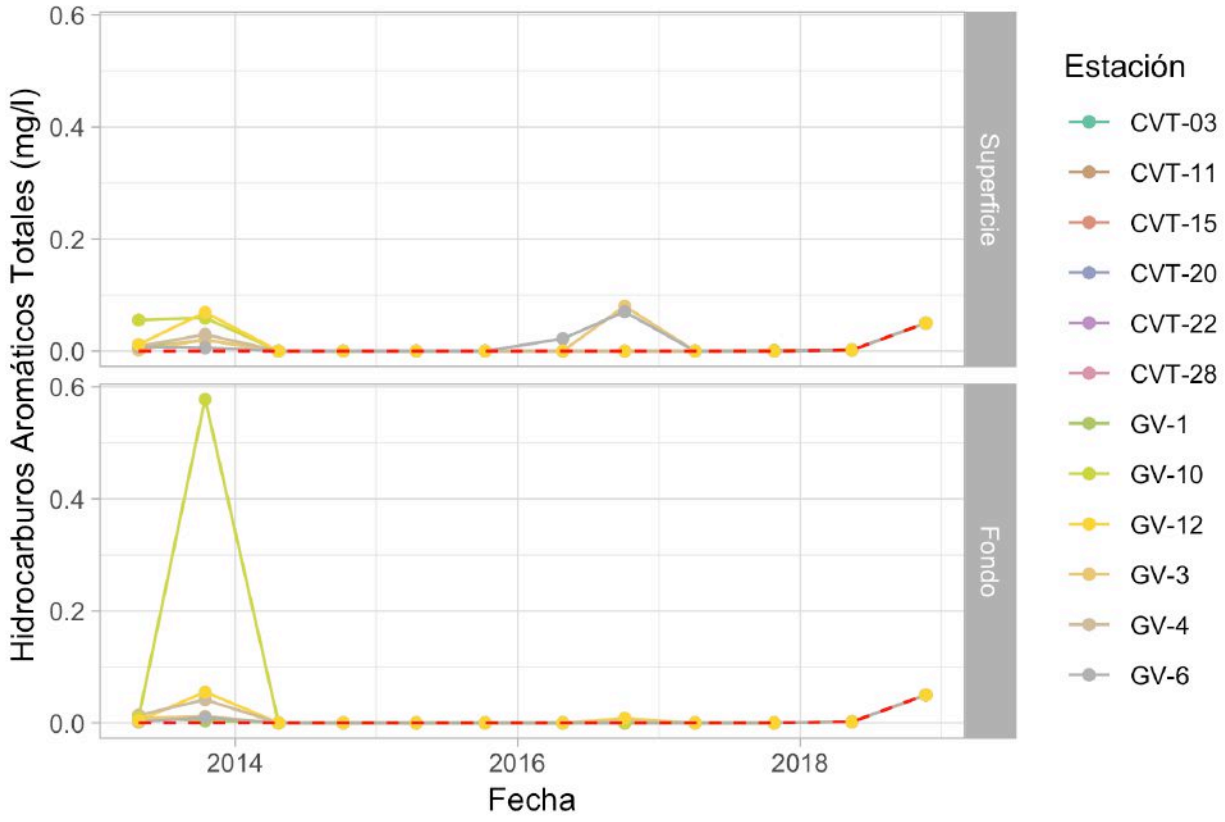


Figura 13. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican cambios en los límites de detección.

5.2.3.4.4 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 9**). En términos generales, los parámetros medidos presentan alta variabilidad, exceptuando arenas finas y arenas muy finas (AF y AMF), cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100%.

Tabla 9. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
CMF	%	54	0,010	51,82	3,286	10,043	306%	0,368	7,07E-14	-
AMG	%	71	0,010	53,64	3,894	11,758	302%	0,357	4,80E-16	-
AG	%	71	0,050	48,46	3,013	7,773	258%	0,385	1,06E-15	-
AM	%	71	0,570	21,52	4,224	4,610	109%	0,708	1,34E-10	-
AF	%	71	0,330	87,15	60,199	21,953	36%	0,845	4,05E-07	-
AMF	%	71	0,030	64,75	25,303	14,424	57%	0,974	1,56E-01	-
LA	%	71	0,010	33,93	0,866	3,998	462%	0,151	2,93E-18	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.3.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 9**.

En las **Figura 14** se entrega la composición de los sedimentos submareales para cada una de las estaciones y estratos analizados. Se observa una predominancia de arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF) en la mayoría de las estaciones. Solamente la estación CVT-20 presentó una composición diferente, especialmente en las campañas previas al 2018, donde predominan arenas muy gruesas (AMG) y cascajo muy fino (CMF).

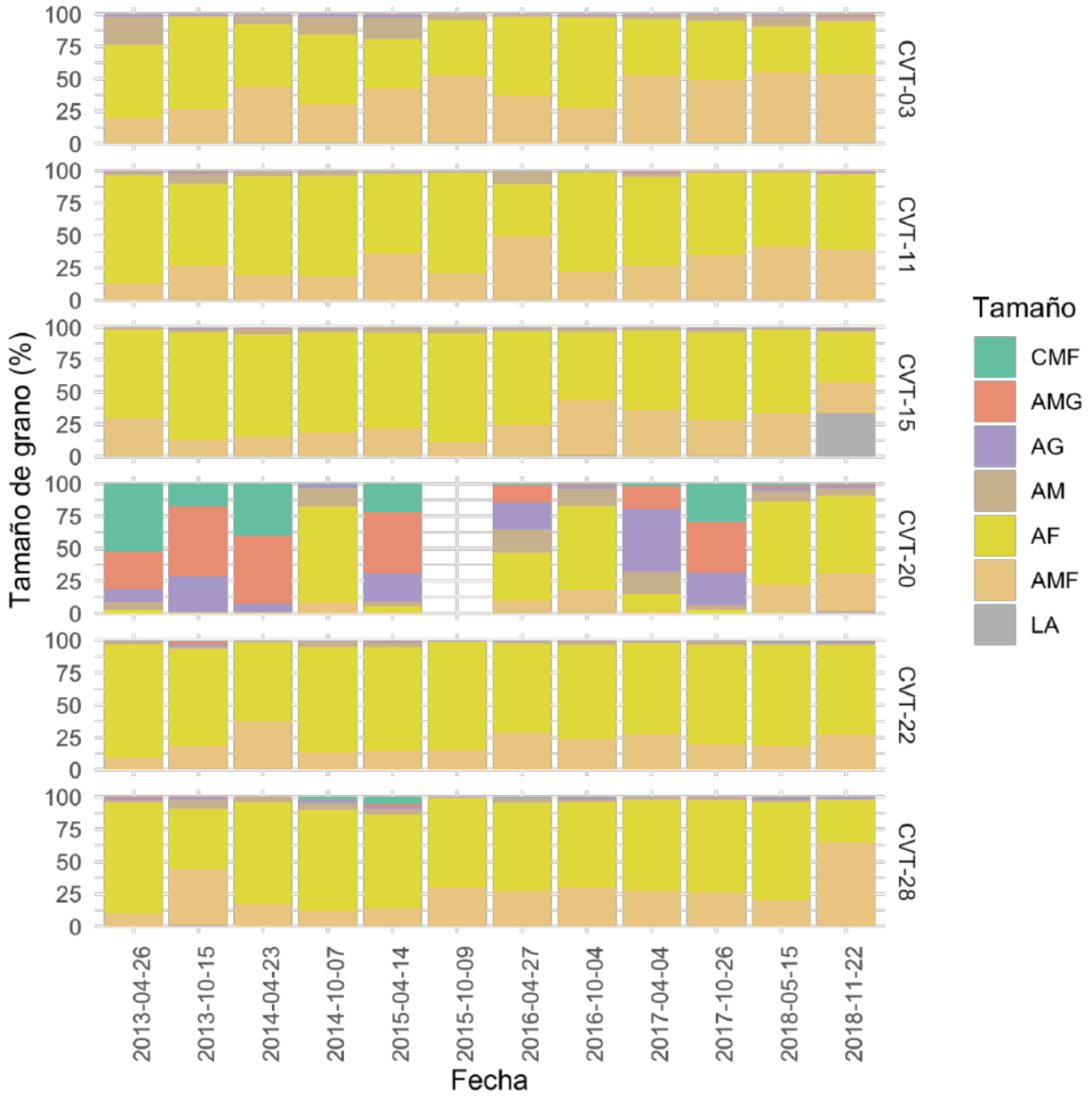


Figura 14. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2013 y 2018.

5.2.3.4.5 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal, y para los datos de abundancia para fitoplancton y zooplancton (**Tabla 10**).

Para el bentos submareal, la densidad observada osciló entre 0 y 978 ind/m^2; con una media de 7,67 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0 y 160,4 g/m^2, con una media de 0,94

g/m^2. En cuanto al fitoplancton, las abundancias oscilaron entre 100 y 3.320.000 ind/m^3, con una media estimada en 22.032,34 ind/m^3. Finalmente, para el zooplancton las abundancias oscilaron entre 2.014 y 2,018 ind/m^3, con una media de 2.016,47 ind/m^3.

Cabe destacar que la totalidad de los parámetros presentaron alta variabilidad. con coeficientes de variación superiores a 500%, excepto para zooplancton, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 10**).

Tabla 10. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos submareal	Abundancia	ind/m^2	1649	0	978	7,67	38,39	501%	0,1299	0,0000
	Biomasa	g/m^2	1648	0	160,4	0,94	8,84	944%	0,0797	0,0000
Fitoplancton	Abundancia	ind/m^3	1756	100	3320000	22.032,34	141.232,56	641%	0,1212	0,0000
Zooplancton	Abundancia	ind/m^3	906	2014	2018	2.016,47	1,34	0%	0,8648	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.3.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 10**.

Para el caso del bentos submareal, fitoplancton y zooplancton, la revisión de las bases de datos arrojó la presencia de problemas graves en términos de identificación taxonómica, registrándose un total de 194 taxa para bentos submareal, 96 taxa para fitoplancton y 196 para zooplancton. No obstante, esta riqueza taxonómica aparente, es un artefacto de la existencia de errores en la identificación de especies. A modo de ejemplo, para el bentos submareal el taxón *Macrochiridothea* aparece bajo 3 nombres distintos (*Macrochiridothea sp.*, *Macrochiridothea sp.1* y *Macrochiridothea sp1*). Se destaca que este patrón se observó también en fitoplancton y zooplancton, lo que obligará a realizar modificaciones a nivel de registros en las bases de datos, si es que se requiere realizar análisis integrados de composición taxonómica.

Por este motivo, en el análisis que se presenta, no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica para bentos submareal, fitoplancton y zooplancton, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios de riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.3.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.3.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 11** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando el efecto Estrato para saturación de oxígeno. En el caso de la temperatura, el Estrato corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=19,9%); mientras que, para oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada con valores DE=22,6% y DE=18,6%, respectivamente. Finalmente, para pH el factor Trimestre mostró el mayor porcentaje de devianza explicada con DE=14,1%.

Tabla 11. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH, en agua entre 2013 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			2815		353,92		
Temp	Estación	11	2804	44,03	309,89	0,0000	12,44
	Estrato	2	2802	70,29	239,60	0,0000	**19,86**
	Año	3	2799	20,96	218,64	0,0000	5,92
	Trimestre	1	2798	15,21	203,43	0,0000	4,3
			1871		1.182,52		
Odis	Estación	11	1860	64,38	1.118,14	0,0000	5,44
	Estrato	2	1858	103,33	1.014,81	0,0000	8,74
	Año	3	1855	267,30	747,51	0,0000	**22,6**
	Trimestre	1	1854	13,77	733,74	0,0000	1,16
			1871		16.311,16		
Osat	Estación	11	1860	1.044,28	15.266,88	0,0000	6,4
	Estrato	2	1858	1.990,39	13.276,49	0,0000	12,2
	Año	3	1855	3.026,49	10.250,01	0,0000	**18,55**
	Trimestre	1	1854	0,00	10.250,01	0,9991	0
			1614		133,99		
pH	Estación	11	1603	10,60	123,38	0,0000	7,91
	Estrato	2	1601	3,93	119,46	0,0000	2,93
	Año	3	1598	13,31	106,14	0,0000	9,94
	Trimestre	1	1597	18,93	87,21	0,0000	**14,13**

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en cada uno de los parámetros de hidrografía (**Figura 15**) permite observar para temperatura, que el estrato superficial presentó las mayores temperaturas, superiores a 14,5ºC, mientras que el estrato de fondo presentó las temperaturas más bajas, en torno a 13ºC. Para el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, se observó un patrón similar, siendo el año 2015 el que presentó menores niveles de oxígeno, mientras que en 2018 presentó los mayores niveles de oxígeno. Finalmente, para pH, los registros del Trimestre 2 (abril – junio) presentaron mayores niveles que el Trimestre 4 (octubre – diciembre). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 2.1.a**.

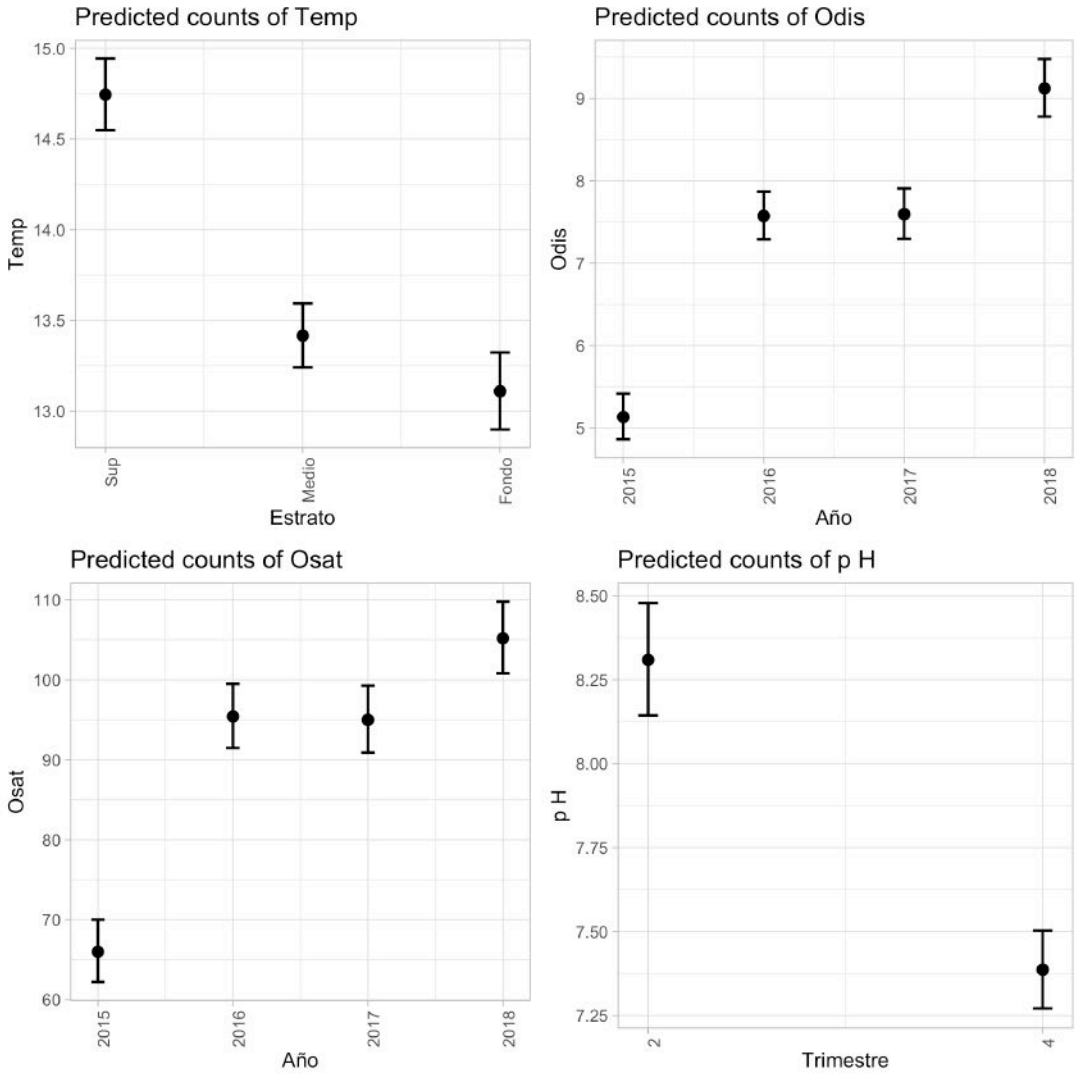


Figura 15. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.3.5.2 Pluma térmica

En la **Tabla 12** se entrega un análisis GLM, para la temperatura de la pluma térmica, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas. No obstante, la Estación corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=16,7%);

Tabla 12. Resultados de MLG para el parámetro temperatura para la pluma térmica entre 2014 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			3271		580,45		
PlumTerm	Estación	15	3256	96,81	483,65	0,0000	**16,68**
	Año	4	3252	17,20	466,44	0,0000	2,96
	Trimestre	1	3251	20,91	445,53	0,0000	3,6

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en la pluma térmica (**Figura 16**) permite observar para temperatura, que la estación P-08 se segrega notoriamente del resto de las estaciones por presentar temperaturas promedio menores en torno a 13 ºC, mientras que las estaciones P-05, P-09 y P-13 presentaron las mayores temperaturas, con niveles promedio cercanos a 15 ºC. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 2.1.b**.

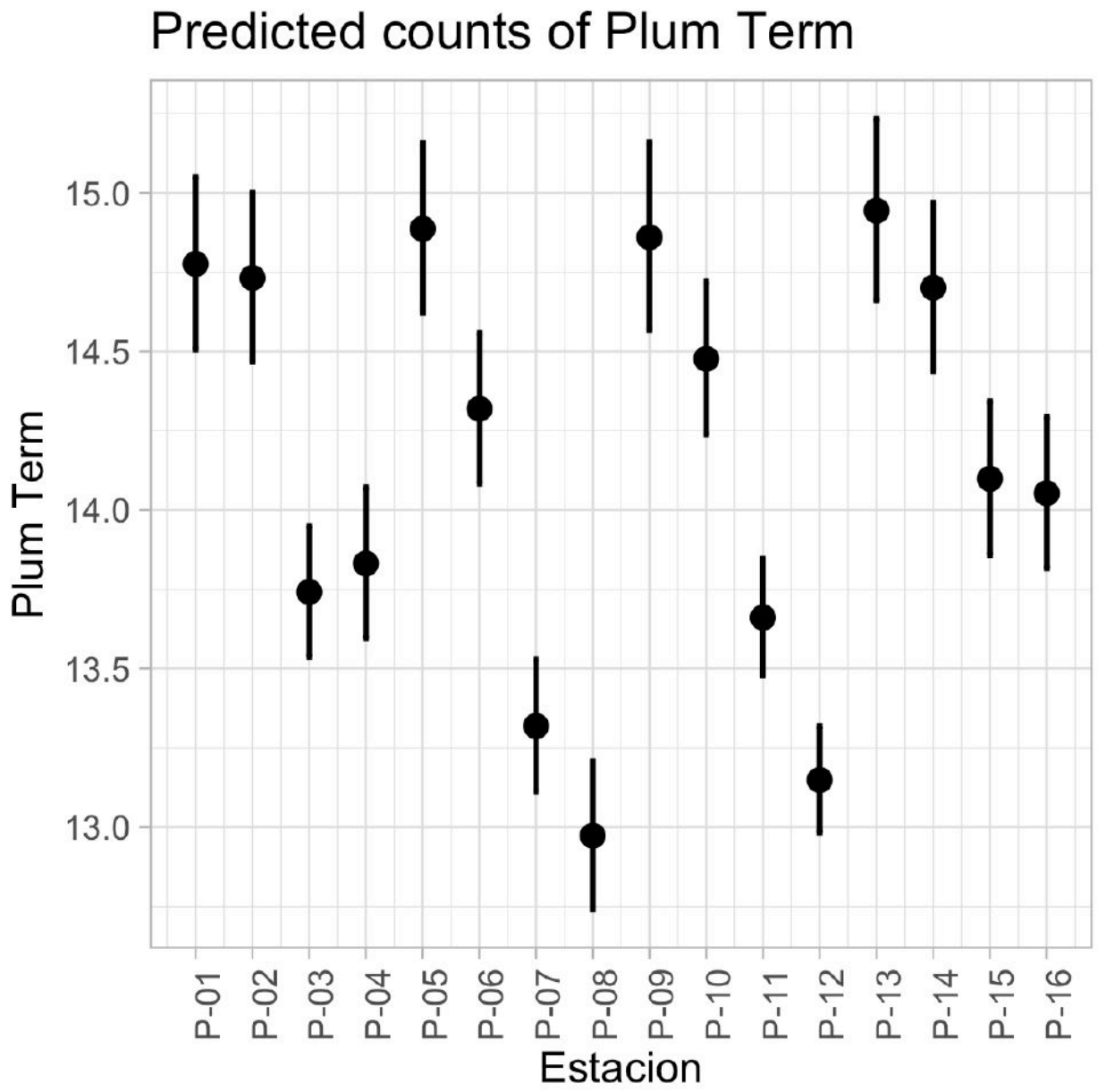


Figura 16. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.3.5.3 Calidad de agua

En la **Tabla 13** se entrega el resultado del GLM para Transparencia, pH, oxígeno disuelto e hidrocarburos aromáticos totales, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre) para todos los parámetros excepto para transparencia donde existe sólo un estrato. Todos los parámetros

presentaron diferencias significativas para el efecto Año como fuente de variación. Adicionalmente, la trasparencia presentó diferencias significativas para estación y trimestre; el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas para Estación, Estrato y Trimestre; y los hidrocarburos aromáticos totales mostraron diferencias significativas para Estación y Trimestre. Los mayores porcentajes de devianza explicada fueron DE=43,2%, DE=21,9%, DE=8,9%, DE=21,3% y DE=43,6%, respectivamente.

Tabla 13. Resultados de MLG para los parámetros transparencia, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno e hidrocarburos aromáticos totales, en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			68		59,88		
Trans	Estación	11	57	10,62	49,26	0,0000	17,73
	Año	5	52	14,87	34,39	0,0000	24,84
	Trimestre	1	51	25,87	8,52	0,0000	**43,21**
			143		1,09		
pH	Estación	5	138	0,04	1,05	0,2975	3,44
	Estrato	1	137	0,01	1,05	0,2955	0,62
	Año	5	132	0,24	0,81	0,0000	**21,89**
	Trimestre	1	131	0,00	0,81	0,5633	0,19
			143		123,45		
Odis	Estación	5	138	10,93	112,52	0,0011	**8,85**
	Estrato	1	137	20,98	91,54	0,0000	17
	Año	5	132	7,55	83,99	0,0155	6,12
	Trimestre	1	131	9,08	74,91	0,0000	7,36
			131		1.086,91		
Osat	Estación	5	126	99,12	987,79	0,0013	9,12
	Estrato	1	125	231,70	756,09	0,0000	**21,32**
	Año	5	120	60,72	695,37	0,0328	5,59
	Trimestre	1	119	62,20	633,17	0,0004	5,72
			143		7,18		
HAT	Estación	5	138	0,77	6,42	0,0000	10,67
	Estrato	1	137	0,05	6,37	0,1415	0,64
	Año	5	132	3,13	3,24	0,0000	**43,55**
	Trimestre	1	131	1,36	1,89	0,0000	18,89

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 17**), indica que la transparencia presentó niveles altos para el trimestre 2 (abril -junio) y bajos y el trimestre 4 (octubre- diciembre). En el caso del pH, se observó también importantes variaciones entre años, siendo el año 2014 el que presentó las menores concentraciones, y el año 2015, los mayores niveles de pH promedio. Para oxígeno disuelto, las mayores concentraciones se

observaron en superficie con niveles en torno a 8 mg/L, mientras que en el fondo las concentraciones fueron de 6 mg/L. La saturación de oxígeno presentó también mayores valores en superficie con niveles sobre el 90%; mientras que en la capa de fondo las concentraciones estuvieron en torno a 70%. Finalmente, para hidrocarburos aromáticos totales, el año 2013 presentó las mayores concentraciones de este parámetro, segregándose notoriamente del resto de los años. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 2.1.c**.

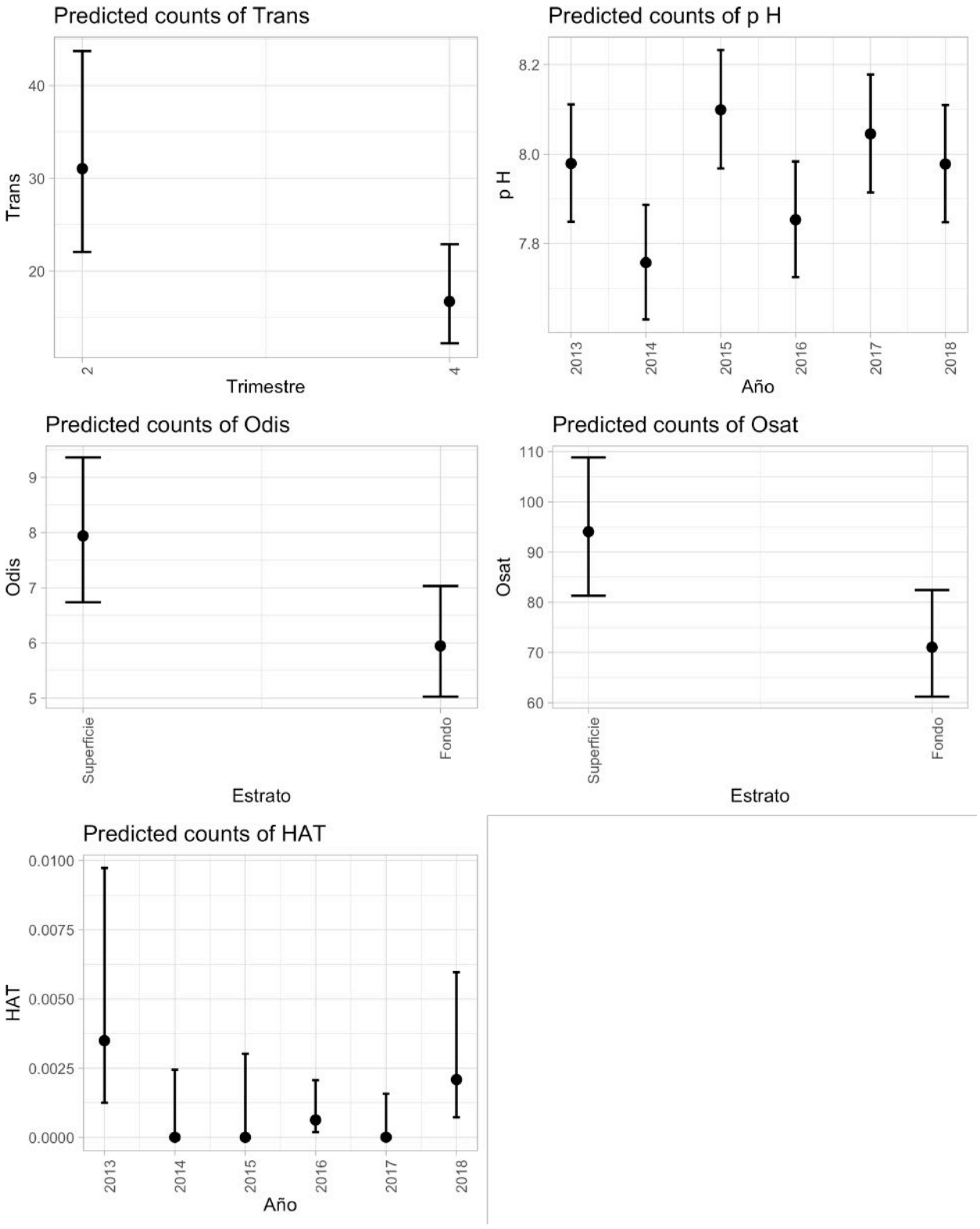


Figura 17. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.3.5.4 Calidad de sedimentos

En la **Figura 18** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para la composición del sedimento submareal entre 2013 y 2018. El análisis arrojó diferencias significativas entre estaciones (PERMANOVA R^2=0,36; P<0,001), siendo la estación CVT-20, las que registraron mayor presencia de arenas finas (AF), cascajo medio fino (CMF), arenas muy gruesas (AMG) y arenas gruesas (AG). Adicionalmente, la estación CVT-03, tiende a segregarse del resto dada la mayor presencia de arenas medias (AM). El resto de las estaciones presentó una importancia proporción de arenas muy finas (AMF) y arenas finas (AF).

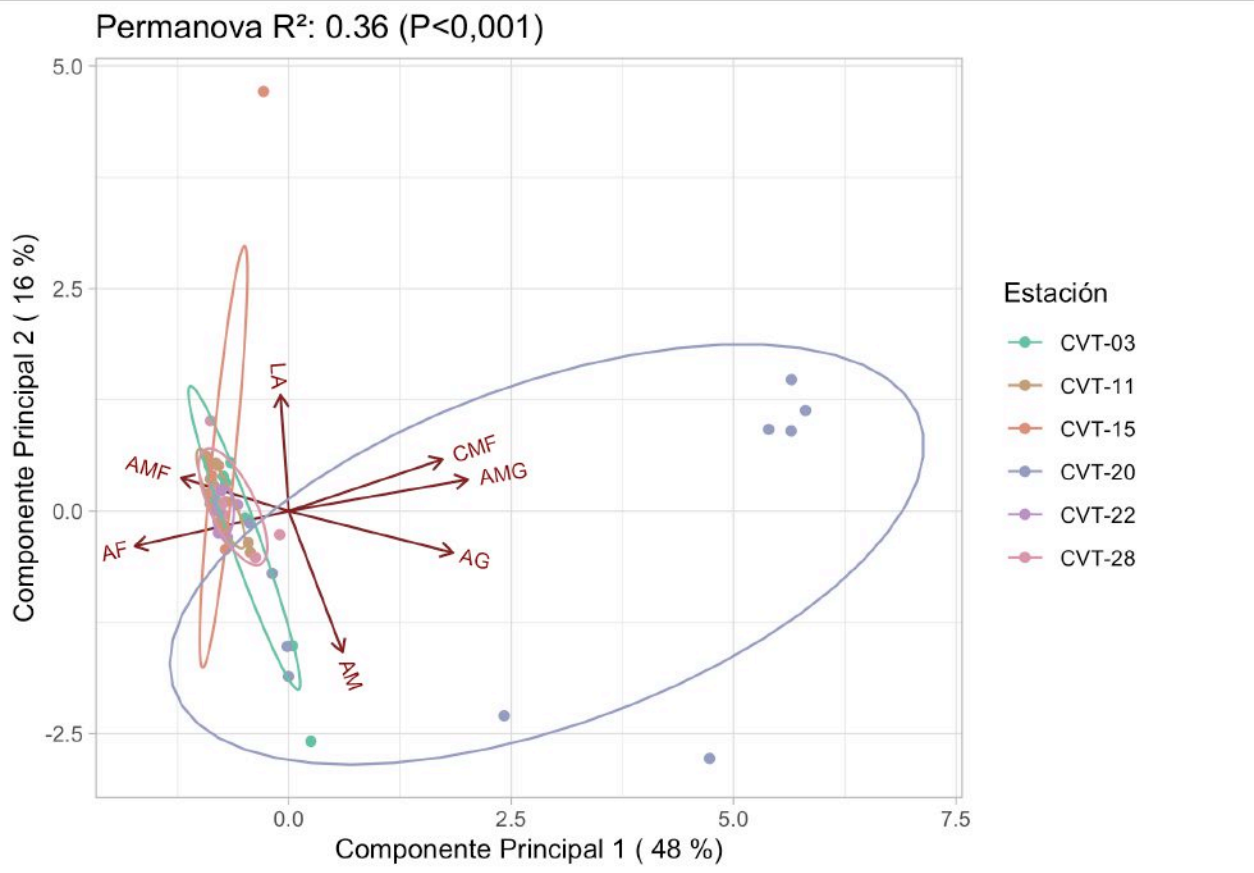


Figura 18. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales.

5.2.3.5.5 Comunidades

En la **Figura 19** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada por campaña y estación, presentó valores que oscilaron entre 5 y 30 especies por estación y una tendencia ascendente hacia las campañas más recientes. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de muestreo presentan diversidades moderadas en las estaciones, observándose valores que oscilan mayormente entre 0,5 y 2,5 (**Figura 19**).

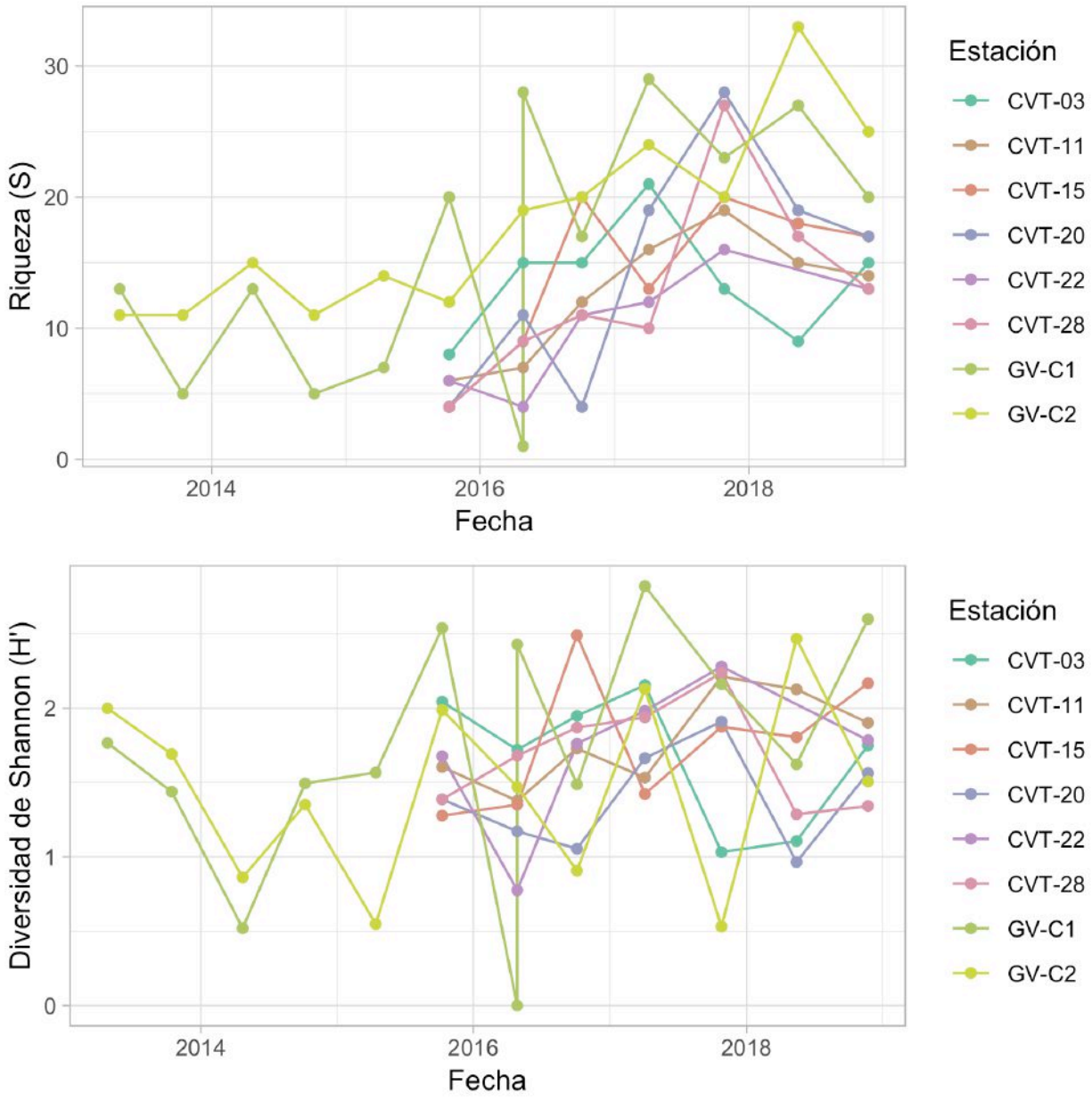


Figura 19. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

En la **Figura 20** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del fitoplancton. La riqueza observada por campaña de muestreo, osciló mayormente entre 5 y 30 especies por estación, siendo las campañas estivales del año 2015 y 2018, las que presentaron las mayores riquezas (S>25), se observa también una marcada estacionalidad en la serie analizada, donde las campañas de invierno presentaron en general, menores riquezas. En general se observa escasa diferenciación entre estaciones de muestreo. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas presentan diversidades moderadas, observándose niveles de diversidad que oscilan mayormente entre 0 y 2. En términos generales, las campañas estivales de los años 2017 y 2018 presentaron los mayores índices de diversidad.

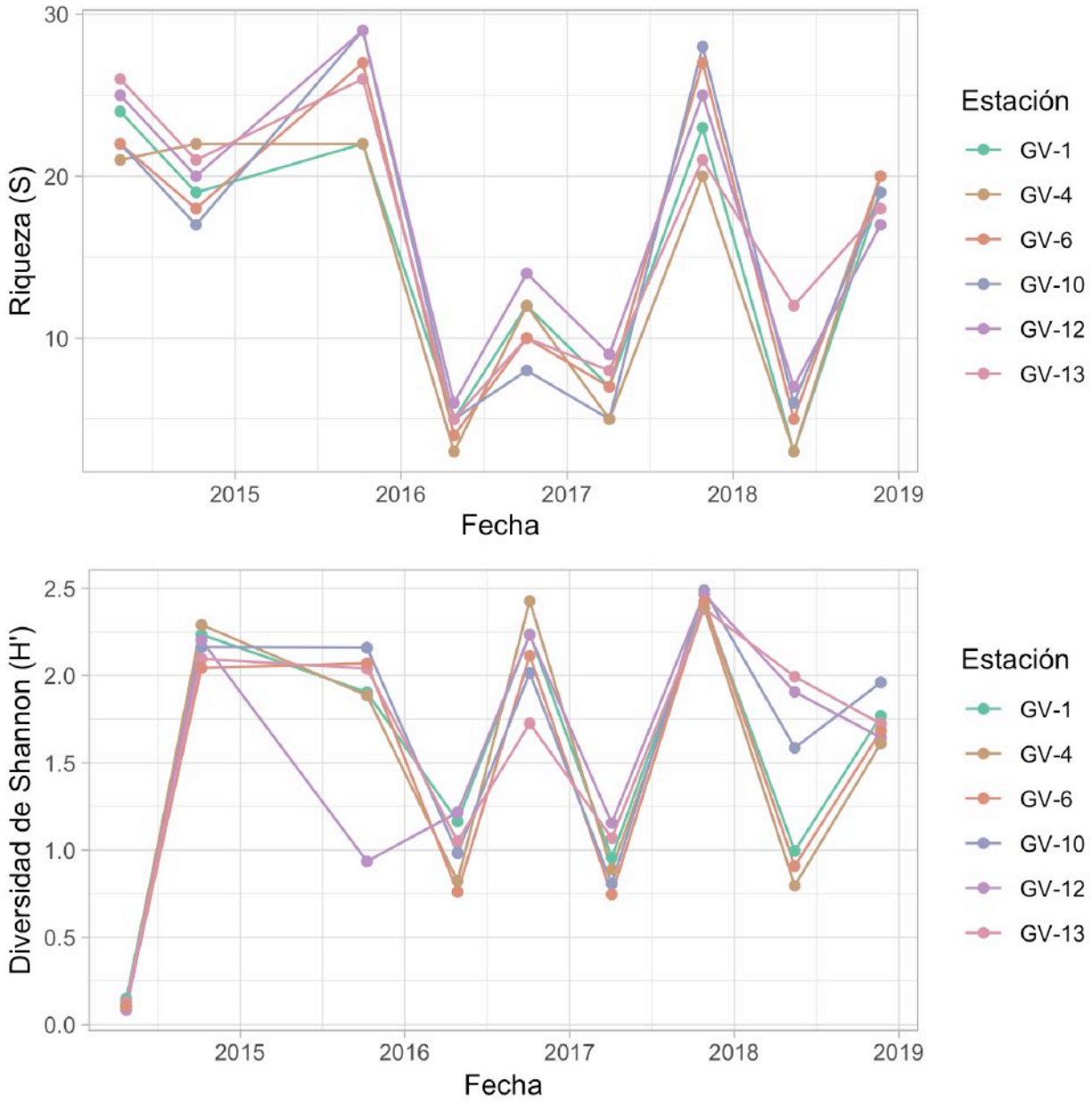


Figura 20. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton.

En la **Figura 21** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del zooplancton. La riqueza observada por campaña de muestreo, osciló mayormente entre 1 y 25 especies por estación. La serie muestra cierta diferenciación entre estaciones de muestreo, destacando que las estaciones GV-6, que presentó en general la mayor riqueza de especies. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de

muestreo presentan diversidades moderadas, observándose valores que oscilan mayormente entre 1 y 2, donde las estaciones GV-10 y GV-12 presentaron los mayores índices de diversidad.

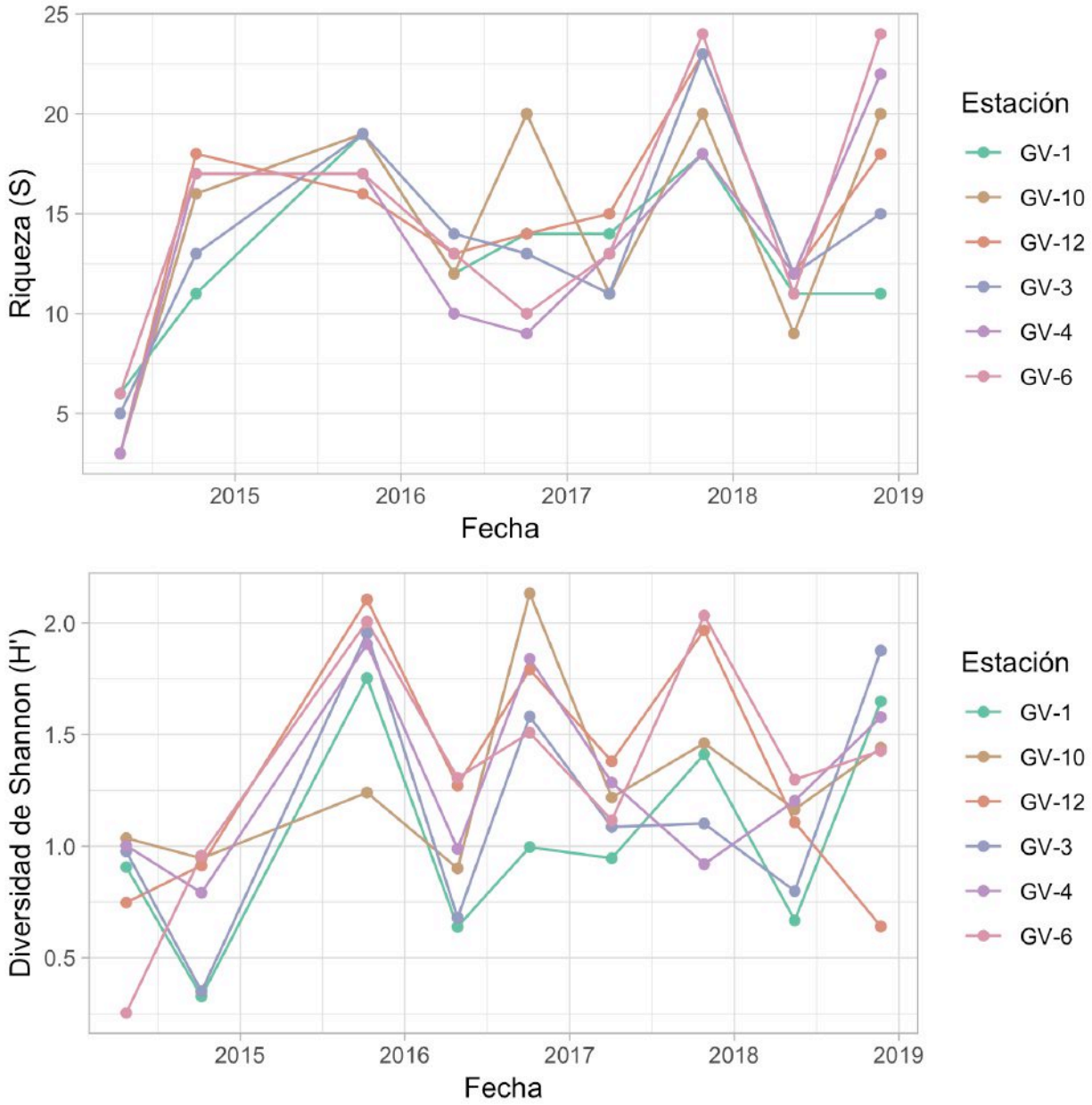


Figura 21. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton.

5.2.3.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para los parámetros de hidrografía, la temperatura presentó diferencias significativas entre estratos de profundidad, donde el estrato superficial presentó las mayores temperaturas superiores a 14,5 ºC y el estrato de fondo las menores temperaturas, siendo éstas levemente superiores a 13ºC en promedio. El estrato medio presentó temperaturas intermedias y cercanas 13,5ºC en promedio.

En cuanto a los parámetros de calidad de agua, el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas entre estratos, siendo el estrato superficial el que presentó las mayores concentraciones de oxígeno.

Diferencias entre años

Para los parámetros de hidrografía, tanto oxígeno disuelto como saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, observándose una tendencia ascendente en ambos parámetros, siendo el año 2018 el que presentó las mayores concentraciones de oxígeno; mientras que, el año 2015 presentó las concentraciones de oxígeno más bajas.

Para calidad de agua, sólo los parámetros pH y HAT presentaron diferencias significativas entre años. Para el caso del pH, se observa una leve tendencia ascendente entre los años 2016 al 2019 en la mayoría de las estaciones analizadas. Para el caso de los HAT, las diferencias observadas responden más bien a cambios en los límites de detección observados entre las diferentes campañas analizadas, con una muy baja proporción de datos que estén por sobre los límites de detección de las técnicas analíticas.

Estacionalidad

Para hidrografía, el pH presentó diferencias significativas entre épocas o periodos del año, siendo el segundo trimestre (otoño) el que presentó los niveles más altos de pH, con valores promedio sobre 8.

En calidad de agua, sólo en el caso de la transparencia se observaron diferencias significativas entre épocas o periodos del año, siendo un parámetro altamente variable entre campañas de monitoreo, para el cual el segundo trimestre (otoño) fue el que presentó los niveles más altos de transparencia.

Diferencias espaciales

Sólo en el caso de la pluma térmica medida en 16 puntos dentro de la bahía, fue posible observar diferencias entre estaciones, siendo la estación P-8 y P-12 que corresponden a las estaciones más alejadas de zona de descarga, las que presentaron generalmente temperaturas más bajas , en contraposición a las estaciones P-01, P-02, P-05, P-09, P-13 y P-14 ubicadas en la zona costera y muy cerca de la zona de descarga, las que presentaron temperaturas mayores (**Figuras 2** y **3**).

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados existen diferencias significativas entre estaciones, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada, lo cual puede estar relacionado con la cercanía de las estaciones, donde la totalidad de éstas, está ubicada frente a la planta y en una zona muy costera (**Figuras 2** y **3**).

5.2.4 AES GENER S.A UNIDAD 3. Programa Trimestral

En las secciones siguientes se entrega el programa que el Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 3 mantiene de manera trimestral, sólo para parámetros de hidrografía y calidad de agua.

5.2.4.1 Estadística descriptiva

5.2.4.1.1 Hidrografía

Se analizaron los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto. La temperatura osciló entre 11,2ºC y 22,06ºC, con una media de 14,00ºC, y un coeficiente de variación del 13%. El oxígeno disuelto osciló entre 1,37 mg/L y 11,21 mg/L, con una media de 6,91 mg/L, y un coeficiente de variación del 26%. La saturación de oxígeno disuelto fluctuó entre 15,8% y 142,1%, con una media de 84,29% y un coeficiente de variación del 28%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 14**).

Tabla 14. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	2852	11,2	22,06	14,00	1,81	13%	0,9356	0,0000
Odis	mg/L	2852	1,37	11,21	6,91	1,82	26%	0,9344	0,0000
Osat	%	2852	15,8	142,1	84,29	23,92	28%	0,9513	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.4.2**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 14**.

En las **Figuras 22 a 24** se entrega el análisis de los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto. Para temperatura (**Figura 22**), se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad, en general la mayor variabilidad se registra en los primeros metros de profundidad, y a partir de los 10 m la columna de agua tiende a homogenizarse, existiendo una mayor variabilidad en los trimestres 1 y 4 de cada año. Para el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno (**Figuras 23 y 24**), se observa una alta variabilidad entre estaciones y una tendencia descendente a medida que aumenta la profundidad, salvo el trimestre 3 para todos los años de la serie, y en el trimestre 4 del año 2016.

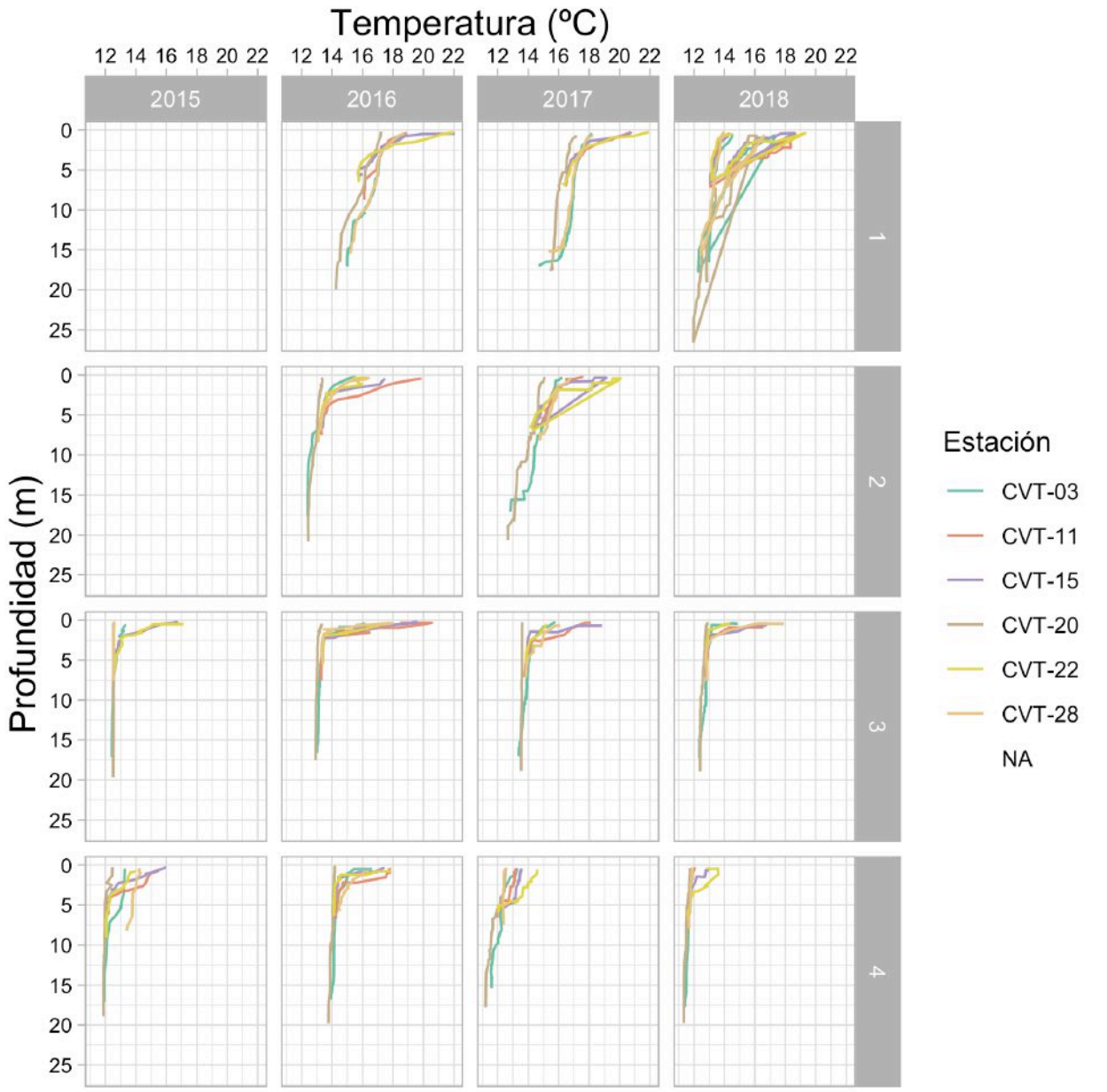


Figura 22. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

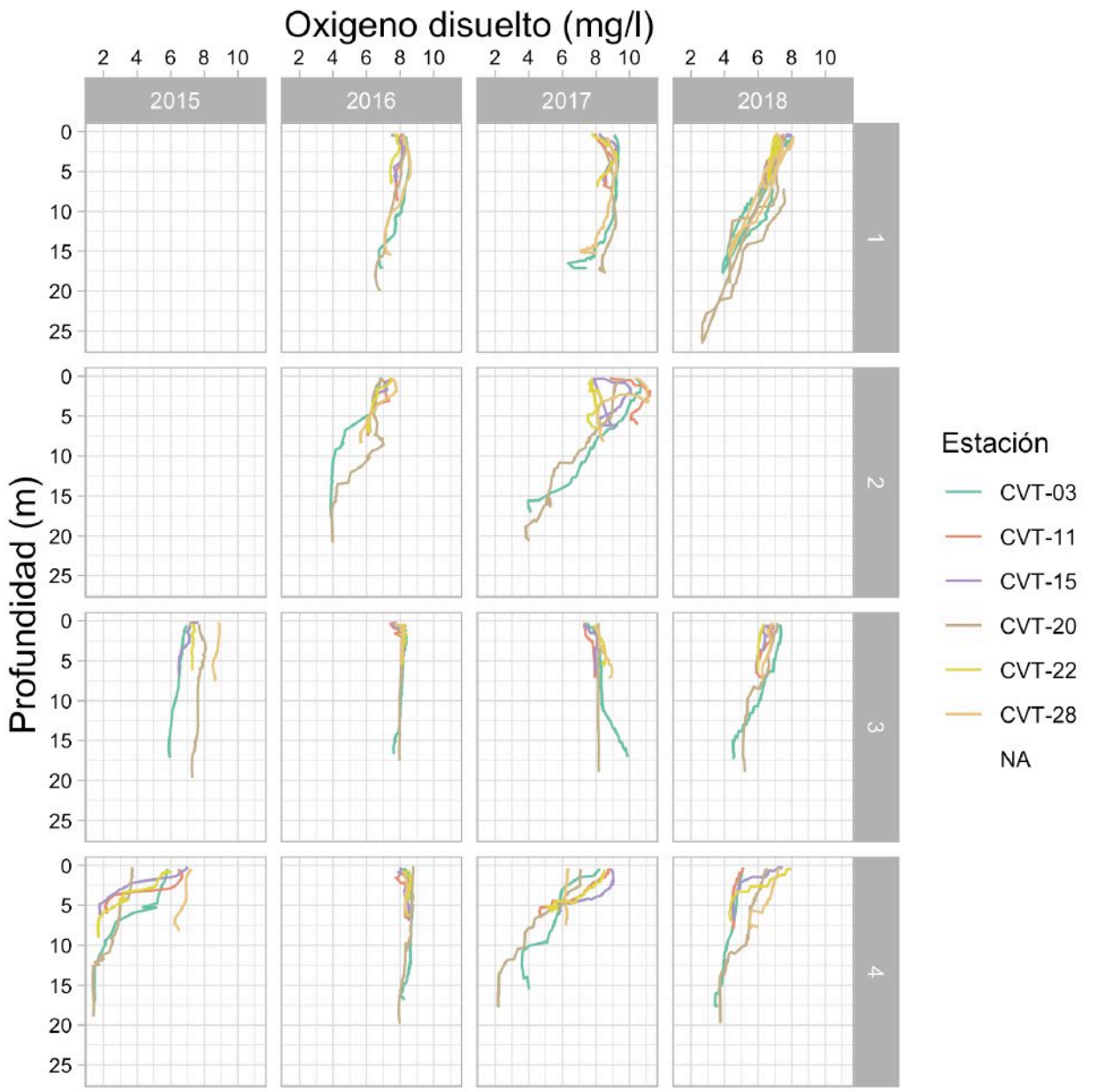


Figura 23. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

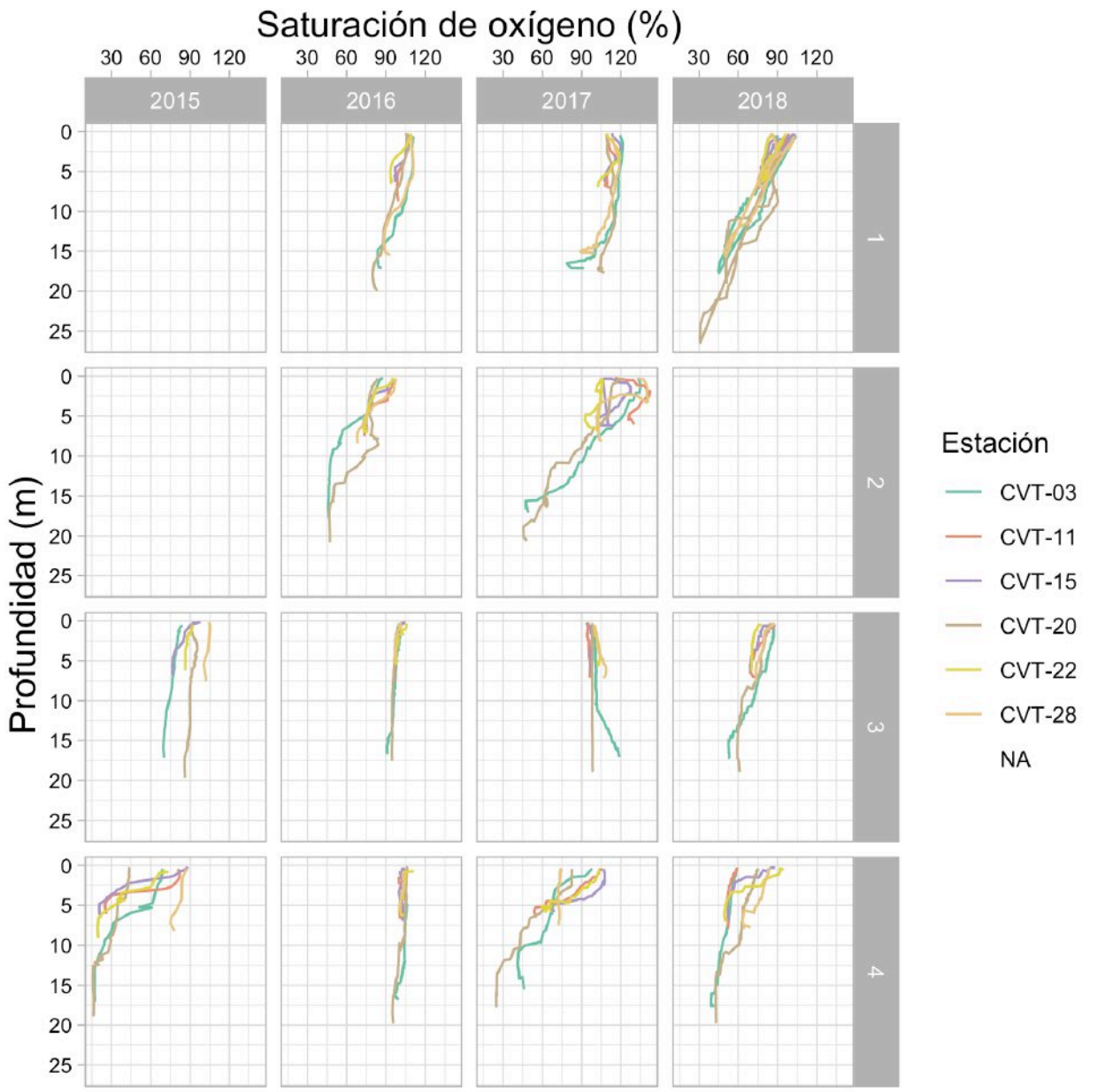


Figura 24. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 3, entre los años 2015 y 2018.

5.2.4.1.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de transparencia, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno medidos en columna agua submareal (**Tabla 15**). La transparencia de la columna de agua osciló entre 2 y 11,5 m, con una media de 4,96 m, y un coeficiente de variación de 42%. En tanto que, el oxígeno disuelto fluctuó entre 1,30 mg/L y 10,84 mg/L, con una media de 6,68 mg/L, y un coeficiente de variación de 29%. Finalmente, la saturación de oxígeno fluctuó entre 15,6% y 154,6%, con una media de 89,6%, y un coeficiente de variación de 28%.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 15. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Trans	m	130	2	11,5	4,96	2,06	42%	0,9421	0,0000
Odis	mg/L	264	1,3	10,84	6,68	1,91	29%	0,9353	0,0000
Osat	%	192	15,6	154,6	89,63	25,08	28%	0,9623	0,0001

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.4.2**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 15**.

En las **Figuras 25 a 27** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2014 y 2018. Para la transparencia (**Figura 25**) se observa una alta variabilidad entre campañas y entre estaciones de muestreo, con niveles que fluctúan mayormente entre los 3 y 11 m. Se destacan mayores niveles de transparencia en la estación CVT-20 y menores transparencias en CVT-28. En el caso del oxígeno disuelto (**Figura 26**), se observa alta variabilidad entre campañas, con mayor variabilidad entre estaciones en el estrato de fondo. En el caso de la saturación de oxígeno (**Figura 27**), se observa escasa variabilidad entre estaciones, con mayor variabilidad entre estaciones en el estrato de fondo.

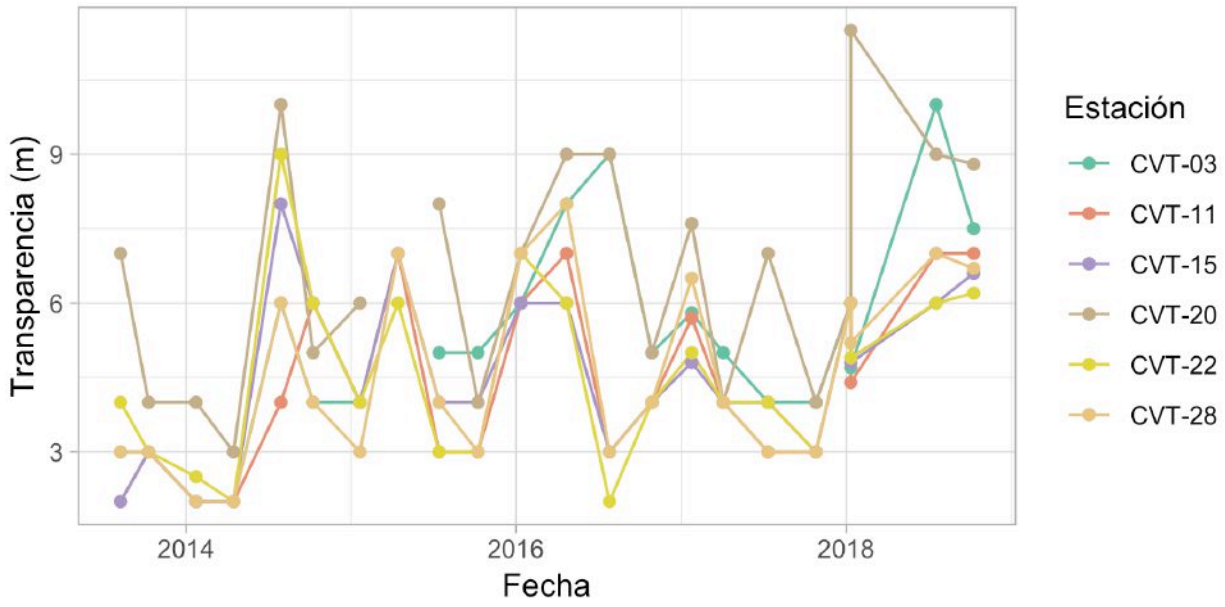


Figura 25. Transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2014 y 2018.

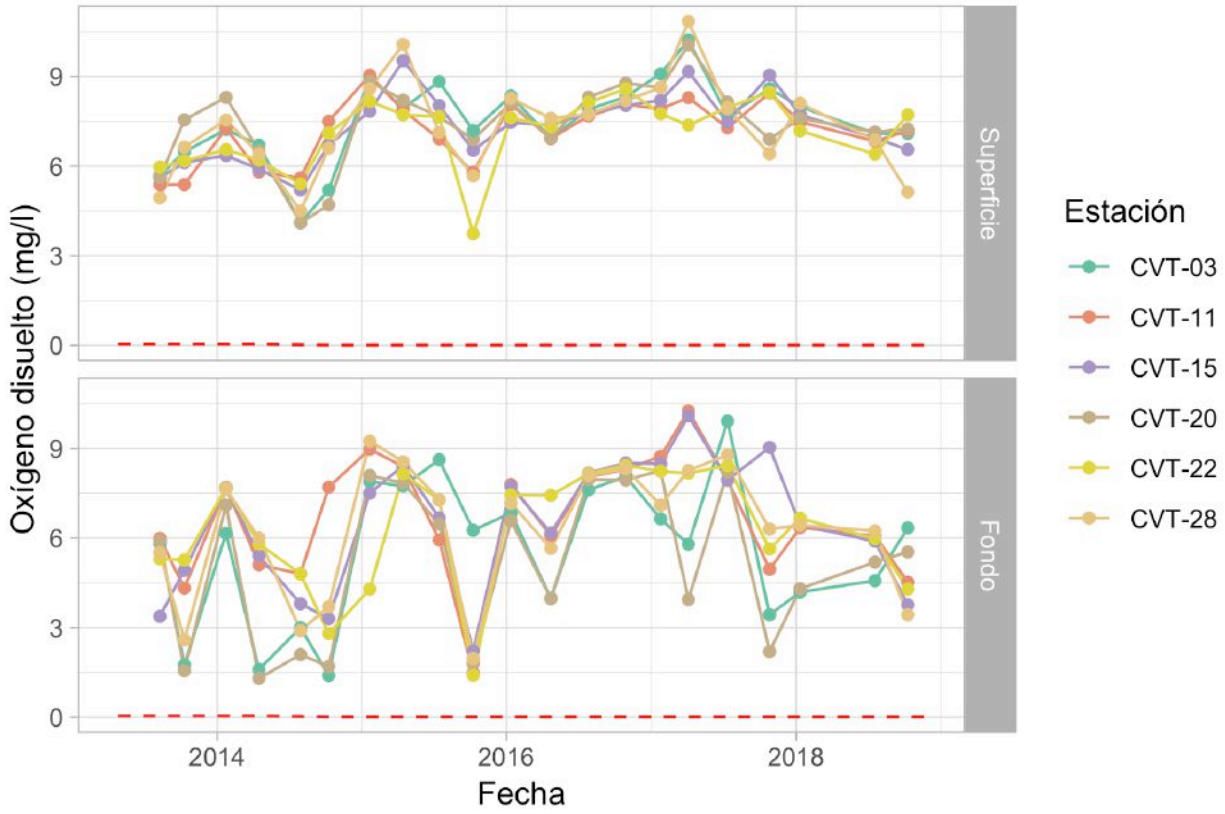


Figura 26. Oxígeno disuelto en columna de agua por estación, y estrato, entre los años 2014 y 2018. Líneas punteadas indican los límites de detección.

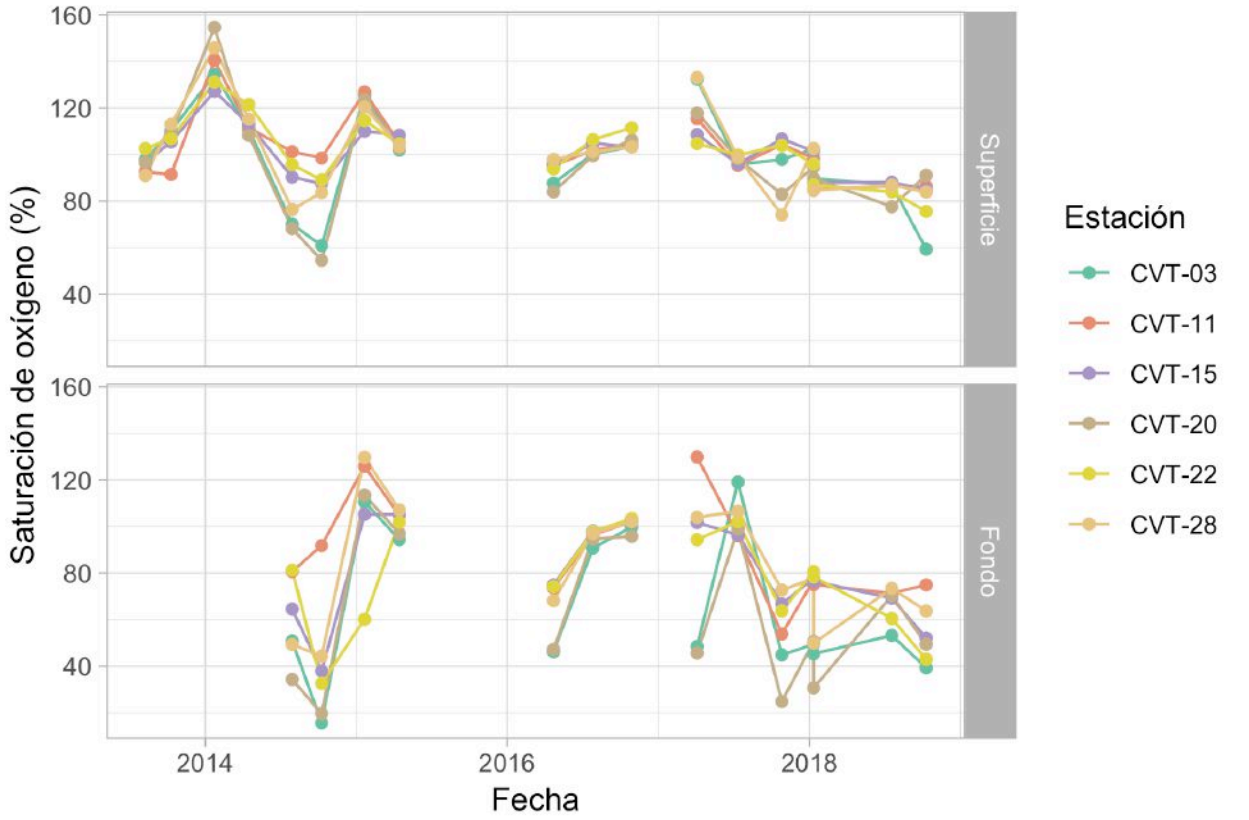


Figura 27. Saturación de oxígeno en columna de agua por estación, y estrato, entre los años 2014 y 2018.

5.2.4.2 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.4.2.1 Hidrografía

En la **Tabla 16** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, y saturación de oxígeno disuelto, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas. En el caso de la temperatura, el Trimestre corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=32,2%); mientras que, para oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada con valores DE=24,1% y DE=26,73%, respectivamente.

Tabla 16. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			2851		646,48		
Temp	Estación	6	2845	69,14	577,34	0,0000	10,69
	Estrato	2	2843	20,53	556,80	0,0000	3,18
	Año	3	2840	140,39	416,42	0,0000	21,72
	Trimestre	3	2837	208,41	208,01	0,0000	**32,24**
			2851		1.564,48		
Odis	Estación	6	2845	71,81	1.492,68	0,0000	4,59
	Estrato	2	2843	134,90	1.357,77	0,0000	8,62
	Año	3	2840	376,67	981,10	0,0000	**24,08**
	Trimestre	3	2837	195,56	785,54	0,0000	12,5
			2851		21.893,13		
Osat	Estación	6	2845	1.179,98	20.713,15	0,0000	5,39
	Estrato	2	2843	1.816,95	18.896,20	0,0000	8,3
	Año	3	2840	5.851,06	13.045,14	0,0000	**26,73**
	Trimestre	3	2837	2.948,96	10.096,18	0,0000	13,47

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en cada uno de los parámetros de hidrografía (**Figura 28**) permite observar para temperatura, que el primer trimestre (enero – marzo) presentó las mayores temperaturas, superiores a 15,5ºC, mientras que el cuarto trimestre (octubre - diciembre) presentó las temperaturas más bajas, en torno a 13ºC. Para el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, se observó un patrón similar, siendo los años 2015 y 2018 los que presentaron menores niveles de oxígeno disuelto. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 2.2.a.**

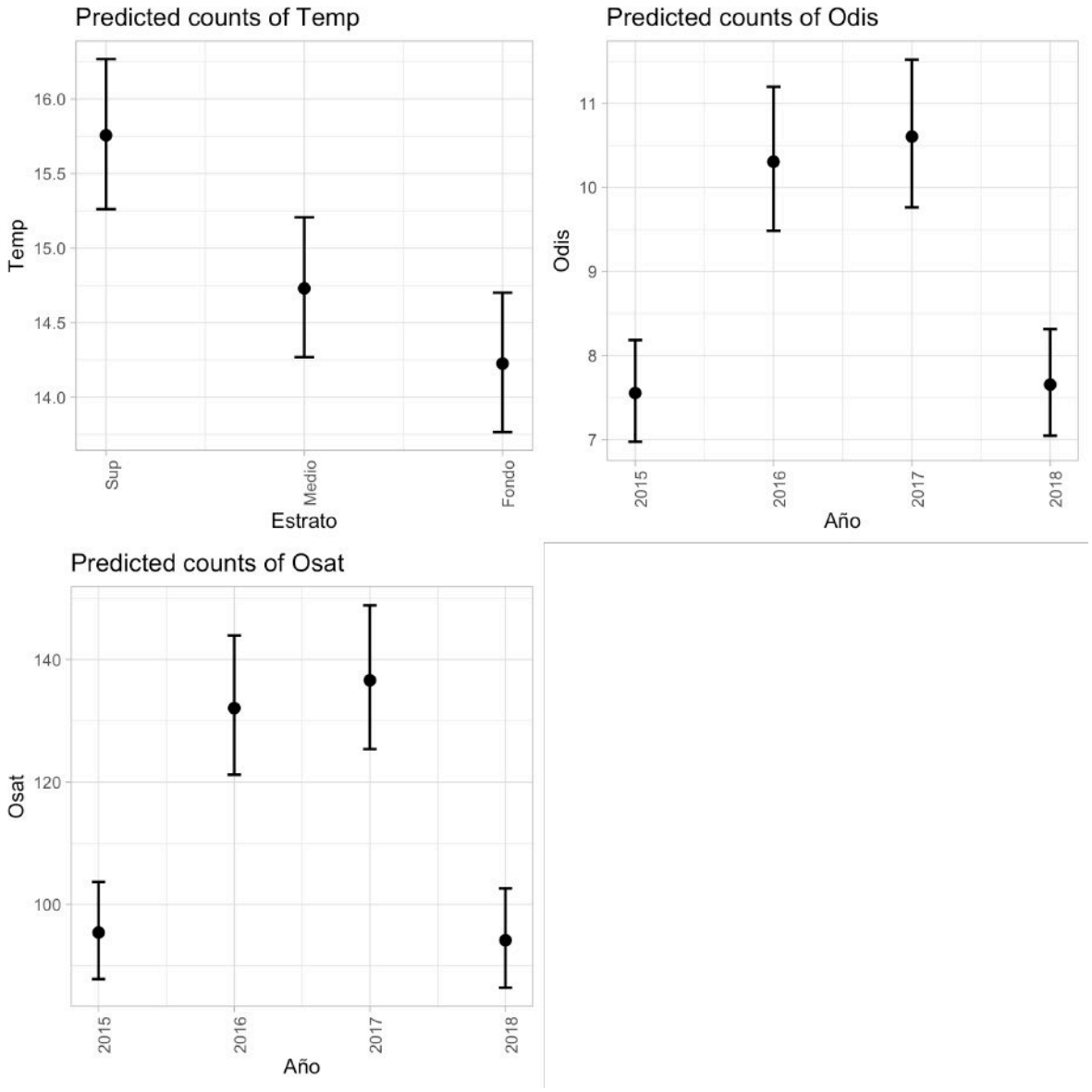


Figura 28. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.4.2.2 Calidad de agua

En la **Tabla 17** se entrega el resultado del GLM para Transparencia y pH, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre) para todos los parámetros excepto para transparencia donde existe sólo un estrato. Todos los parámetros presentaron diferencias significativas para los efectos considerados, salvo el efecto trimestre en transparencia. Tanto para transparencia como para oxígeno disuelto, el año correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con

DE=24,9%, y DE=22,9%, respectivamente. Para saturación de oxígeno el estrato correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=21,1%,

Tabla 17. Resultados de MLG para los parámetros transparencia y oxígeno disuelto, en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			129		108,78		
Trans	Estación	5	124	14,47	94,31	0,0001	13,3
	Año	5	119	27,13	67,18	0,0000	**24,94**
	Trimestre	3	116	3,23	63,95	0,1218	2,97
			263		167,52		
Odis	Estación	5	258	1,99	165,53	0,3553	1,19
	Estrato	1	257	16,30	149,23	0,0000	9,73
	Año	5	252	38,27	110,96	0,0000	**22,85**
	Trimestre	3	249	12,42	98,53	0,0000	7,42
			191		1.493,57		
Osat	Estación	5	186	56,03	1.437,54	0,0168	3,75
	Estrato	1	185	315,53	1.122,01	0,0000	**21,13**
	Año	5	180	239,34	882,67	0,0000	16,02
	Trimestre	3	177	122,02	760,65	0,0000	8,17

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 29**), indica que el año 2013 presentó niveles de transparencia inferiores a 4 m, mientras que el año 2018 presentó los mayores niveles de transparencia promedio con niveles en torno a 7 m. En el caso del oxígeno disuelto los años 2013 y 2014, presentaron las menores concentraciones de oxígeno disuelto cercanas a 6,5 mg/L, mientras que los años 2015, 2016 y 2017, presentaron los niveles más altos de oxígeno en torno a 9 mg/L. En cuanto a la saturación de oxígeno, el estrato superficial presentó las mayores concentraciones en torno al 120%; mientras que en el fondo la saturación de oxígeno promedio 90%. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 2.2.b.**

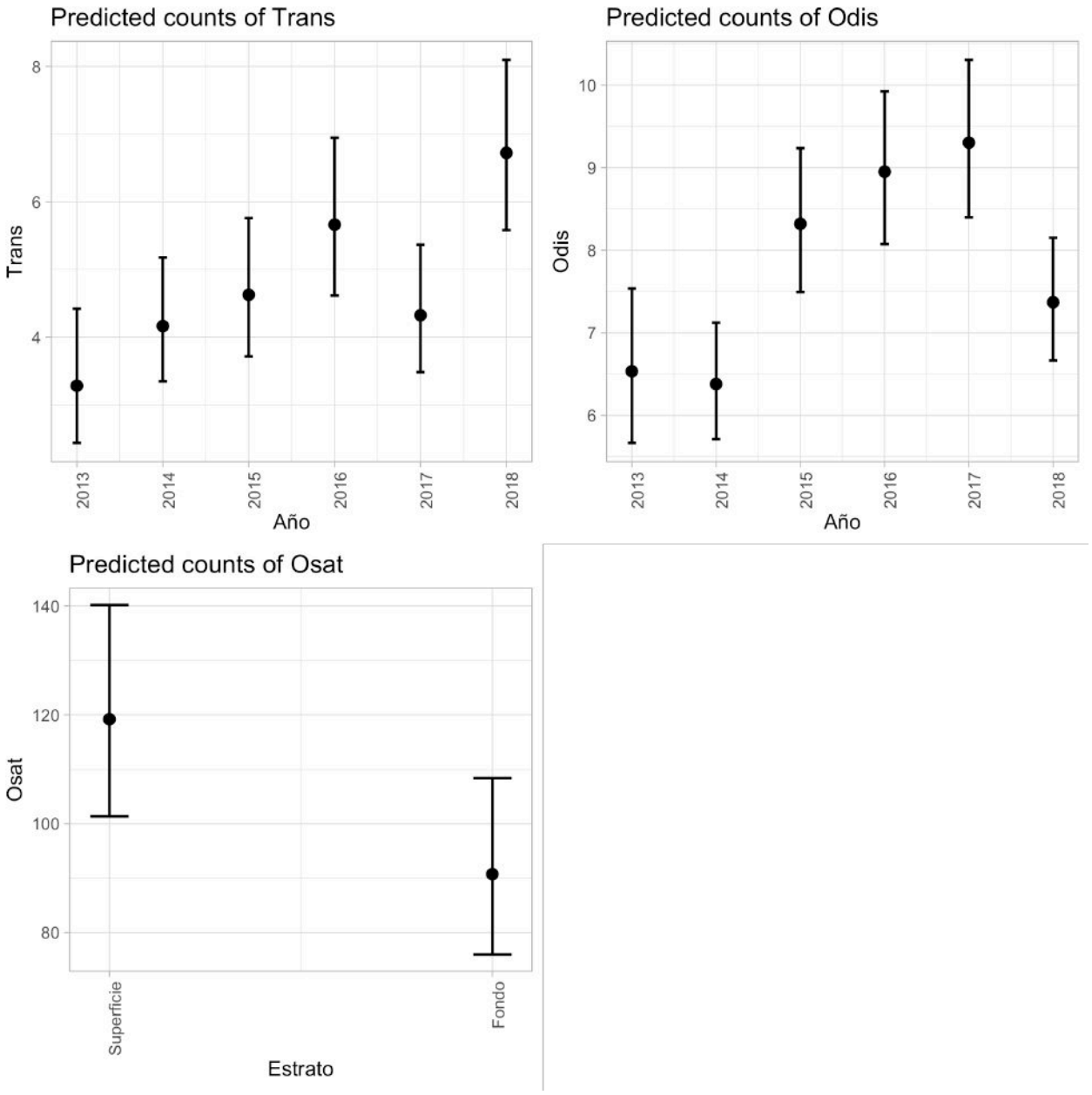


Figura 29. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.4.3 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Si bien, en la totalidad de los parámetros analizados en hidrografía y columna de agua existen diferencias significativas entre estratos, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad, dado que las diferencias temporales e interanuales son más importantes para explicar la variabilidad de la serie de datos, que los estratos de profundidad.

Diferencias entre años

Para los parámetros de hidrografía, tanto el oxígeno disuelto como la saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, observándose importantes variaciones interanuales, donde los años 2016 y 2017 registraron las mayores concentraciones de oxígeno, mientras que los años 2015 y 2018 registraron las menores concentraciones.

Estacionalidad

Para hidrografía, la temperatura presentó diferencias significativas entre épocas o periodos del año, siendo el primer trimestre (verano) el que presentó los niveles más altos de temperatura, con niveles promedio sobre los 15,5ºC, la cual va disminuyendo gradualmente a través del año, hasta el cuarto trimestre (primavera), presentando las temperaturas promedio más bajas en torno a 13ºC.

Diferencias espaciales

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados existen diferencias significativas entre estaciones, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada, lo cual puede estar relacionado con la cercanía de las estaciones, donde la totalidad de éstas, esta ubicada frente a la planta y en una zona muy costera (**Figuras 3 y 4**).

5.2.5 AES GENER S.A UNIDAD 4

5.2.5.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 30** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo del Complejo Termoeléctrico Ventanas AES GENER S.A UNIDAD 4. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que la mayoría de las estaciones se encuentra muy cerca de la costa (profundidad menor a 20 m), y próximos a los emisarios submarinos existentes en el sector. Este programa presenta dos puntos de control, uno ubicado al sur de la UF, muy próximo a la costa (cercano a los 10 m de profundidad), y un punto de control que se ubica al norte de la bahía. Los puntos asociados al lanzamiento de derivadores, simulan una transecta en dirección N-S. Este programa incluye 3 estaciones intermareales.

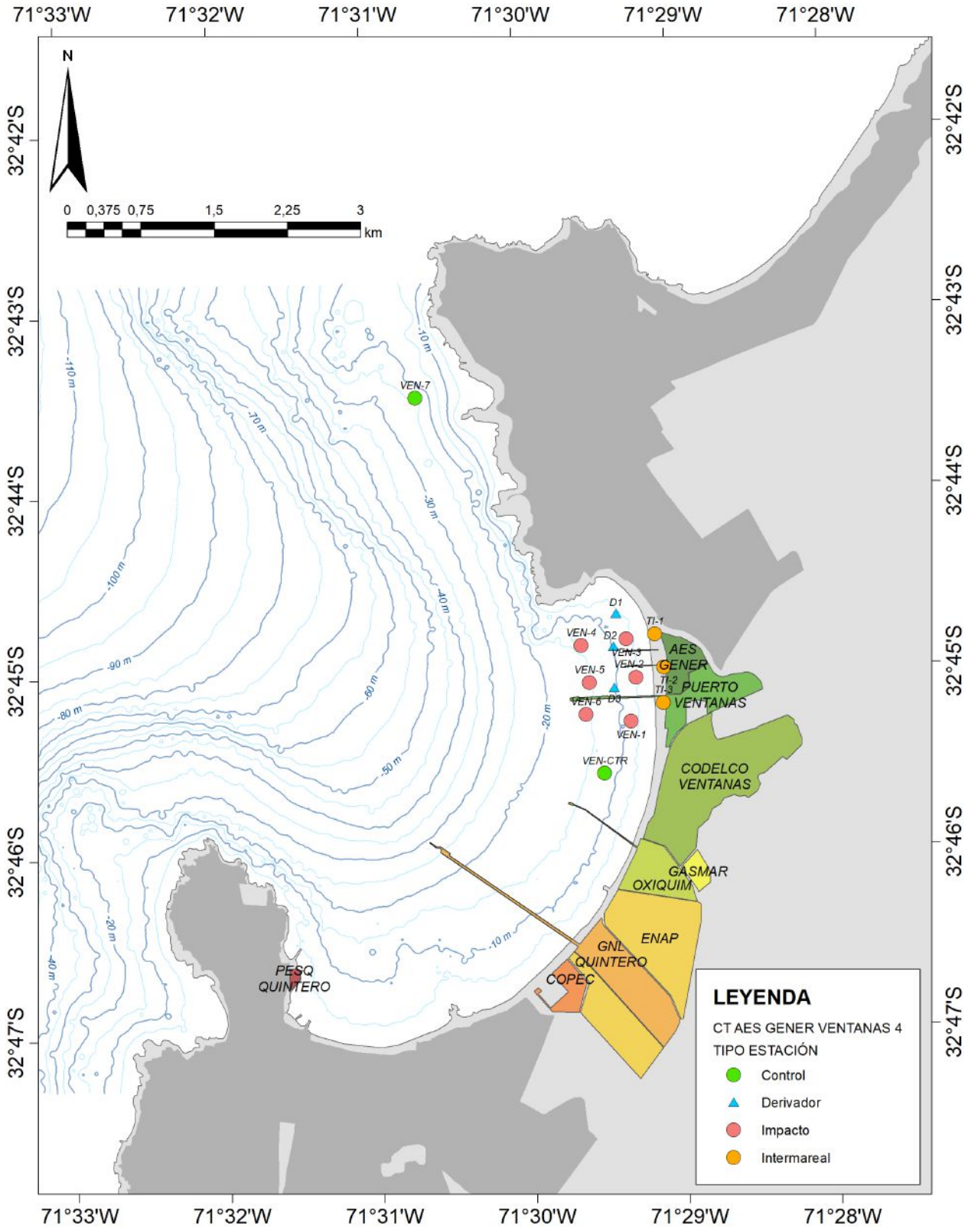


Figura 30. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4.

5.2.5.2 Matrices analizadas

La información recopilada para el Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4, consta de 8 estaciones submareales y 3 estaciones intermareales. Adicionalmente, este programa entrega información de correntometría lagrangiana. Las matrices analizadas corresponden a corrientes, hidrografía, agua submareal, sedimento submareal e intermareal, macrofauna submareal e intermareal, comunidades del fito y zooplancton (**Tabla 18**).

Tabla 18. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4.

ESTACIÓN	TIPO	CORRIENTES	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA	FITOPLANCTON	ZOOPLANCTON
VEN-1	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-2	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-3	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-4	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-5	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-6	Impacto		X	X	X	X	X	X
VEN-7	Control		X	X	X	X	X	X
VEN-CTR	Control		X	X	X	X	X	X
TI-1	Intermareal				X	X		
TI-2	Intermareal				X	X		
TI-3	Intermareal				X	X		
D1	Derivador	X						
D2	Derivador	X						
D3	Derivador	X						

5.2.5.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 19** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 4 variables, a saber: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. Para corrientes se mide la dirección y magnitud de la corriente. En calidad de agua, los parámetros monitoreados corresponden a transparencia e hidrocarburos totales. En sedimentos, junto con los parámetros granulométricos, se mide solamente hidrocarburos totales. Finalmente, en comunidades se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón, salvo para fitoplancton donde solo se cuantifica la abundancia.

Tabla 19. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Profundidad	m	Prof
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	Salinidad	PSU	Sal
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	Saturación de Oxígeno	%	Osat
Corrientes	Profundidad	m	Prof
Corrientes	Hora	Hora: Min	Hora
Corrientes	Coordenada Este	UTM	E
Corrientes	Coordenada Norte	UTM	N
Corrientes	Distancia Tramo	m	Dist
Corrientes	Mag. Tramo	cm/s	Magn
Corrientes	Rec. Total	m	RecTot
Corrientes	Rec. Neto	m	RecNet
Corrientes	Magnitud Media	cm/s	MagMed
Corrientes	Magnitud Neta	cm/s	MagNet
Corrientes	Newman	%	New
Calidad agua	Transparencia	m	Trans
Calidad agua	Hidrocarburos totales	ug/L	HCT
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Limo arcilla	%	LA
Calidad sedimentos	Mz	%	Mz
Calidad sedimentos	Tip_Mz	Descriptivo	Tip_Mz
Calidad sedimentos	DEGI	%	DEGI
Calidad sedimentos	Tip_DEGI	Descriptivo	Tip_DEGI
Calidad sedimentos	Sk1	%	Sk1
Calidad sedimentos	Tip_Sk1	Descriptivo	Tip_Sk1
Calidad sedimentos	Hidrocarburos totales	mg/kg	HCT
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B
Fitoplancton	Abundancia	ind/m3	N
Zooplancton	Abundancia	ind/m3	N
Zooplancton	Biomasa	g/m3	B

5.2.5.4 Estadística descriptiva

5.2.5.4.1 Hidrografía

Se analizaron los parámetros temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. La temperatura osciló entre 10,96ºC y 19,67ºC, con una media de 13,43ºC, y un coeficiente de variación del 11,3%. La salinidad osciló entre 34,03 PSU y 37,84 PSU, con una media de 35,6 PSU, y un coeficiente de variación del 2%. El oxígeno disuelto osciló entre 1,49 mg/L y 11,13 mg/L, con una media de 6,50 mg/L, y un coeficiente de variación del 28%. La saturación de oxígeno fluctuó entre 17,1% y 135,3%, con una media de 23,13% y un coeficiente de variación del 30%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 20**).

Tabla 20. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	4152	10,96	19,67	13,43	1,53	11%	0,9484	0,0000
Sal	PSU	4178	34,03	37,84	35,66	0,57	2%	0,9669	0,0000
Odis	mg/L	4178	1,49	11,13	6,50	1,80	28%	0,9799	0,0000
Osat	%	4178	17,1	135,3	78,30	23,13	30%	0,9876	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.5.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 20**.

En las **Figuras 31 a 34** se entregan el análisis de los parámetros temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. Para temperatura se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad, en general la mayor variabilidad se observa en los primeros metros de profundidad, y a partir de los 5 m la columna de agua tiende a homogenizarse, existiendo una mayor variabilidad en el cuarto trimestre de cada año. Para la salinidad en cambio, se observa una columna de agua homogénea, con mayor variabilidad durante el trimestre 2 y 4. Finalmente, tanto oxígeno disuelto como saturación de oxígeno presentan patrones similares, siempre con mayores niveles en los primeros metros de profundidad, exceptuando el segundo trimestre de cada año, donde se observa niveles de oxígeno homogéneos a lo largo de la columna de agua. En términos generales no se aprecian diferencias importantes entre las diferentes estaciones de muestreo en los parámetros analizados.

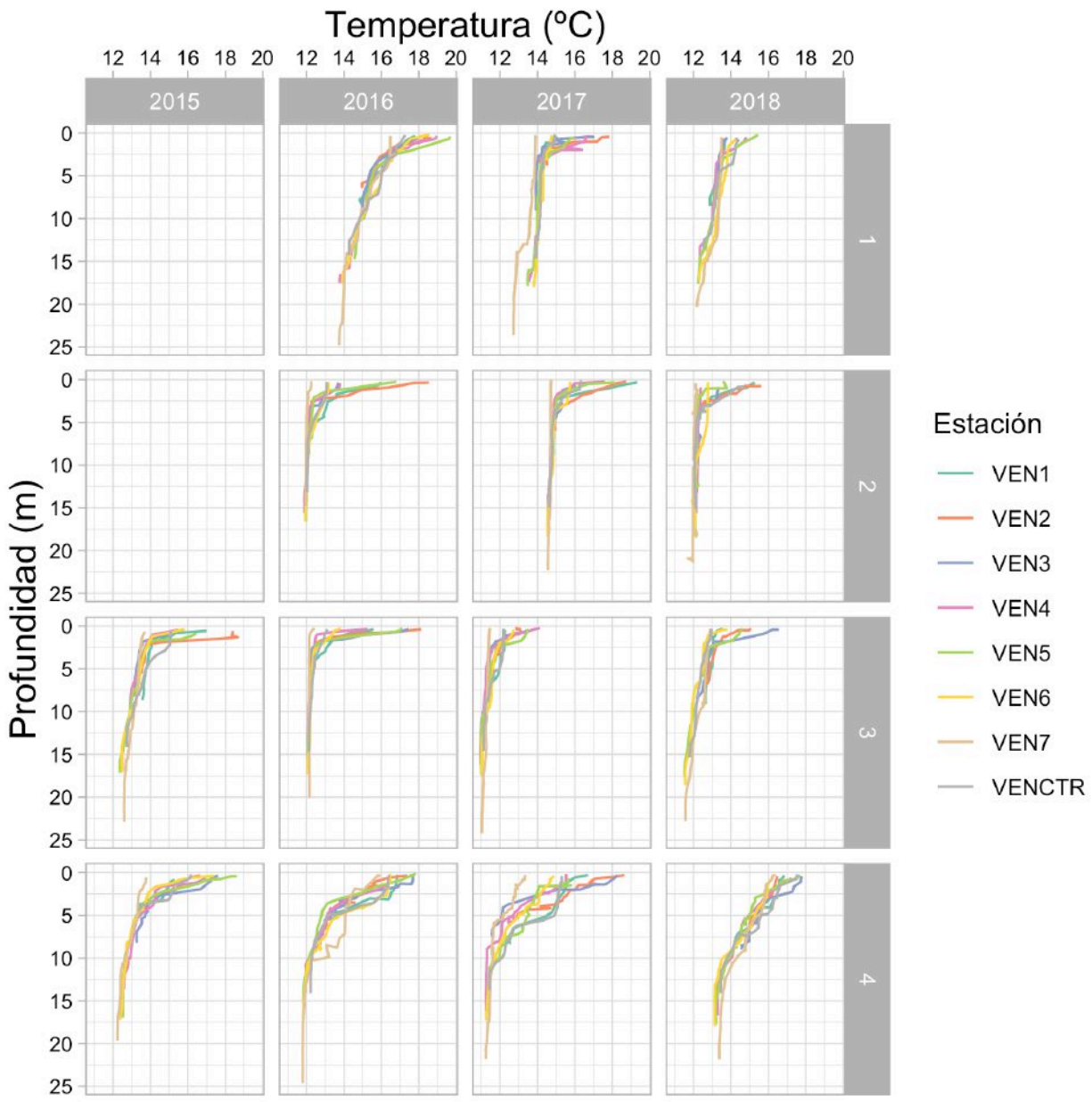


Figura 31. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018.

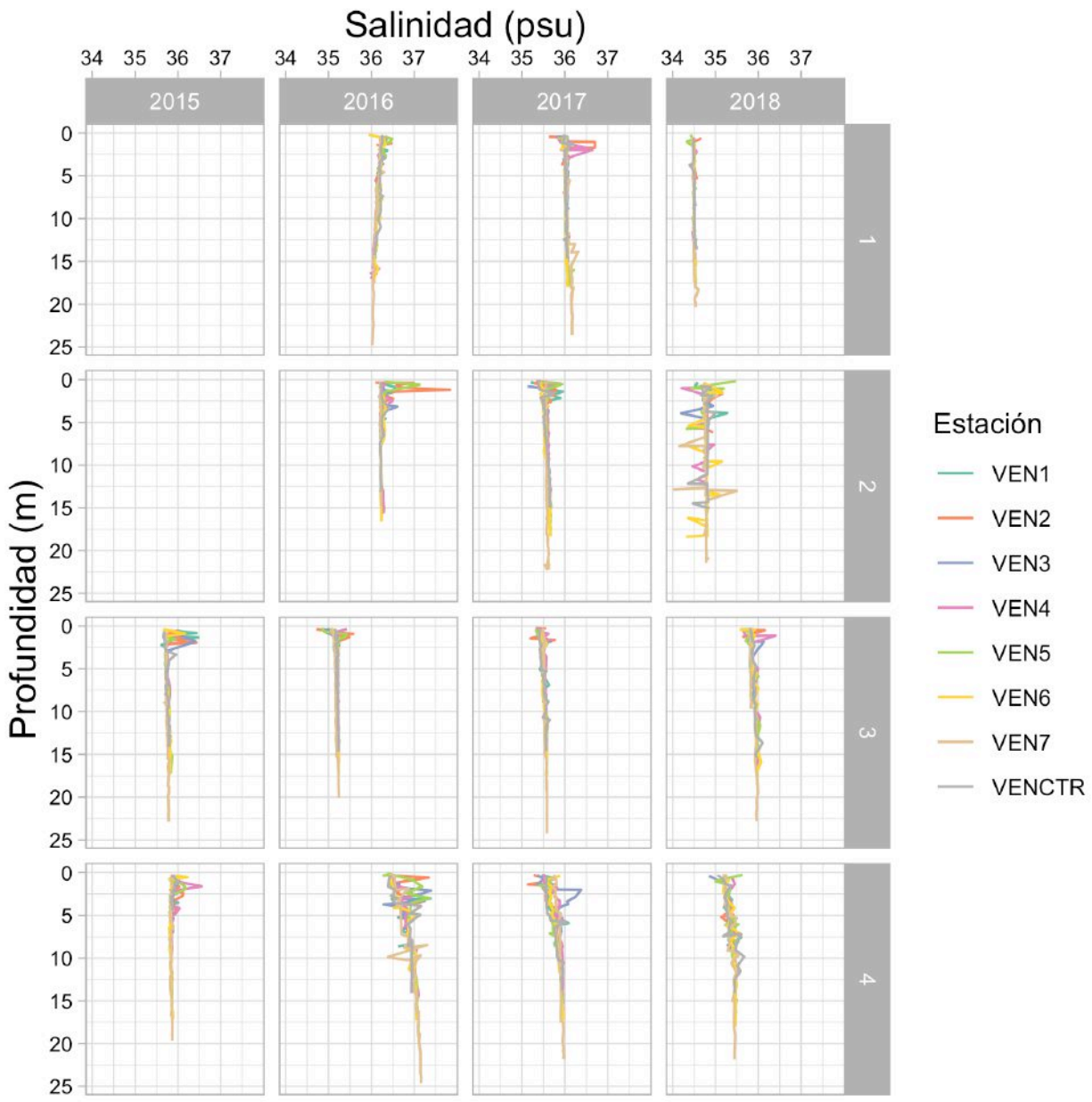


Figura 32. Perfiles de salinidad para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018.

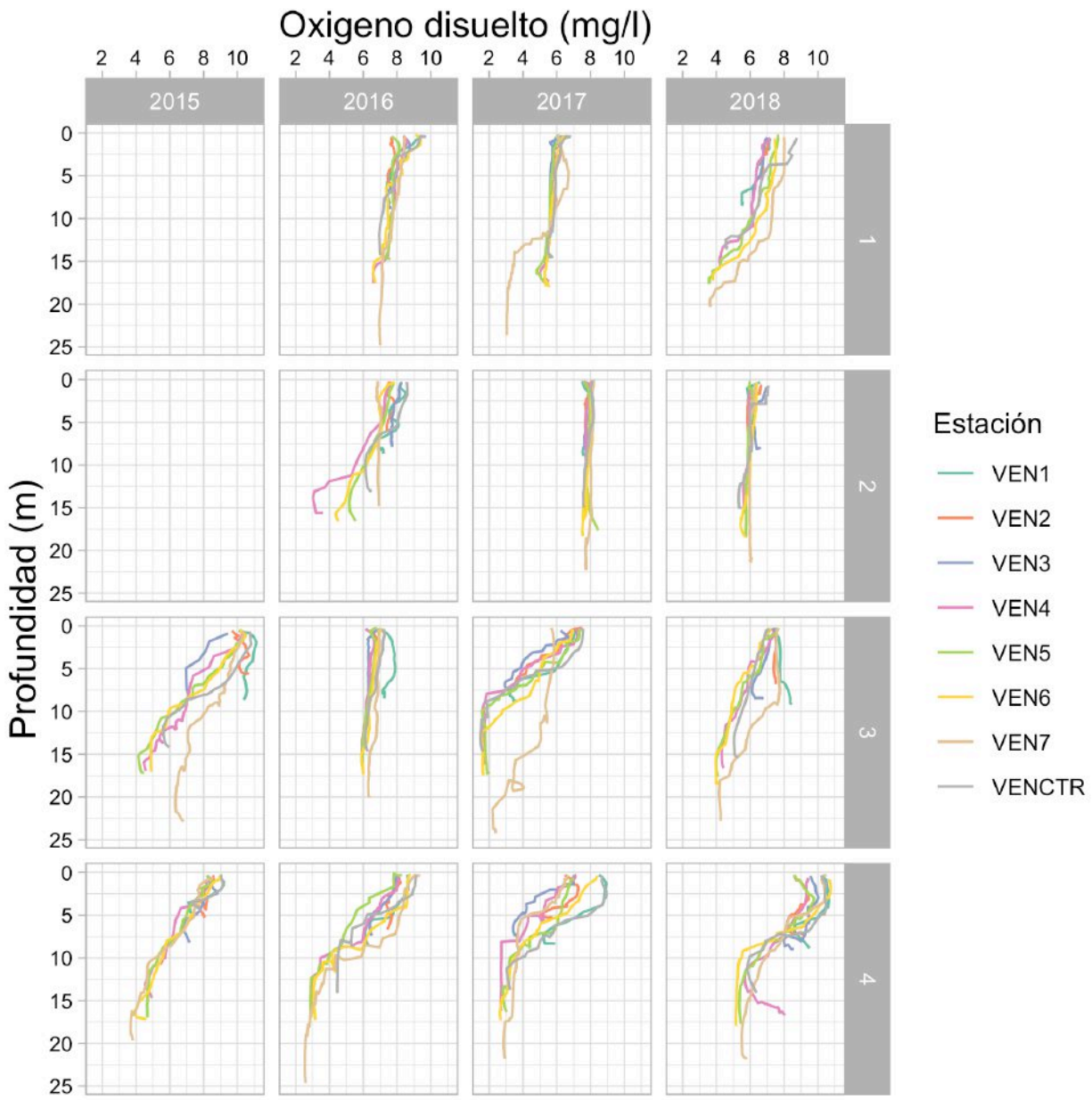


Figura 33. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018.

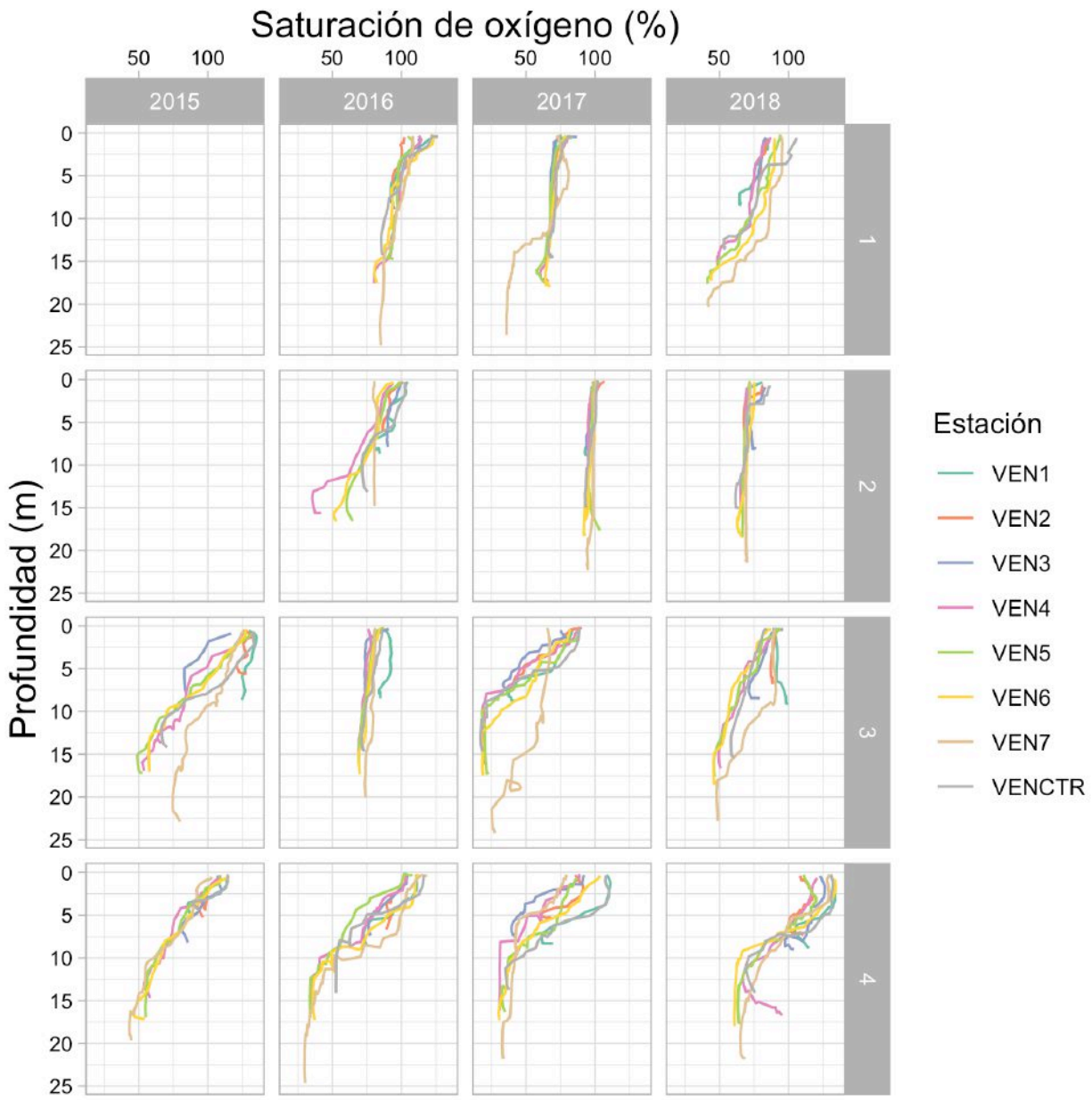


Figura 34. Perfiles de saturación de oxígeno para las estaciones submareales de UF Ventanas 4, entre los años 2015 y 2018.

5.2.5.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de transparencia e hidrocarburos totales medidos en columna agua submareal. La transparencia de la columna de agua osciló entre 2 y 12,6 m, con una media de 5,4 m, y un coeficiente de variación de 36%. Para hidrocarburos totales, los datos presentaron alta variabilidad con mínimos de 0,0001 y máximos de 10 mg/L, una media de 2,09 mg/L y un coeficiente de variación cercano al 200%. Para este último parámetro, se destaca que el 73% de los datos se encuentran bajo los límites de detección. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 21**).

Tabla 21. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Trans	m	190	2,000	12,60	5,404	1,941	36%	0,927	0,000	-
HCT	mg/L	384	0,0001	10,00	2,092	4,062	194%	0,502	0,000	73%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.5.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 21**.

En las **Figuras 35 y 36** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2014 y 2018. Para la transparencia se observa un patrón similar en todas las estaciones, con niveles que fluctúan entre los 2 y 12 m, observándose en general una caída en el año 2016, y una leve tendencia ascendente a partir del año 2018, destacando además mayores niveles de transparencia en la estación VEN-7 y menores transparencias en VEN-1 y VEN-2. En el caso de los hidrocarburos totales, se observa alta variabilidad con niveles máximos cercanos a 0,1 mg/L, y a partir del año 2018 todas las estaciones se encuentran bajo los límites de detección (LD). El cambio en el LD genera una serie de datos sin variabilidad a partir de 2018, ya que el 100% de las determinaciones de se encuentra bajo el límite de detección (<10 mg/L). No se observan diferencias importantes entre estratos.

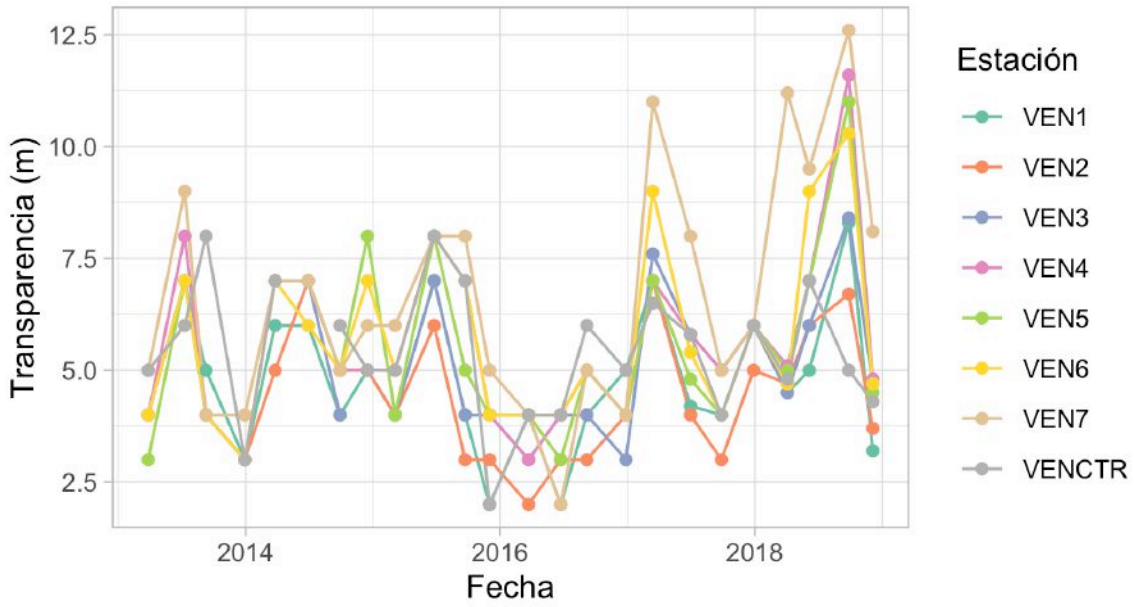


Figura 35. Transparencia de la columna de agua por estación, entre los 2013 y 2018.

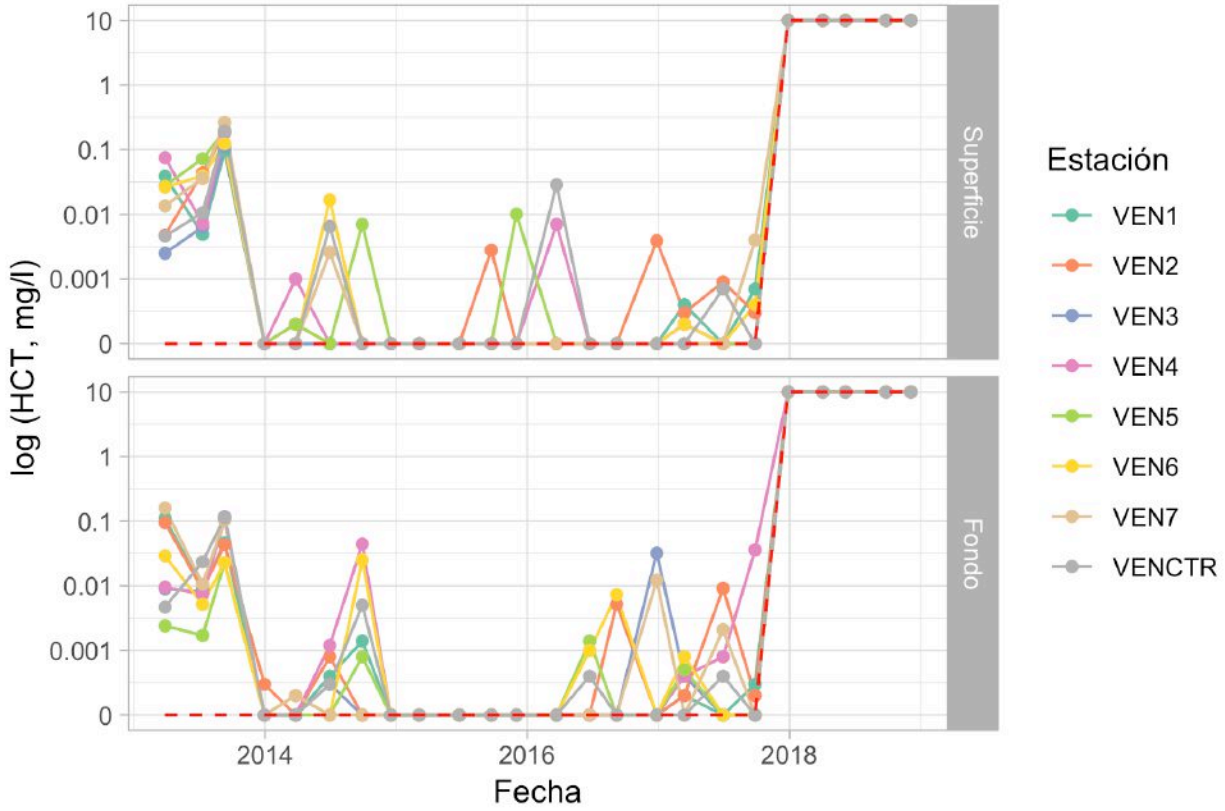


Figura 36. Niveles de hidrocarburos totales en columna de agua por estación, y estrato, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

5.2.5.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos intermareales y submareales. En términos generales los parámetros medidos presentan alta variabilidad en ambos ambientes, exceptuando arenas medias y finas (AM y AF) en el intermareal, y arenas finas y muy finas (AF y AMF) en el submareal, cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100% (**Tabla 22**).

Tabla 22. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Intermareal	CMF	%	216	0	35,6	0,68	3,37	494%	0,1903	0,0000	-
	AMG	%	216	0	43,51	2,99	7,69	257%	0,4433	0,0000	-
	AG	%	216	0	34,9	4,14	6,91	167%	0,6352	0,0000	-
	AM	%	216	0,7	51,98	11,23	10,35	92%	0,8272	0,0000	-
	AF	%	216	5,89	94,76	73,86	18,81	25%	0,8284	0,0000	-
	AMF	%	216	0,07	86,1	7,02	7,92	113%	0,5979	0,0000	-
Submareal	CMF	%	189	0	48,49	4,61	9,13	198%	0,5713	0,0000	-
	AMG	%	189	0	53,68	6,46	12,28	190%	0,5771	0,0000	-
	AG	%	189	0,06	57,153	8,09	12,33	152%	0,6613	0,0000	-
	AM	%	189	0,33	64,33	12,91	13,35	103%	0,7944	0,0000	-
	AF	%	189	0,19	91,7	43,37	23,60	54%	0,9615	0,0000	-
	AMF	%	189	0,03	64,7	23,95	16,75	70%	0,9555	0,0000	-
	HCT	mg/kg	192	0,0001	64,22	5,14	6,64	129%	0,6560	0,0000	23%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.5.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 22**.

En las **Figuras 37 y 38** se entregan la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones y estratos analizados. Para el intermareal (**Figura 37**), se puede observar que en todas las estaciones (transectas) existe una alta dominancia de arenas finas (AF), salvo durante las últimas campañas para intermareal inferior (2017 y 2018), periodo en el cual se observa predominancia de arenas muy gruesas (AMG) y cascajo muy fino (CMF) en la transecta T1; y de arenas gruesas (AG), arenas medias (AM) y arenas muy finas (AMF) en T2 y T3.

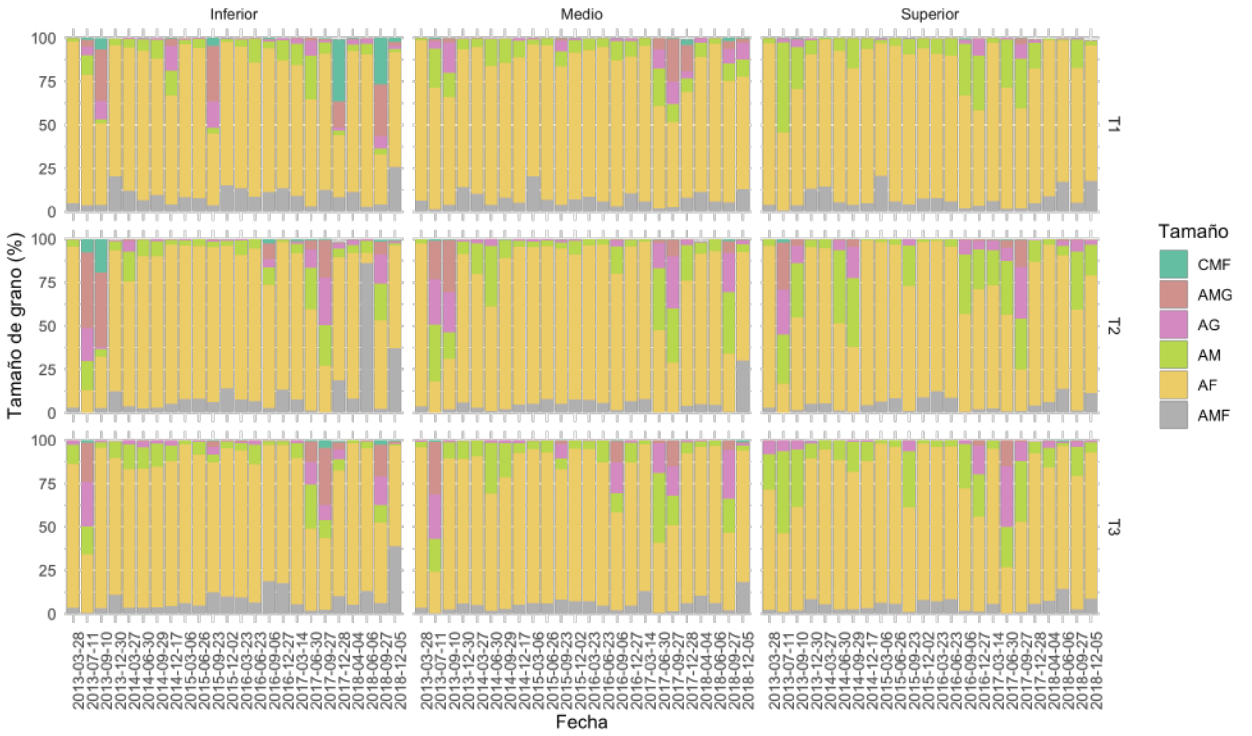


Figura 37. Fracción granulométrica por estación intermareal entre los 2013 y 2018.

En el submareal (**Figura 38**) se observa una predominancia de arenas finas (AF) en las estaciones VEN1 y VEN2, mayor dominancia de arenas muy finas (AMF) en las estaciones VEN3, VEN4 y VENCTR, arenas gruesas y muy gruesas en la estación VEN5, y mayor variabilidad entre campañas para las estaciones VEN6 y VEN7.

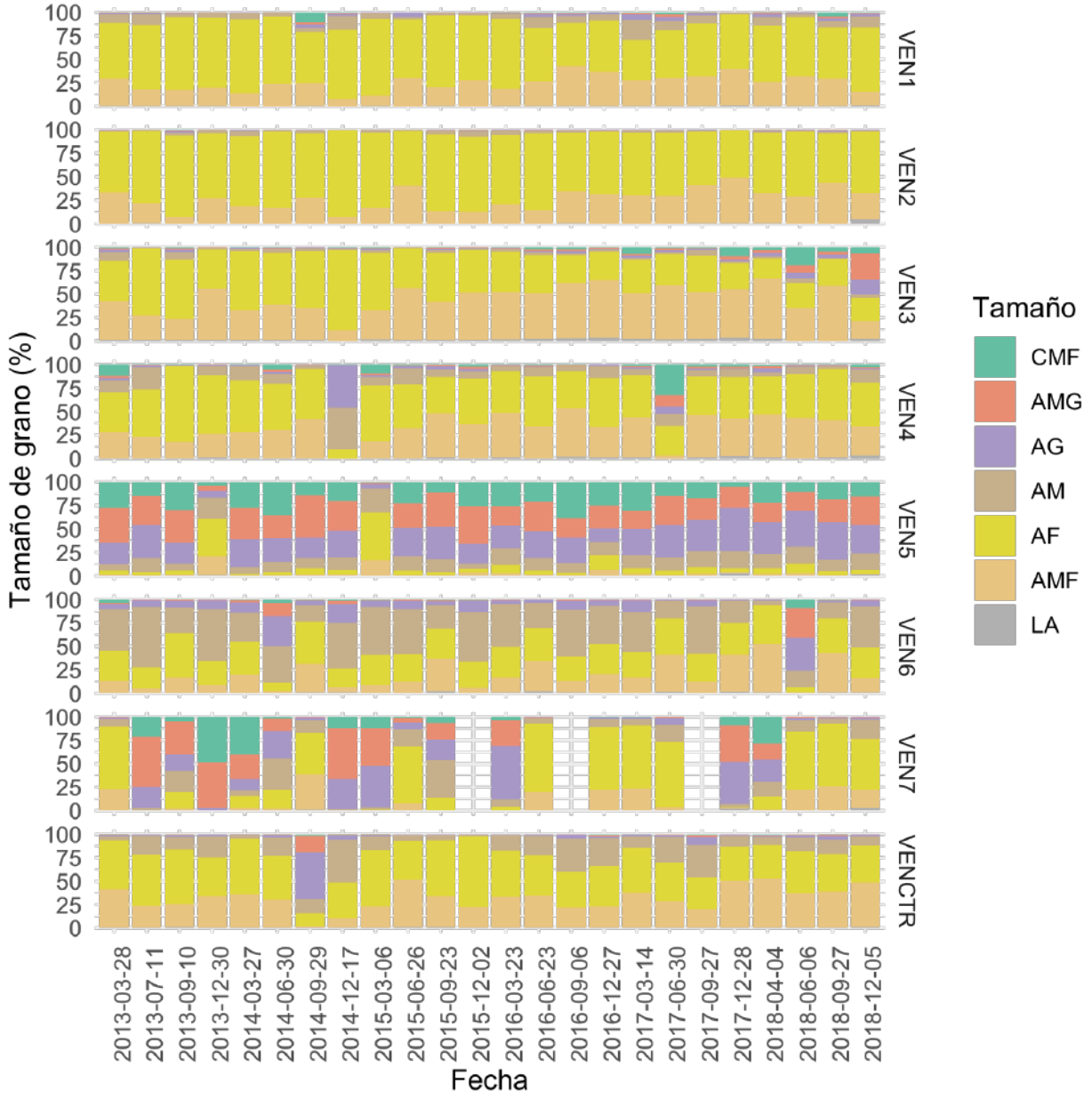


Figura 38. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2013 y 2018.

En la **Figura 39** se entrega el análisis de las concentraciones observadas de hidrocarburos totales medidos en sedimentos submareales entre los años 2013 y 2018. En términos generales, no se observa una tendencia (ascendente o descendente) en los datos, no obstante, se observa alta variabilidad en todas las estaciones, salvo en las últimas campañas (año 2018), lo que se debe a que la totalidad de los registros se encontró bajo el límite de detección analítico (<10 mg/kg). La estación VEN7 ha presentado históricamente menores niveles de hidrocarburos totales que el

resto de las estaciones. Se observan algunos peaks de importancia asociados a la estación VEN6, especialmente en 2014.

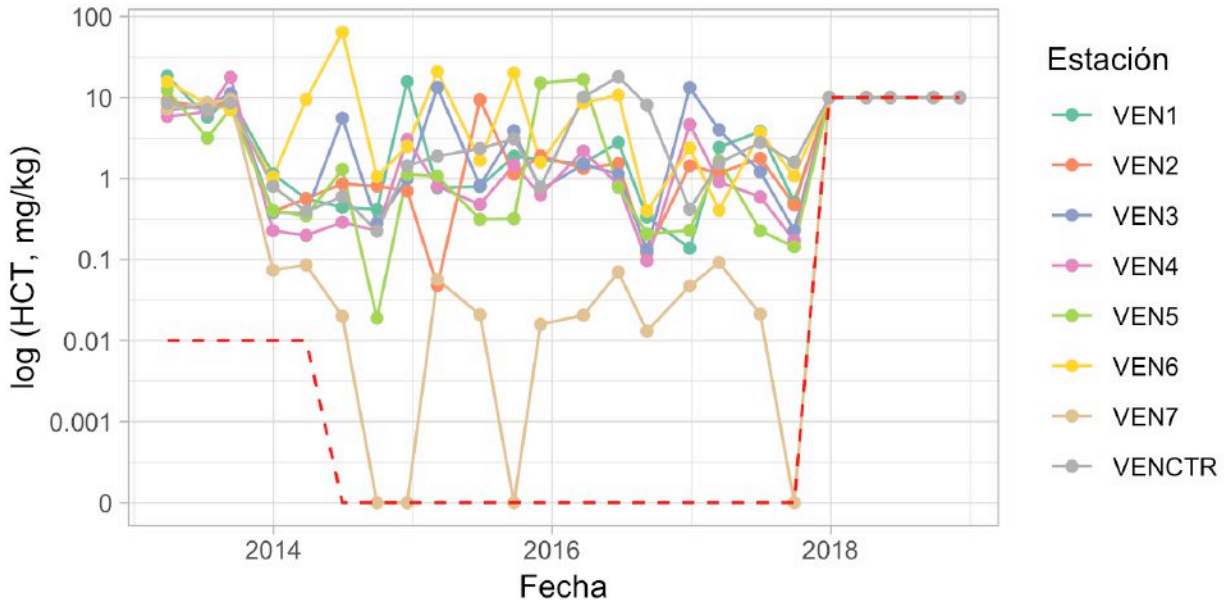


Figura 39. Niveles de hidrocarburos totales en sedimentos submareales por estación, entre los 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

5.2.5.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal e intermareal, y para los datos de abundancia para fitoplancton y zooplancton.

Para bentos intermareal, la abundancia osciló entre 1,01 y 4.541 ind/m^2, con una media de 361,5 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,06 y 370,1 g/m^2, con una media de 9,8 g/m^2. Para bentos submareal la densidad observada osciló entre 1 y 2.564 ind/m^2; con una media de 6,9 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,01 y 77,7 g/m^2, con una media de 0,3 g/m^2. En cuanto al fitoplancton, las abundancias oscilaron entre 100 y 9.783.300 ind/m^3, con una media estimada en 34.701,9. Finalmente, para el zooplancton las abundancias oscilaron entre 3,4 y 6.500.240 ind/m^3, con una media de 41.651,1 ind/m^3.

Cabe destacar que la totalidad de los parámetros presentaron alta variabilidad. con coeficientes de variación superiores a 400%, excepto la abundancia en el bentos intermareal. La prueba de

normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 23**).

Tabla 23. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	233	1,019	4541	361,45	643,69	178%	0,5502	0,0000
Intermareal	Biomasa	g/m2	235	0,06	370,1	9,78	40,47	414%	0,2333	0,0000
Bentos	Abundancia	ind/m2	3376	1	2564	6,98	62,49	895%	0,0473	0,0000
Submareal	Biomasa	g/m2	3376	0,01	77,66	0,30	2,65	889%	0,0811	0,0000
Fitoplancton	Abundancia	ind/m3	4004	100	9783300	34.701,98	218.790,39	630%	0,1198	0,0000
Zooplancton	Abundancia	ind/m3	2000	3,4	6500240	41.651,06	270.900,85	650%	0,1199	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.5.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 23**.

En la **Figura 40** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de macrofauna intermareal entre los años 2017 y 2018, observándose en todas las transectas una amplia dominancia de *Emerita analoga* en las secciones E1 y E2, para luego dar paso a *Excirolana hirsusticauda*, en las secciones E3 a E7. Destaca también en las secciones E4 y E5 una importante presencia de *Thoracophelia heterocirrus*.

Para el caso del bentos submareal, fitoplancton y zooplancton, la revisión de las bases de datos arrojó la presencia de problemas graves en términos de identificación taxonómica, registrándose un total de 380 taxa para el bentos submareal, 134 taxa para fitoplancton y 196 taxa para zooplancton. No obstante, esta riqueza taxonómica aparente, es un artefacto de la existencia de errores en la identificación de especies. A modo de ejemplo, para el bentos submareal el taxa Diastylidae sp1 aparece bajo 6 nombres distintos (Diastylidae sp.1, Diastyllidae sp.1, Dyastilidae sp.1, Dyastilidae sp1, Dyastillidae sp.1 y Dyastillidae sp1). Se destaca que este patrón se observó también en fitoplancton y zooplancton, lo que obligará a realizar modificaciones a nivel de registros en las bases de datos, si es que se requiere realizar análisis integrados de composición taxonómica.

Por este motivo, en el análisis que se presenta en este informe no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica para bentos submareal, fitoplancton y zooplancton, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices

comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

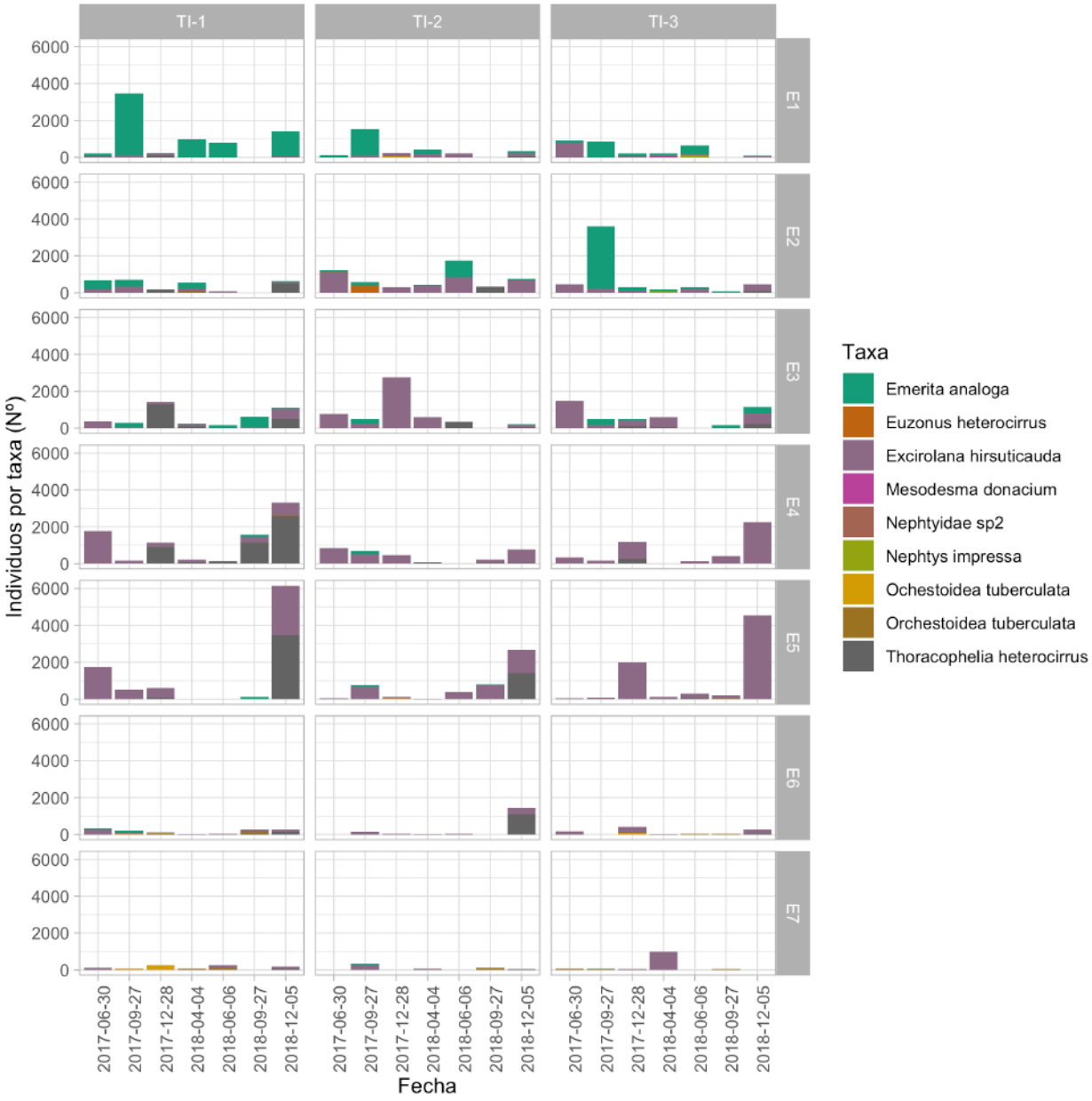


Figura 40. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2017 y 2018.

5.2.5.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.5.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 24** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando el efecto Estrato para salinidad. En el caso de la temperatura, el trimestre corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=22,3%); mientras que, para salinidad, el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=40,1%). Finalmente, para oxígeno disuelto y saturación de oxígeno el factor Estrato mostró el mayor porcentaje de devianza explicada con DE=17,6% y 18,3%, respectivamente.

Tabla 24. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			4151		704,01		
Temp	Estación	7	4144	32,90	671,11	0,0000	4,67
	Estrato	2	4142	103,14	567,97	0,0000	14,65
	Año	3	4139	4,46	563,50	0,0000	0,63
	Trimestre	3	4136	156,83	406,68	0,0000	**22,28**
			4177		37,60		
Sal	Estación	7	4170	0,07	37,53	0,0282	0,19
	Estrato	2	4168	0,01	37,53	0,5589	0,01
	Año	3	4165	15,06	22,46	0,0000	**40,06**
	Trimestre	3	4162	3,76	18,71	0,0000	9,99
			4177		2.273,50		
Odis	Estación	7	4170	122,30	2.151,20	0,0000	5,38
	Estrato	2	4168	400,51	1.750,69	0,0000	**17,62**
	Año	3	4165	202,37	1.548,33	0,0000	8,9
	Trimestre	3	4162	159,05	1.389,27	0,0000	7
			4177		30.929,24		
Osat	Estación	7	4170	1.658,14	29.271,10	0,0000	5,36
	Estrato	2	4168	5.671,39	23.599,71	0,0000	**18,34**
	Año	3	4165	2.319,23	21.280,48	0,0000	7,5
	Trimestre	3	4162	2.279,22	19.001,26	0,0000	7,37

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en cada uno de los parámetros de hidrografía (**Tabla 24**) permite observar para temperatura, que el trimestre 1 (enero-marzo) presentó las mayores temperaturas, superiores a 16ºC, mientras que el trimestre 3 (julio-septiembre) presentó las temperaturas más bajas, en torno a 14ºC. Para la salinidad, se observó importantes variaciones entre años, siendo el año 2016 el que presentó mayores salinidades (36 PSU), mientras que en 2018 las salinidades promedio fueron menores y en torno a 35 PSU. Para oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, el estrato superior presentó los mayores niveles, mientras que el estrato fondo presentó las menores concentraciones (**Figura 41**). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 3.a.**

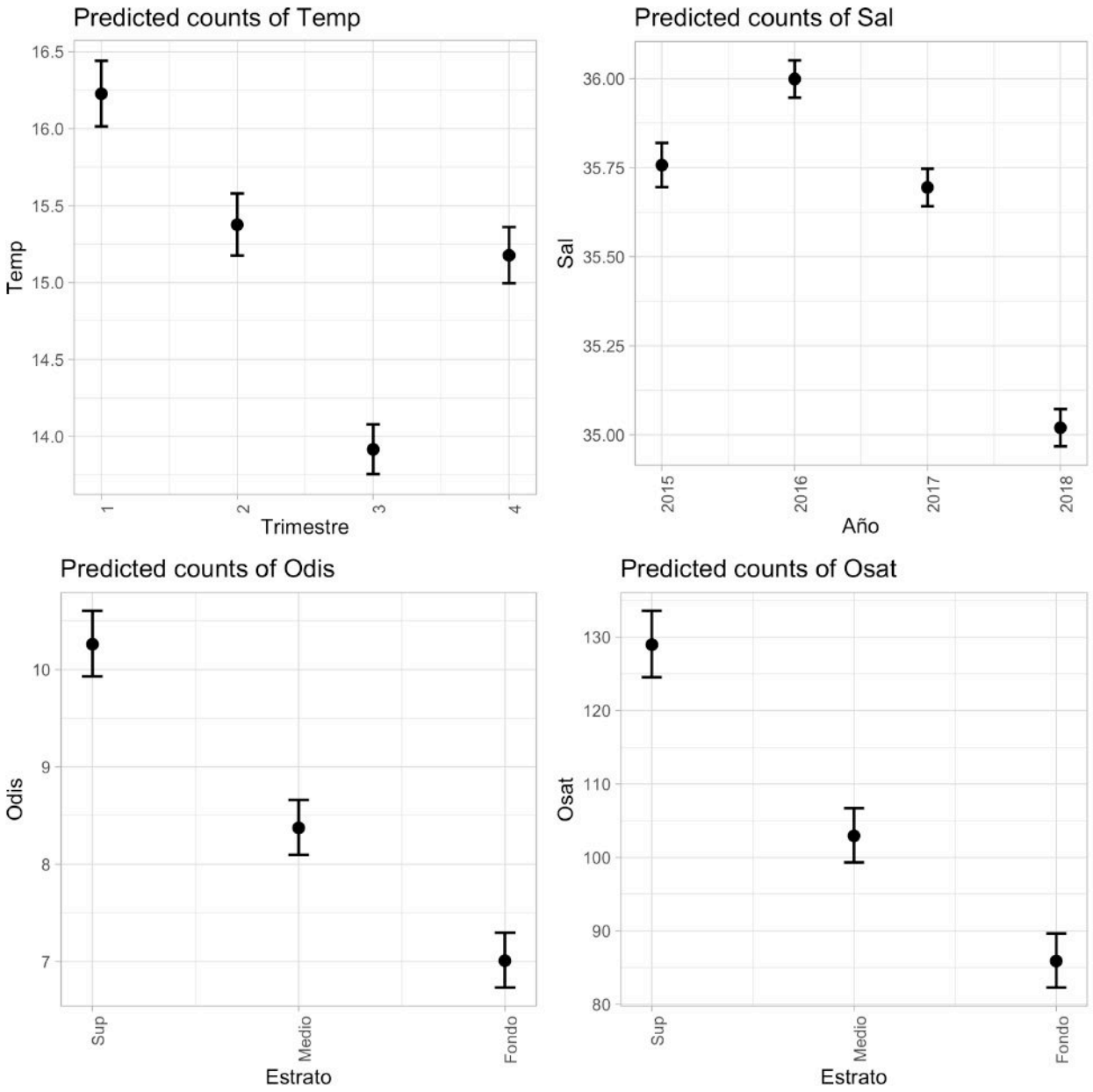


Figura 41. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.5.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 25** se entrega el resultado del GLM para Transparencia e Hidrocarburos totales, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La mayoría de los parámetros presentaron diferencias significativas para los efectos año y trimestre. Adicionalmente, la transparencia presentó diferencias significativas para el efecto

estación. Tanto en transparencia como en hidrocarburos totales, el año correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=23,3% y DE=81,9%, respectivamente.

Tabla 25. Resultados de MLG para los parámetros transparencia e hidrocarburos totales, en agua de mar, entre 2015 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			189		125,82		
Trans	Estación	7	182	13,59	112,23	0,0000	10,8
	Año	5	177	29,35	82,88	0,0000	**23,33**
	Trimestre	3	174	12,88	70,00	0,0000	10,23
			383		2.483,23		
HCT	Estación	7	376	0,00	2.483,23	1,0000	0
	Estrato	1	375	0,00	2.483,23	0,9817	0
	Año	5	370	2.034,64	448,58	0,0000	**81,94**
	Trimestre	3	367	85,29	363,30	0,0000	3,43

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 42**), indica que el año 2016 presentó las transparencias más bajas y el año 2018 los mayores niveles de transparencia promedio. En el caso de los hidrocarburos totales, se observó también importantes variaciones entre años, siendo el año 2018 el que presentó las mayores concentraciones, diferenciándose notoriamente del resto de los años (**Figura 42**). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 3.b.**

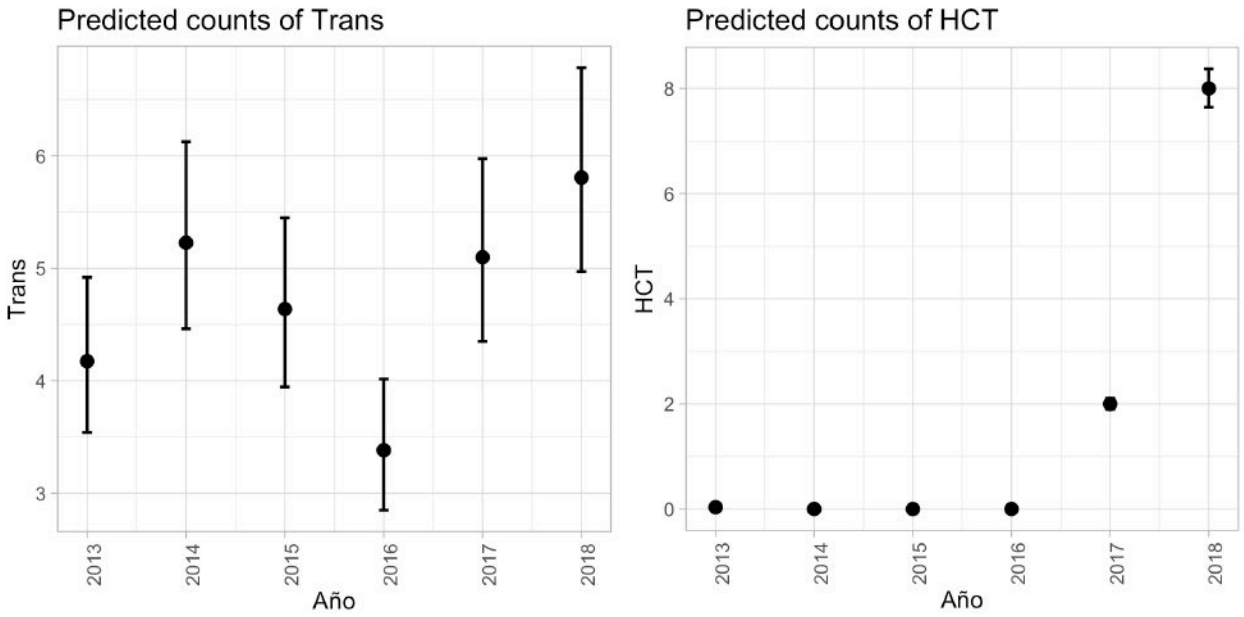


Figura 42. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.5.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Figura 43** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para la composición del sedimento intermareal entre 2013 y 2018. El análisis arrojó diferencias significativas entre campañas de muestreo (PERMANOVA R^2=0,12; P<0,001), siendo las campañas del año 2015, las que registraron mayor presencia de arenas finas (AF). Adicionalmente, las campañas del año 2018, tienden a segregarse del resto dada la mayor presencia de arenas muy finas (AMF).

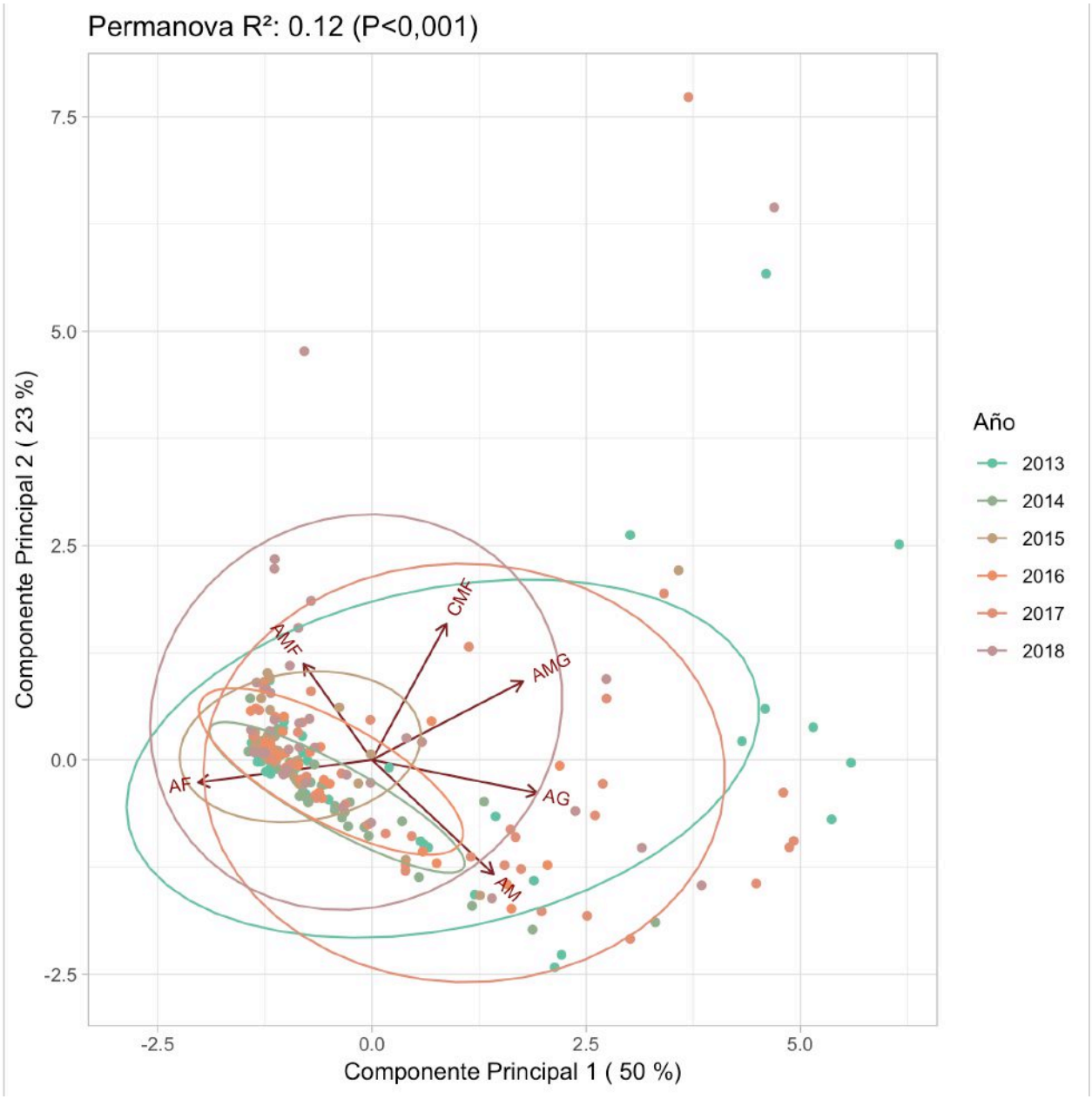


Figura 43. Análisis de componentes principales para sedimentos intermareales.

Para los sedimentos del submareal, el PCA fue realizado incluyendo la composición del sedimento y la concentración de hidrocarburos totales (HCT). Los resultados del análisis mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo (PERMANOVA R^2=0,48; P<0,001), siendo la estación VEN6 la que presentó mayor presencia de hidrocarburos totales (HCT) y de arenas medias (AM), mientras que, las estaciones VEN5 y VEN7 se segregan debido a una mayor presencia de cascajo muy fino (CMF), arenas muy gruesas (AMG) y arenas gruesas

(AG). El resto de las estaciones presentó una mayor presencia de arenas muy finas (AMF) y arenas finas (AF) (**Figura 44**).

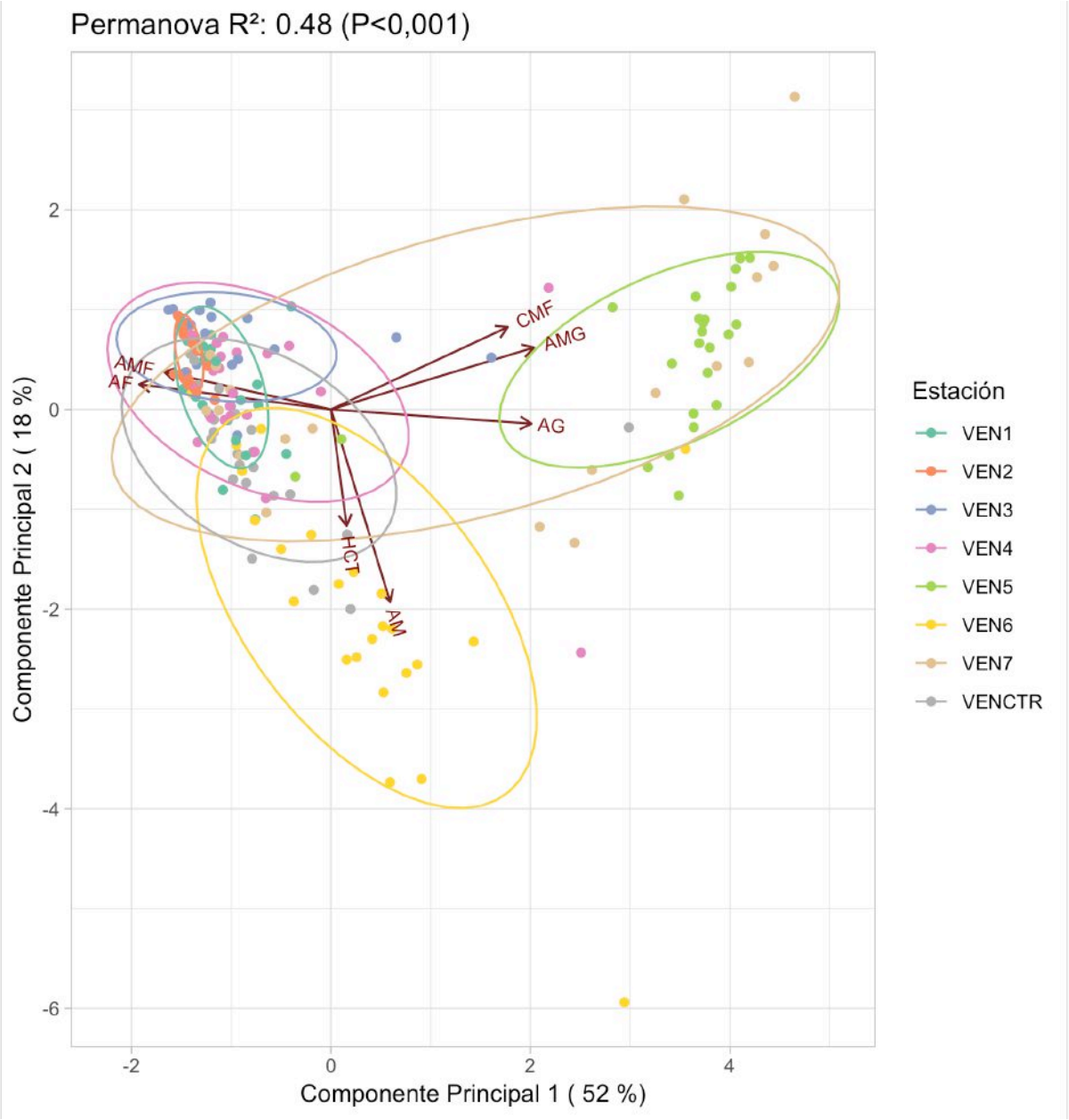


Figura 44. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales.

5.2.5.5.4 Comunidades

En las **Figuras 45** y **46** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna intermareal. La riqueza observada por campaña de muestreo, presentó alta variabilidad fluctuando entre 1 y 3 especies por estación (**Figura 45**). El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de muestreo presentan diversidades moderadas a bajas y altamente variables, observándose valores que oscilan mayormente entre 0 y 1 (**Figura 46**).

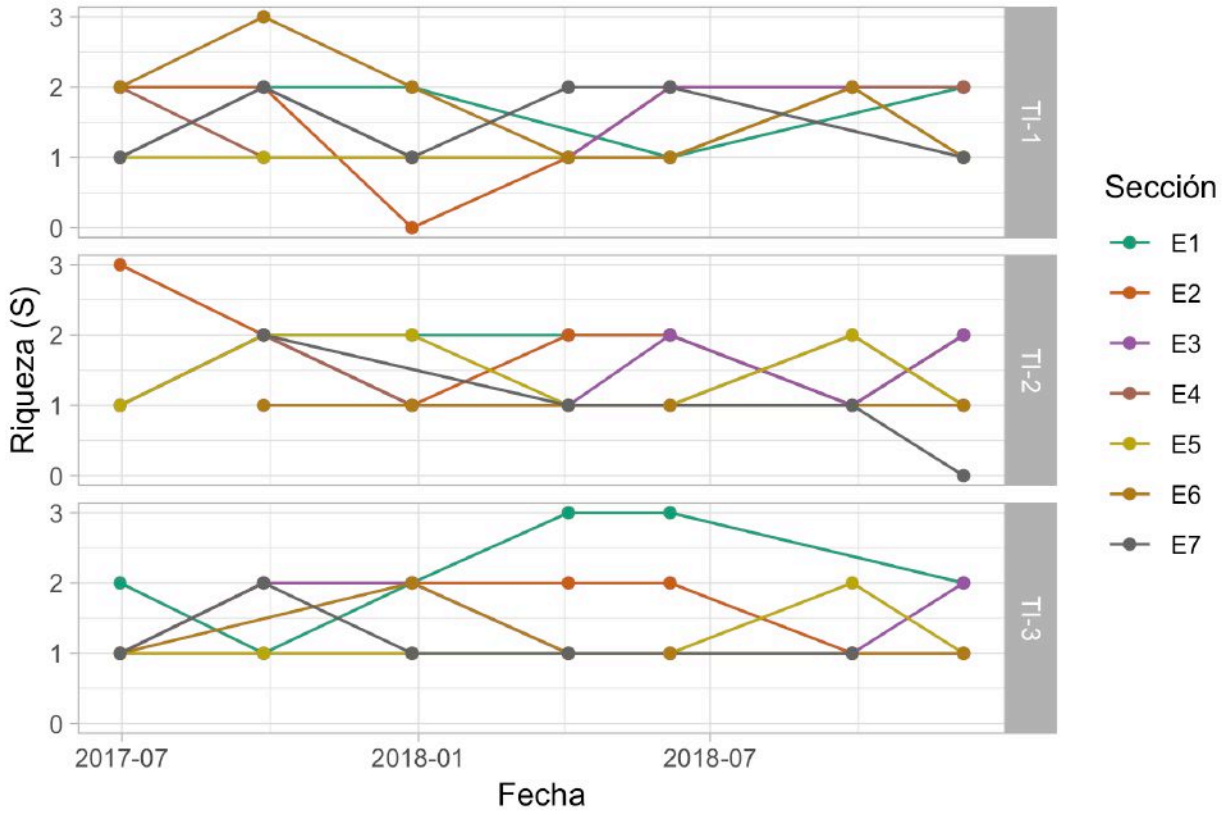


Figura 45. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

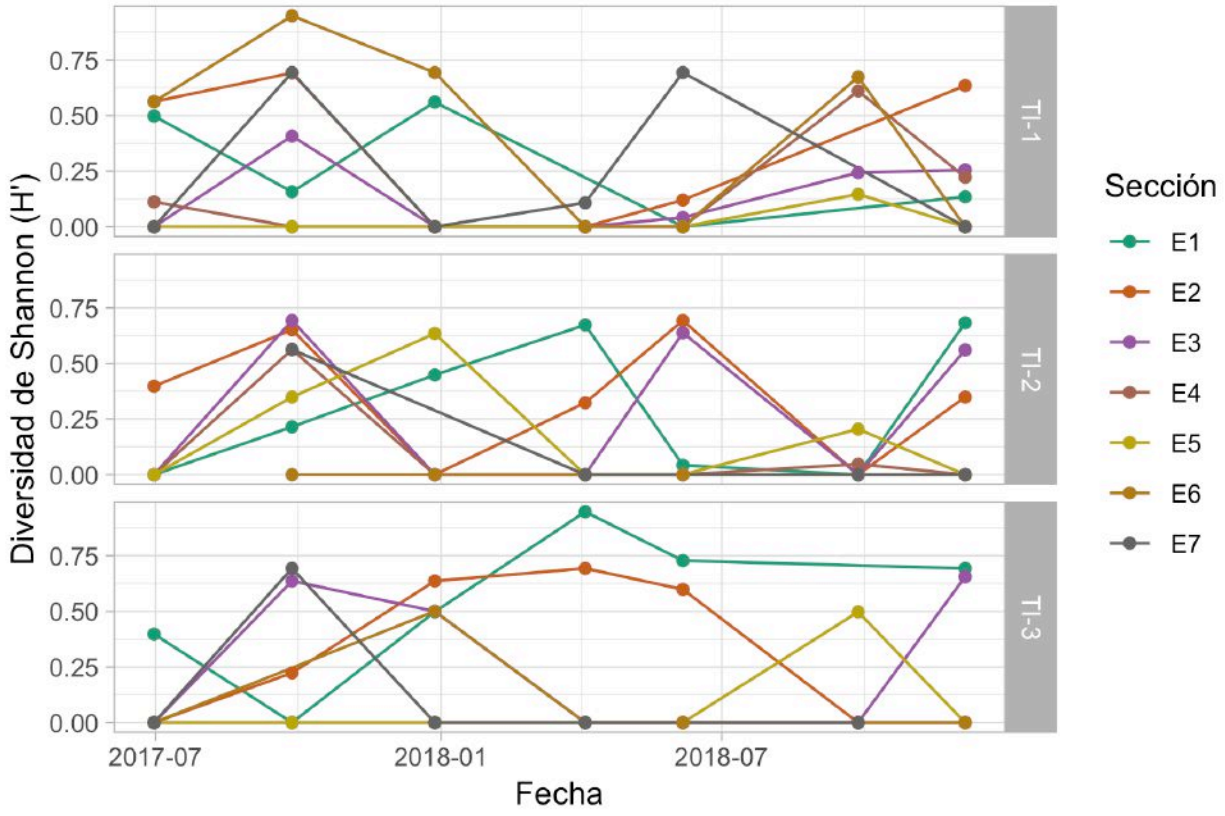


Figura 46. Resultado del análisis de Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

El análisis NMDS efectuado para macrofauna intermareal (**Figura 47**), muestra la existencia de un patrón asociado a la diferenciación entre secciones de muestreo, mientras que la sección E1 tiende a diferenciarse debido a la mayor presencia de la especie *Emerita analoga*, la sección E7 se diferencia debido a una mayor presencia de la especie *Orchestoidea tuberculata*. Finalmente, las secciones E4 y E5 tienden a segregarse dada la presencia de las especies *Excirolana hirsusticauda.* Estos resultados corroboran que la estructura de las comunidades del intermareal obedece a un cambio en el patrón de secciones, más que a una diferenciación entre transectas de muestreo, resultado estadísticamente significativa (PERMANOVA R^2=0,36; p<0,001).

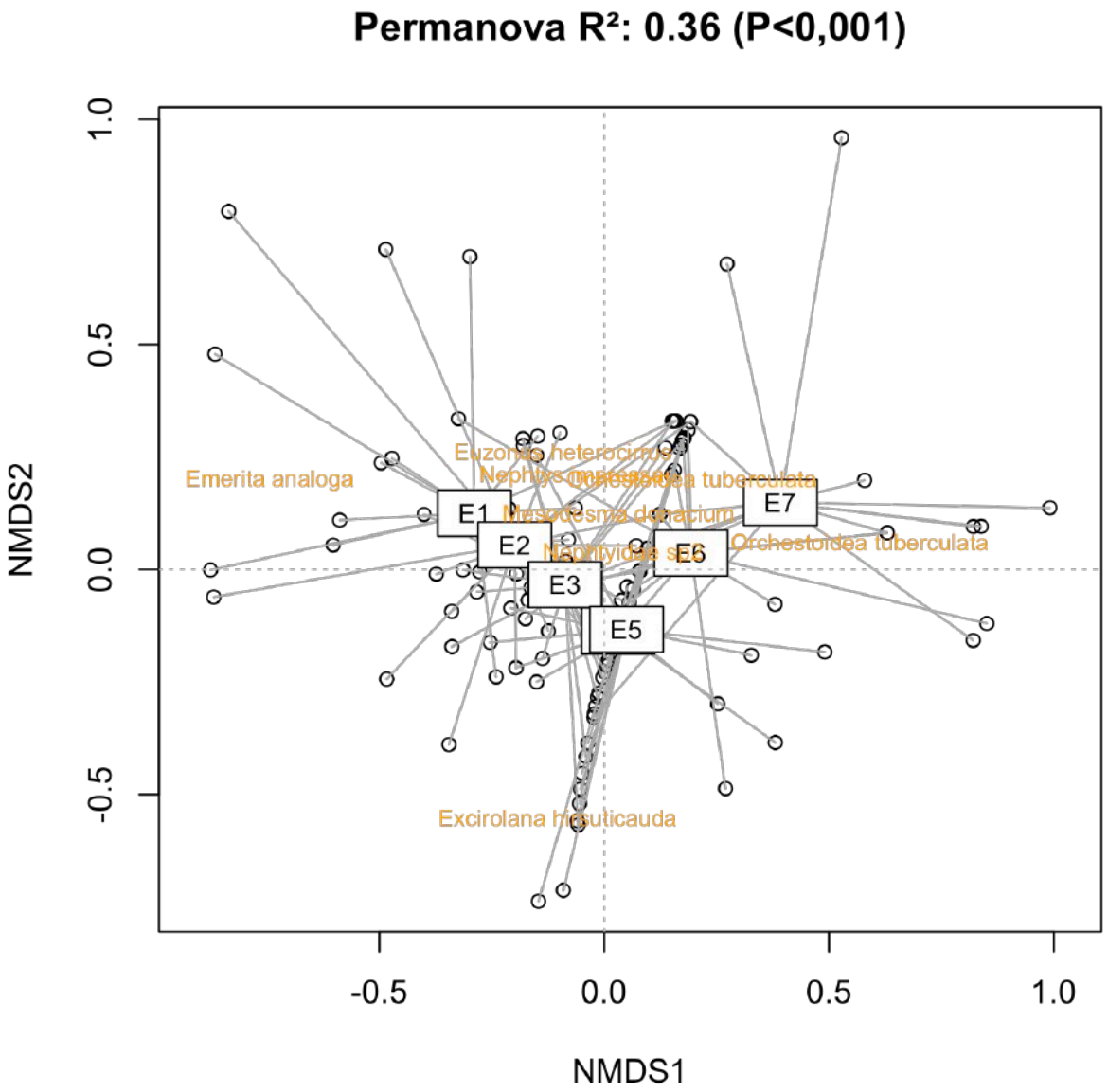


Figura 47. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal.

En la **Figura 48** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada por campaña de muestreo, presentó alta variabilidad fluctuando mayormente entre 5 y 40 especies por estación. Se destacan las estaciones VEN4 y VEN5 por presentar el mayor número de especies en la mayoría de las campañas analizadas. Por otro lado, las estaciones VEN1 y VEN2 presentaron niveles de riqueza bajos para la mayoría de las campañas analizadas. El resultado del análisis del índice de

diversidad de Shannon muestra que las campañas de muestreo presentan diversidades moderadas a altas y altamente variables, observándose valores que oscilan mayormente entre 1 y 3. En términos generales, las estaciones VEN5 y VEN6 presentaron los mayores niveles de diversidad, mientras que la estaciones VEN1, VEN2, VEN 4 y VEN7 presentaron los niveles más bajos de diversidad.

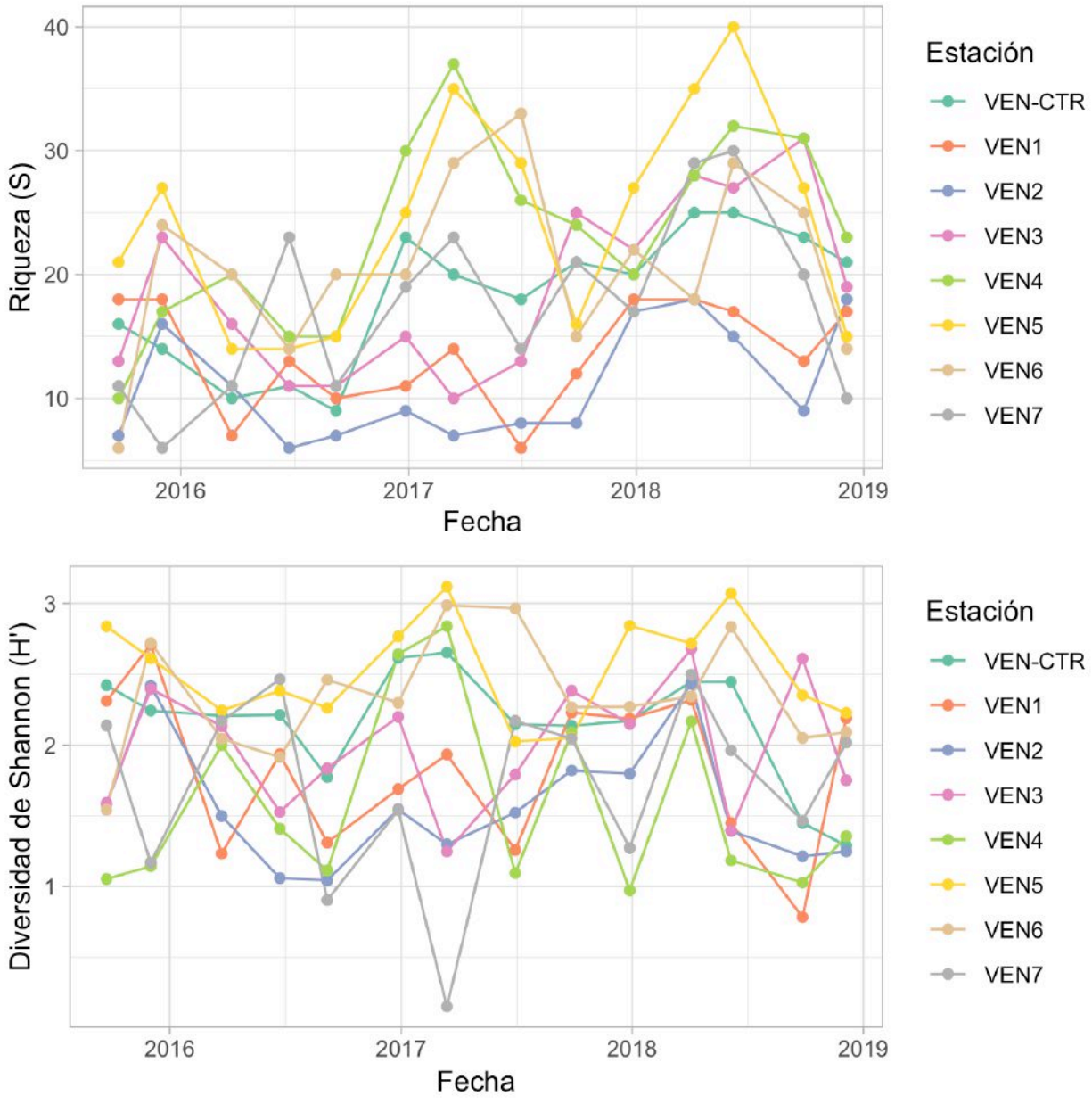


Figura 48. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

En la **Figura 49** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del fitoplancton. La riqueza observada por campaña de muestreo, osciló mayormente entre 5 y 35 especies por estación, siendo las campañas estivales del año 2015, las que presentaron las mayores riquezas (S>30), se observa también una marcada estacionalidad en la serie analizada, donde las campañas de invierno presentaron en general, menores riquezas. En general se observa escasa diferenciación entre estaciones de muestreo. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas presentan diversidades moderadas, observándose niveles de diversidad que oscilan mayormente entre 1 y 2. En términos generales, campañas de los años 2015 y 2016 presentaron mayores índices de diversidad estivales que las campañas de los años 2014, 2017 y 2018.

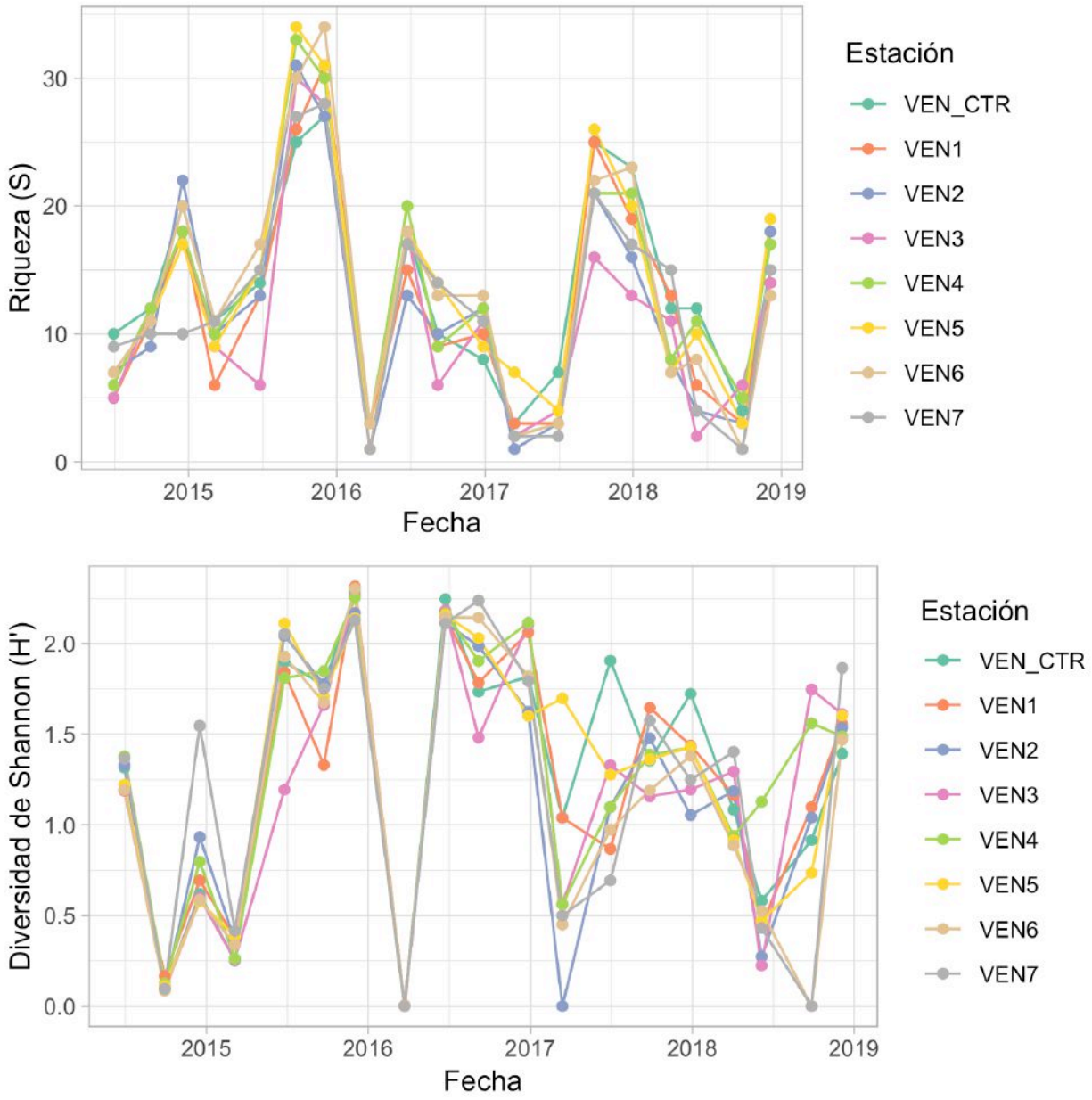


Figura 49. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton.

En la **Figura 50** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del zooplancton. La riqueza observada por campaña de muestreo, osciló mayormente entre 5 y 24 especies por estación, observándose a partir del año 2015 una mayor riqueza de especies. La serie muestra cierta diferenciación entre estaciones de muestreo, destacando los peaks observados en VEN4 durante 2015 y 2018 y en VEN7 y VEN_CTR durante diciembre de 2018. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de

muestreo presentan diversidades moderadas, observándose valores que oscilan mayormente entre 1 y 2. En términos generales las campañas efectuadas en 2014 y 2016 presentaron menores índices de diversidad que las campañas de 2015, 2017 y 2018.

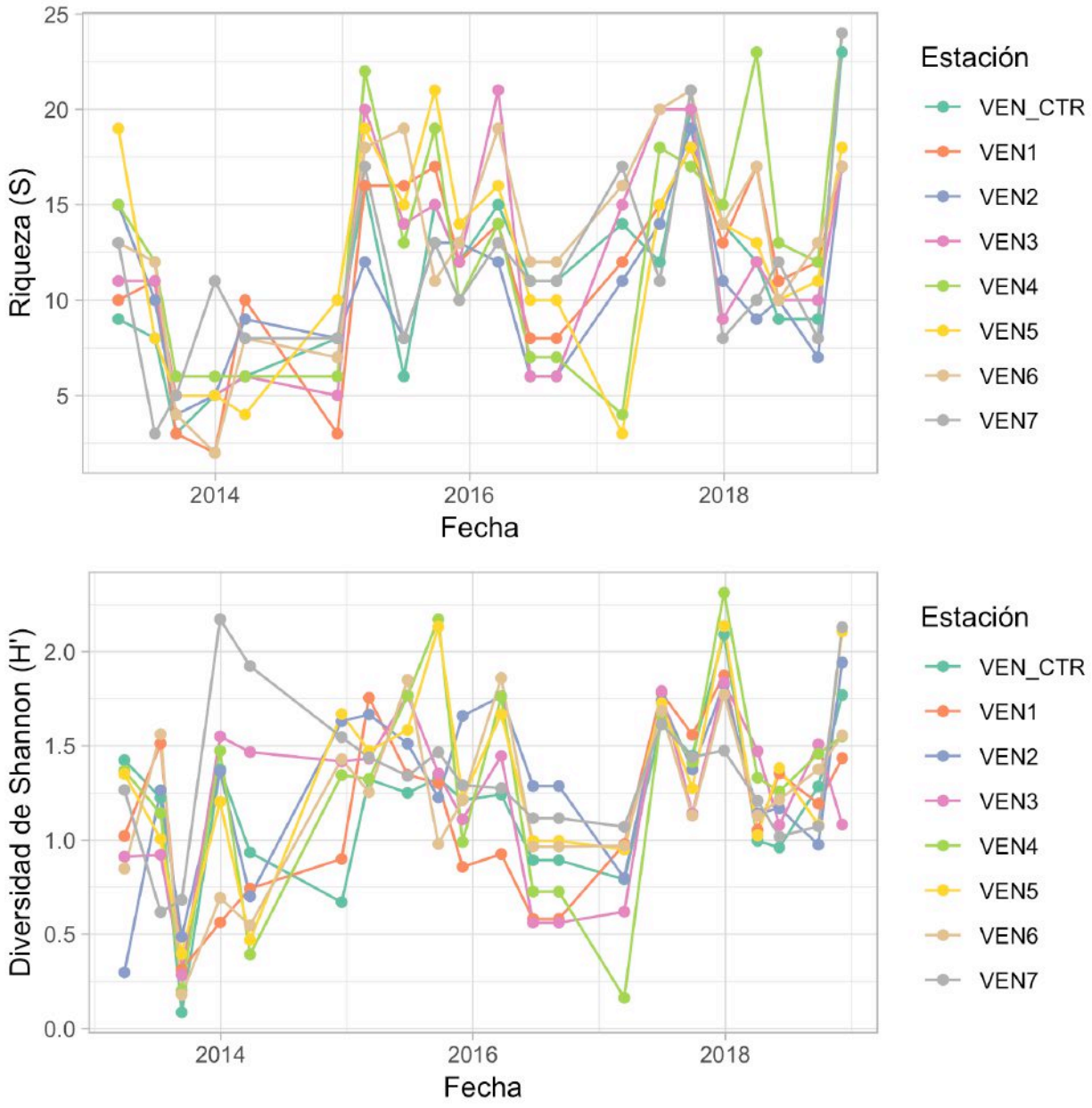


Figura 50. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton.

5.2.5.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para los parámetros de hidrografía, tanto el oxígeno disuelto como la saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas entre estratos de profundidad, donde el estrato superficial presentó las mayores concentraciones, el cual va disminuyendo gradualmente a mayor profundidad.

Diferencias entre años

Para los parámetros de hidrografía, la salinidad presentó diferencias significativas entre años de monitoreo, observándose una tendencia descendente entre los años 2016 y 2018, siendo el año 2018 el que presentó las menores concentraciones, con niveles promedio en torno a 35 PSU.

Para calidad de agua, sólo los parámetros transparencia y HCT presentaron diferencias significativas entre años. Para el caso de la transparencia, se observa una importante variabilidad interanual, con una tendencia ascendente a partir del año 2016. Para el caso de los HCT, las diferencias observadas responden más bien a cambios en los límites de detección observados entre las diferentes campañas analizadas. Es importante destacar que, hasta el año 2017 los límites de detección para HCT (LD=0,0001 mg/L), permitían observar cierta variabilidad en la serie de datos, no obstante, a partir del año 2018 se aumentó el límite de detección (LD = 10 mg/L) con lo cual la totalidad de las mediciones efectuadas quedaron bajo este nuevo LD, lo que implica una pérdida de información valiosa respecto a las tendencias temporales de este parámetro.

Estacionalidad

Para hidrografía, la temperatura presentó diferencias significativas entre épocas o periodos del año, siendo el primer trimestre (verano) el que presentó las mayores temperaturas con valores promedio sobre los 16ºC; mientras que, el tercer trimestre (invierno) presentó los niveles más bajos, con valores promedio en torno a 14ºC.

Diferencias espaciales

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados existen diferencias significativas entre estaciones, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada, lo cual puede estar relacionado con la cercanía de las estaciones, donde la mayoría de éstas, esta ubicada frente a la planta y en una zona muy costera (**Figura 30**).

5.2.6 AES GENER S.A UNIDAD 1 Y 2

5.2.6.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 51** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo del Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que la mayoría de las estaciones se encuentra muy cerca de la costa (alrededor de los 10 m de profundidad), con 4 estaciones ubicadas al norte del emisario submarino y 2 estaciones ubicadas al sur del emisario existente en el sector. Este programa no presenta puntos de control, mediciones lagrangianas ni estaciones intermareales.

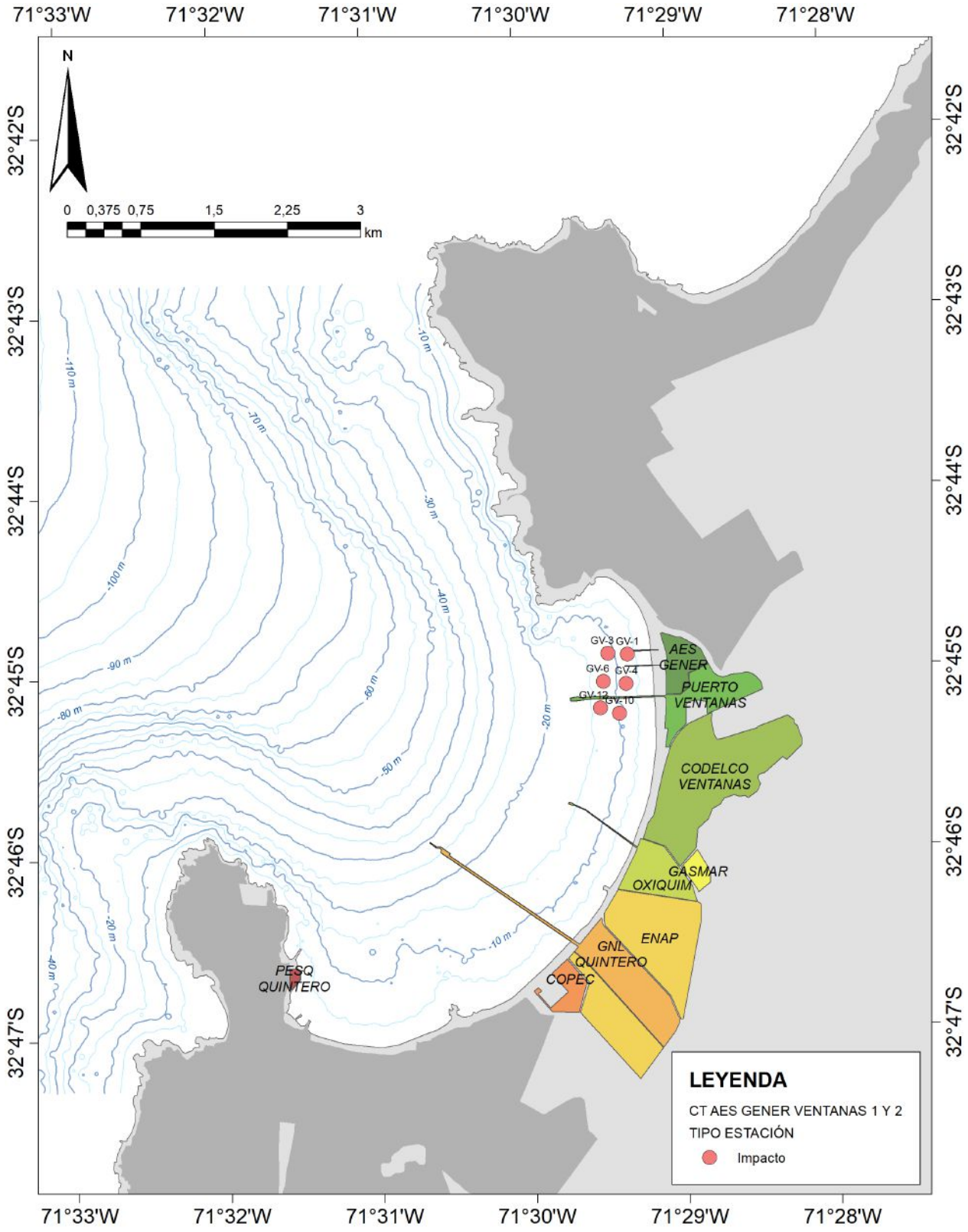


Figura 51. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2.

5.2.6.2 Matrices analizadas

La información recopilada para el Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2, consta de 6 estaciones submareales. Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, agua submareal, y sedimento submareal (**Tabla 26**).

Tabla 26. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2.

ESTACIÓN	TIPO	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS
GV-1	Impacto	X	X	X
GV-3	Impacto	X	X	X
GV-4	Impacto	X	X	X
GV-6	Impacto	X	X	X
GV-10	Impacto	X	X	X
GV-12	Impacto	X	X	X

5.2.6.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 27** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de la temperatura cada 1 m de profundidad. En calidad de agua los parámetros monitoreados corresponden a Arsénico total, Cloro libre residual, Cobre total, Hidrocarburos aromáticos totales, Oxígeno disuelto, pH, Solidos suspendidos, Fluoruro y Transparencia. En sedimentos junto con los parámetros granulométricos, se miden Arsénico total, Cobre total, COT, y Sulfuros.

Tabla 27. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Calidad agua	Arsénico total	ug/L	AsTot
Calidad agua	Cloro libre residual	mg/L	CLB
Calidad agua	Cobre total	ug/L	CuTot
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos totales	mg/L	HAT
Calidad agua	Oxigeno disuelto	mg/L	Odis
Calidad agua	pH	unidad	pH
Calidad agua	Sólidos suspendidos	mg/L	SolSus
Calidad agua	Fluoruro	mg/L	Fluoruro
Calidad agua	Transparencia	m	Trans
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Limo arcilla	%	LA
Calidad sedimentos	Grava (equivale a CMF)	%	Grava
Calidad sedimentos	Arena (sumatoria de arenas)	%	Arena
Calidad sedimentos	Fango (equivale a LA)	%	Fango
Calidad sedimentos	Promedio gráfico	mm	M
Calidad sedimentos	Tipología del promedio gráfico	Descriptivo	PromTip
Calidad sedimentos	Grado de clasificación	phi	Clasificación
Calidad sedimentos	Tipología del grado de clasificación	Descriptivo	ClasTip
Calidad sedimentos	Grado de simetría	phi	Simetría
Calidad sedimentos	Tipología del grado de simetría	Descriptivo	SimTip
Calidad sedimentos	Arsénico total	mg/kg	AsTot
Calidad sedimentos	Cobre total	mg/kg	CuTot
Calidad sedimentos	Carbono orgánico total	mg/kg	COT
Calidad sedimentos	Sulfuros	mg/kg	S2

5.2.6.4 Estadística descriptiva

5.2.6.4.1 Hidrografía

En esta matriz se analiza únicamente el parámetro temperatura, la cual osciló entre 9,49ºC y 19,98ºC, con una media de 13,34ºC, y un coeficiente de variación del 10%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que este parámetro no se distribuye normalmente (**Tabla 28**).

Tabla 28. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	3318	9,49	19,98	13,34	1,27	10%	0,9583	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.6.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 28**.

En la **Figura 52** se entrega el perfil de temperatura, donde se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad. En general, la mayor variabilidad se observa en los primeros metros de profundidad, y a partir de los 5 m, la columna de agua tiende a homogenizarse para el Trimestre 2 (abril-junio), y por debajo de los 10 m para el Trimestre 4 (octubre-diciembre). En términos generales se observa mayor variabilidad entre estaciones durante el cuarto trimestre de cada año.

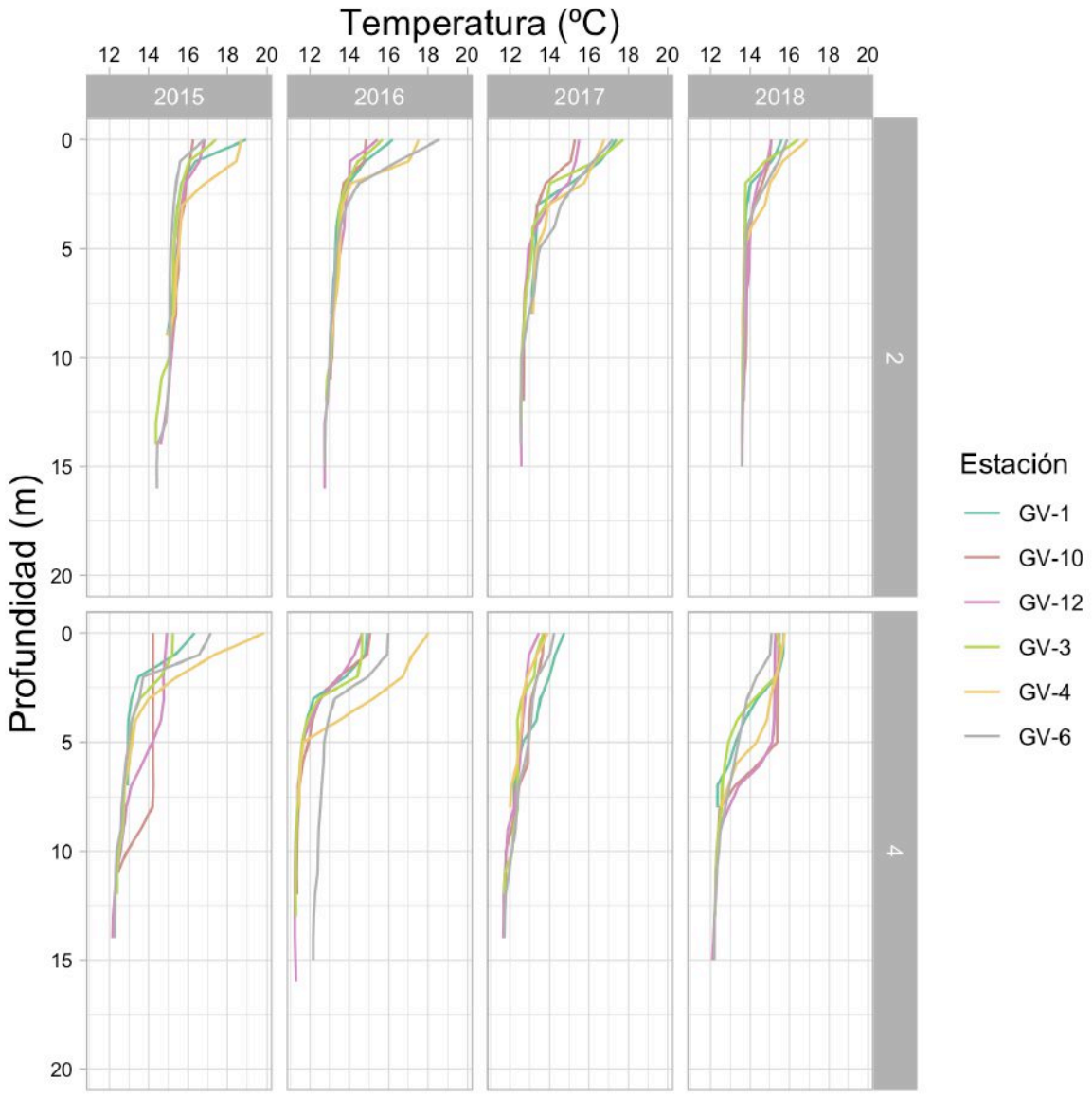


Figura 52. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF Ventanas 1 y 2, entre los años 2015 y 2018.

5.2.6.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de los parámetros Arsénico total, Cloro libre residual, Cobre total, Hidrocarburos aromáticos totales, Oxígeno disuelto, pH, Sólidos suspendidos, Fluoruro y Transparencia medidos en columna agua submareal (**Tabla 29**). El arsénico total osciló entre 0,001 y 0,13 ug/L, con una media de 0,009 ug/L, y un coeficiente de variación en torno al 200%. Para cloro libre residual, los datos presentaron alta variabilidad con mínimos de 0,01 y máximos de 0,2 mg/L, una media de 0,08 mg/L y un coeficiente de variación del 49%. Para cobre total, los datos presentaron alta variabilidad con mínimos de 0,05 y máximos de 70 ug/L, una media de 6,14 ug/L y un coeficiente de variación del 137%. Los hidrocarburos aromáticos totales, presentaron valores que fluctuaron entre mínimos de 0,00001 y máximos de 0,1 mg/L, una media de 0,004 mg/L y un coeficiente de variación del 310%. Por otro lado, el oxígeno disuelto, presentó valores que fluctuaron entre mínimos de 1,3 y máximos de 12,5 mg/L, una media de 6,92 ug/L y un coeficiente de variación del 29%. El pH, presentó valores que fluctuaron entre mínimos de 7,2 y máximos de 8,9, una media de 7,95 y un coeficiente de variación del 4%. Los sólidos suspendidos, presentaron alta variabilidad oscilando entre mínimos de 0,2 y máximos de 253 mg/L, una media de 32 mg/L y un coeficiente de variación del 132%. El fluoruro, presentó niveles que oscilaron entre mínimos de 0,5 y máximos de 1,4 mg/L, una media de 0,90 mg/L y un coeficiente de variación del 15%. Finalmente, la transparencia de la columna de agua, presentó niveles que fluctuaron entre mínimos de 2 y máximos de 17 m, una media de 5,4 m y un coeficiente de variación del 42%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 29. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
AsTot	ug/L	576	0,001	0,13	0,009	0,018	198%	0,473	5,37E-38	20%
CLB	mg/L	564	0,010	0,24	0,078	0,039	49%	0,663	6,68E-32	85%
CuTot	ug/L	570	0,050	70,00	6,135	8,389	137%	0,589	1,44E-34	18%
HAT	mg/L	295	0,000	0,09	0,004	0,012	310%	0,345	3,72E-31	34%
Odis	mg/L	569	1,300	12,50	6,924	2,002	29%	0,986	3,76E-05	0%
pH	unidad	562	7,200	8,90	7,951	0,289	4%	0,974	1,56E-08	-
SolSus	mg/L	480	0,200	253,00	31,998	42,327	132%	0,609	1,68E-31	4%
Fluoruro	mg/L	216	0,500	1,40	0,903	0,138	15%	0,868	5,16E-10	1%
Trans	m	287	2,000	17,00	5,405	2,267	42%	0,918	1,94E-11	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.6.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 29**.

En las **Figuras 53** a **61** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 1994 y 2018. Para el arsénico total (**Figura 53**), se observa alta variabilidad entre las estaciones, con niveles que fluctúan entre los 0,0005 y 0,1 ug/L, observándose en general un incremento hacia el año 2005, y a partir de ese año, una tendencia descendente hasta el año 2018. Se destaca la estación GV-12, por presentar menores niveles de arsénico y la estaciones GV-4 y GV-10 por presentar mayores niveles de este parámetro. En general no se aprecian diferencias entre estratos, aunque las estaciones de superficie tienden a presentar menor variabilidad que las estaciones de fondo.

En el caso del cloro libre residual (**Figura 54**), se observa un patrón similar en todas las estaciones, con alta variabilidad en las últimas campañas analizadas, donde se observan peaks importantes en las estaciones GV-1 y GV-4 en superficie y fondo. Se observa al comienzo, una serie de datos sin variabilidad, con todas las mediciones bajo los límites de detección. En general, se aprecia un patrón similar en los estratos de superficie y fondo en toda la serie de datos analizada.

En el caso del cobre total (**Figura 55**), se observa alta variabilidad entre estaciones y entre años de muestreo, sin observarse cambios de tendencia importantes a través de los años. Se observa para el estrato superficial la estación GV-3 presentó en general los valores más altos, mientras que la estación GV-6 presentó los valores más bajos, en el caso del fondo la estación GV-10 presenta menores valores, y la estación GV-3 presenta los valores más altos.

Para hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 56**), se observa una alta variabilidad entre estaciones y entre años de muestreo, con una tendencia ascendente entre los años 2005 y 2015. A partir de la campaña 41 (abril de 2015), se observa en superficie, que la totalidad de los parámetros se encuentra bajo los límites de detección. En el estrato de fondo, se observaron datos sólo para algunas campañas en los años 2011 y 2013, fluctuando entre mínimos de 0,0031 mg/L y 0,028 mg/L.

En el caso del oxígeno disuelto (**Figura 57**), se observa una alta variabilidad entre estaciones y entre años de muestreo, sin observarse cambios de tendencia importantes a través de los años. Se observa para el estrato superficial la estación GV-12 presentó en general los valores más altos, mientras que la estación GV-10 presentó los valores más bajos, en el caso del fondo la estación GV-1 presenta valores altos, y la estación GV-12 presenta los valores más bajos.

En el caso del pH (**Figura 58**), se observa una alta variabilidad entre los años de muestreo, sin observarse cambios de tendencia importantes. No obstante, se observan peaks de importancia en el año 2005 para el total de estaciones. En superficie la estación GV-4 presentó los menores valores, y la GV-12 los valores más altos; en el estrato de fondo la estación GV-3 presenta los valores más bajos y la GV-12 los valores más altos.

Para sólidos suspendidos (**Figura 59**), se observa una escasa variabilidad entre estaciones y años de muestreo, sin observarse una tendencia en la serie de datos. No obstante, se observan peaks en algunas estaciones en los años 1999 para superficie y año 1999 y 2011 para el estrato de fondo. En términos generales, los estratos de superficie y fondo presentan el mismo patrón.

En el caso de los fluoruros (**Figura 60**), se observan datos desde el año 2012, con alta variabilidad entre estaciones en la campaña de octubre de 2012 y mayo de 2018. En general los valores fluctuaron entre 0,5 y 1,4 mg/L en los estratos de superficie, medio y fondo.

Finalmente, la transparencia de la columna de agua (**Figura 61**), presentó una alta variabilidad entre las estaciones de monitoreo y años de muestreo, sin observarse cambios de tendencia importantes. No obstante, se observan peaks de importancia en el año 2007 y 2018 asociado a la estación GV-3, y en el año 2015 asociado a la estación GV-6, con niveles de transparencia en torno a 17 m.

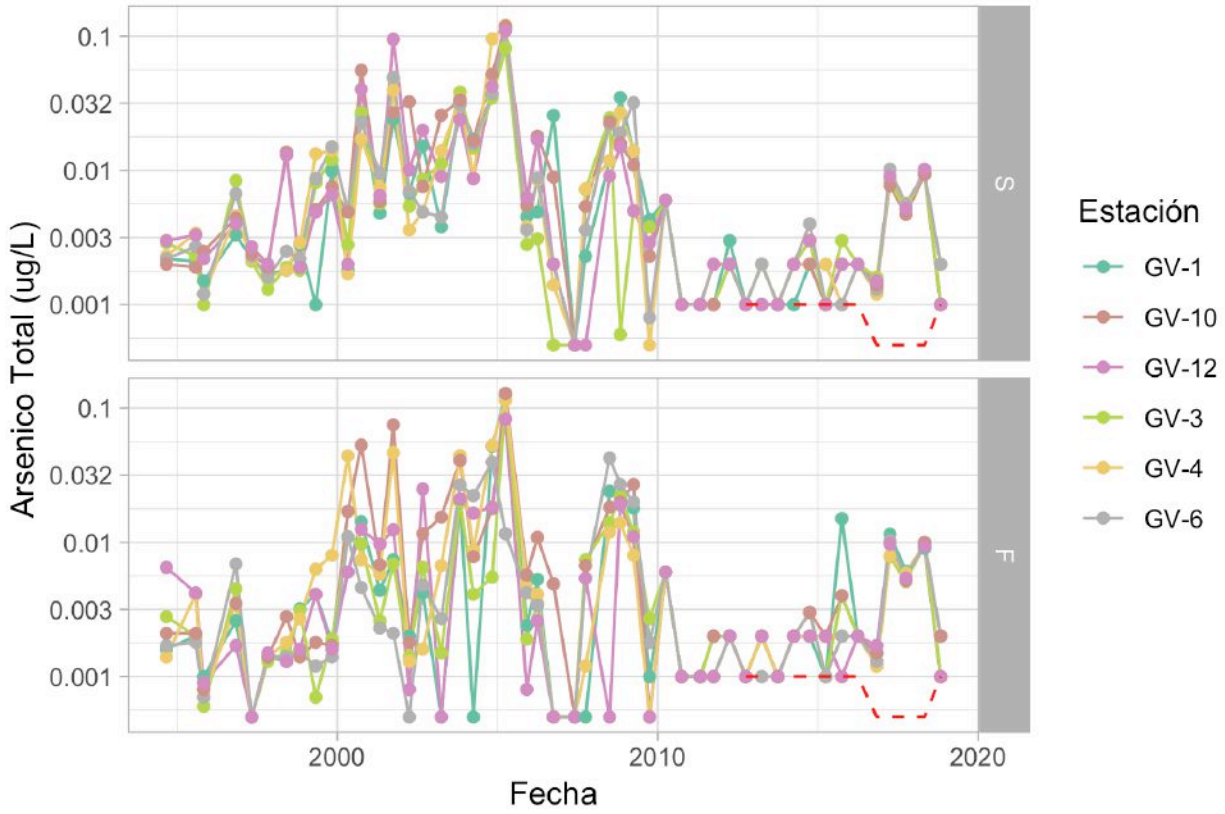


Figura 53. Arsénico total de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

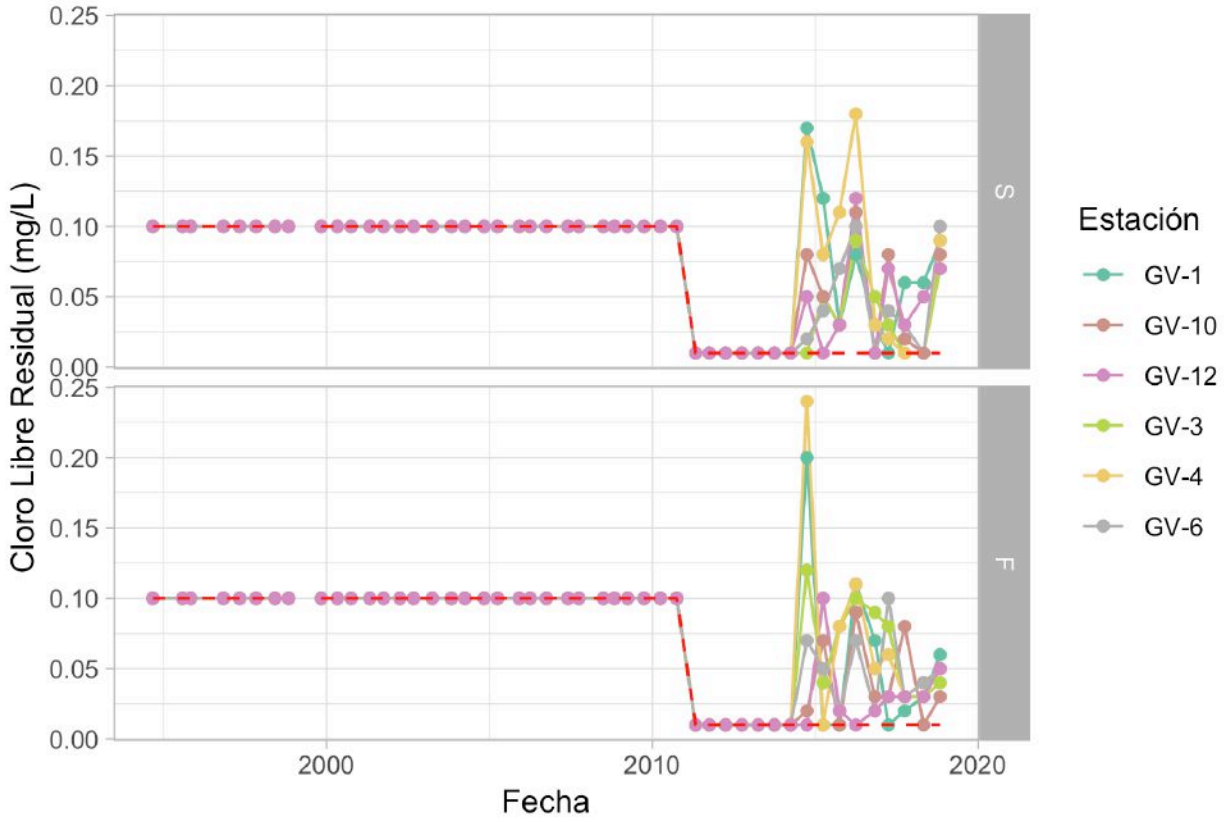


Figura 54. Cloro libre residual de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

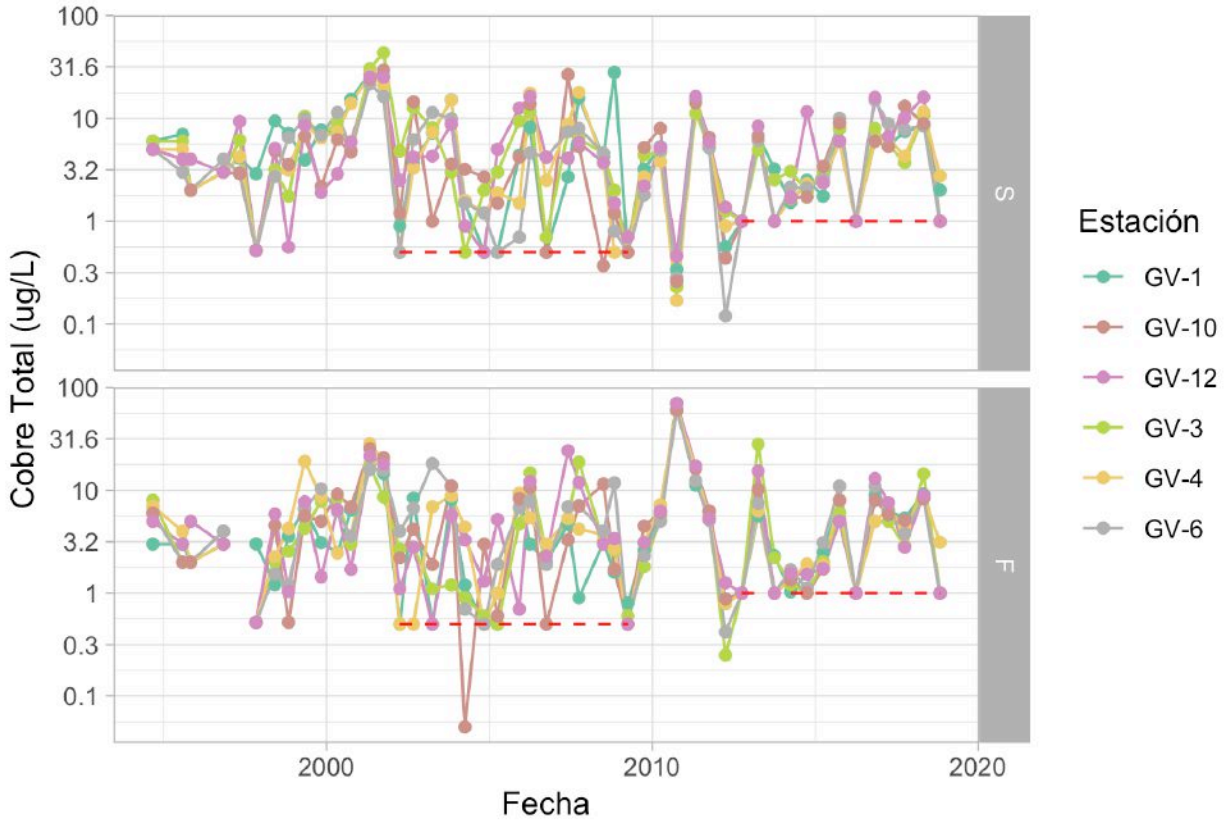


Figura 55. Cobre total de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

Figura 56. Hidrocarburos aromáticos totales de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

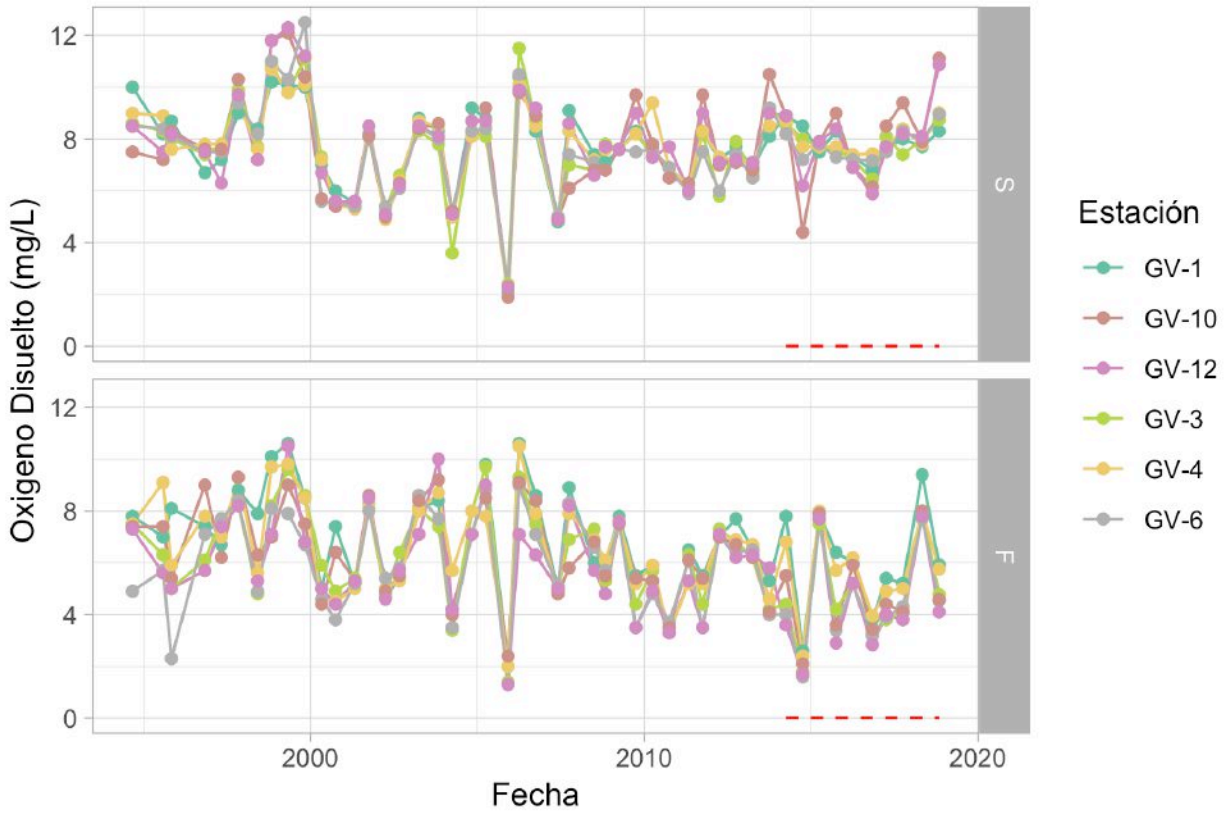


Figura 57. Oxígeno disuelto de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

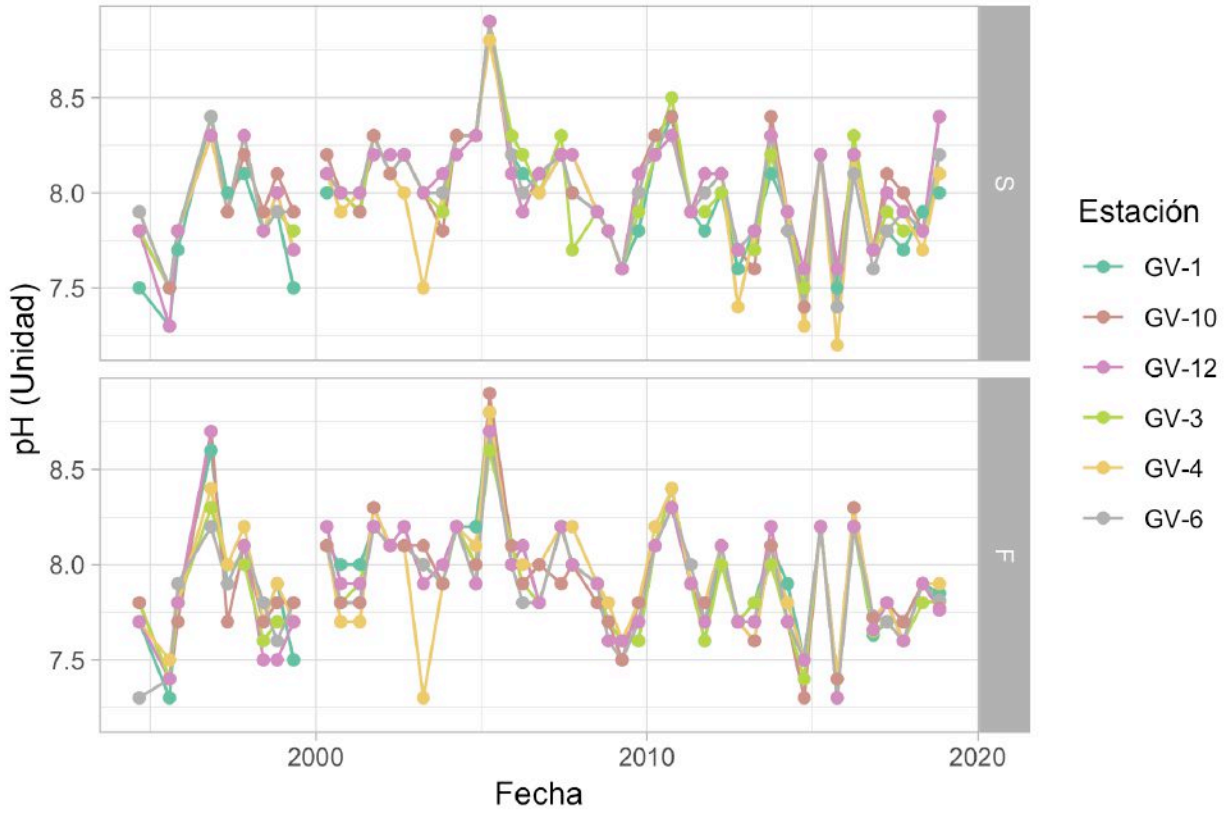


Figura 58. pH de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018.

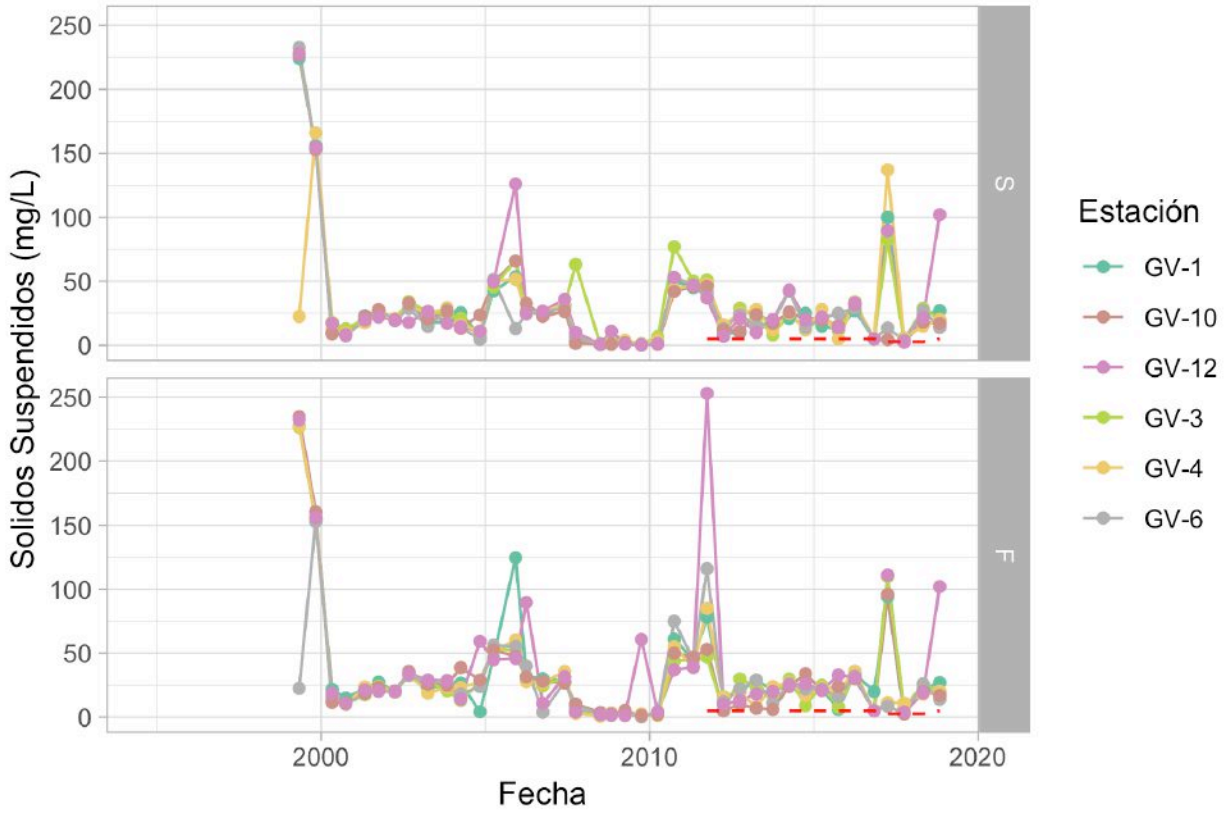


Figura 59. Sólidos suspendidos de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

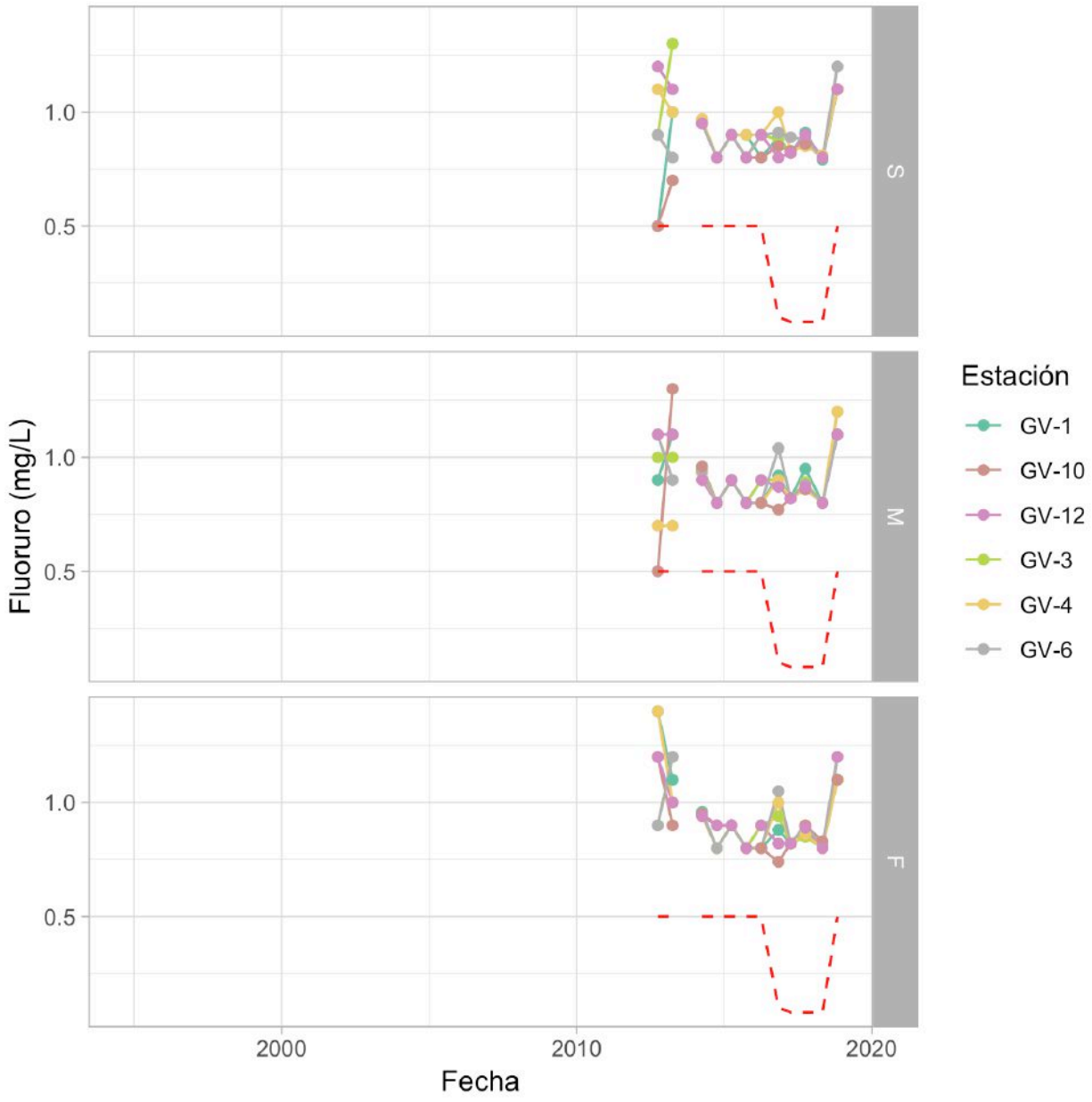


Figura 60. Fluoruros de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

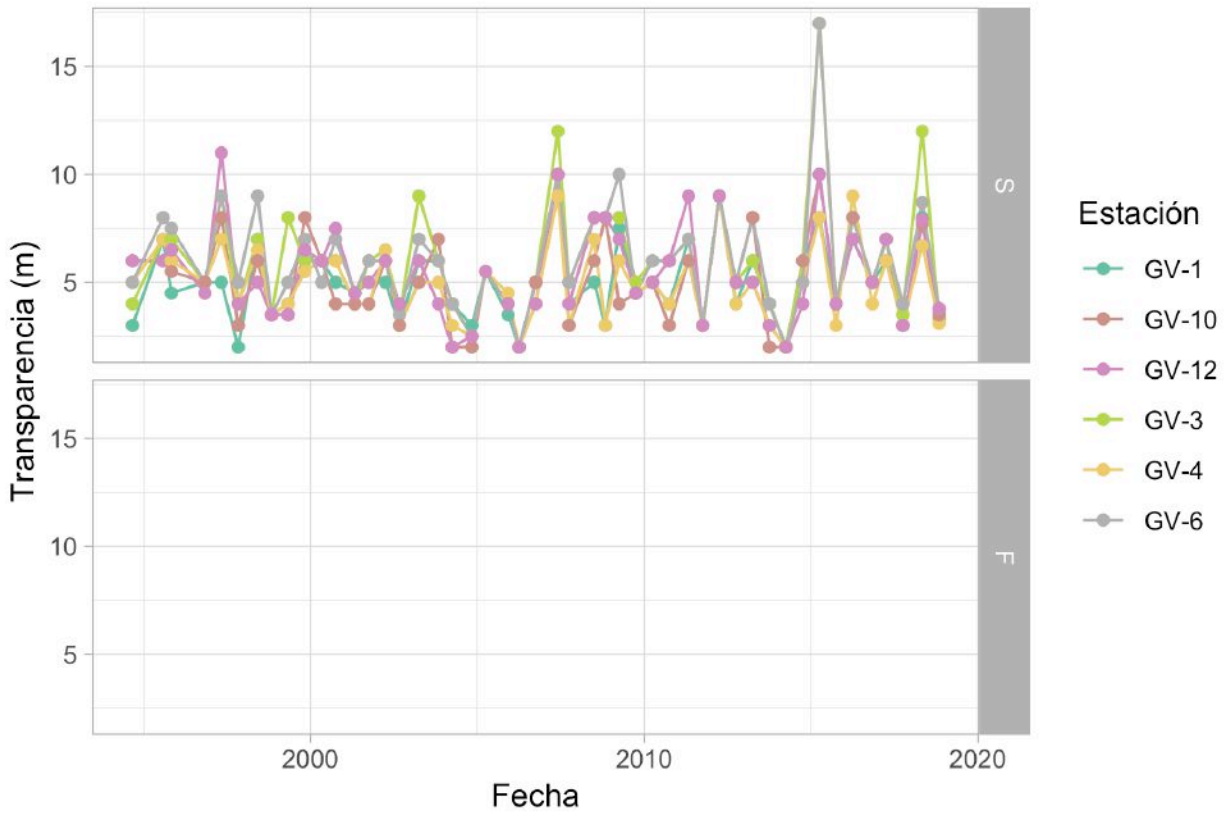


Figura 61. Transparencia de la columna de agua por estación y estrato entre los 2000 y 2018.

5.2.6.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 30**). En términos generales los parámetros medidos presentan alta variabilidad, exceptuando arsénico total (AsTot), arenas finas arenas muy finas (AF y AMF), cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100%.

Tabla 30. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
AsTot	mg/kg	285	0,100	50,90	5,517	4,751	86,1	0,706	4,80E-22	0%
CuTot	mg/kg	285	0,500	810,00	67,802	81,331	120	0,537	9,41E-27	0%
COT	mg/kg	285	0,010	44100,00	2434,602	4644,167	190	0,483	5,57E-28	20%
S2	mg/kg	285	0,002	151,00	3,461	13,077	378	0,236	1,61E-32	64%
CMF	%	66	0,010	73,96	5,558	11,857	213	0,525	2,72E-13	-
AMG	%	79	0,030	55,84	5,659	13,311	235	0,465	1,83E-15	-
AG	%	81	0,130	74,18	6,127	10,969	179	0,575	5,82E-14	-
AM	%	82	0,660	67,00	12,541	15,577	124	0,759	2,72E-10	-
AF	%	82	2,200	86,53	48,543	24,177	49,8	0,936	4,69E-04	-
AMF	%	82	0,500	60,39	22,114	14,405	65,1	0,964	2,21E-02	-
LA	%	80	0,020	31,40	0,835	3,480	416	0,152	2,69E-19	-
Grava	%	45	0,010	73,96	5,091	12,406	243	0,453	9,91E-12	-
Arena	%	60	25,740	100,00	95,156	11,391	12,0	0,441	9,27E-14	-
Fango	%	58	0,020	31,40	1,047	4,075	389	0,176	2,33E-16	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.6.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 30**.

En la **Figura 62** se muestra la composición de los sedimentos submareales, donde se puede observar una predominancia de arenas finas (AF) en las estaciones GV-1 GV-4, y GV-10; predominancia de arenas medias (AM) en la estación GV-12; arenas muy finas (AMF) en la GV-3; mientras que en la estación GV-6 no se observa una predominancia clara. Es importante destacar la ausencia de información en algunas campañas al comienzo de la serie.

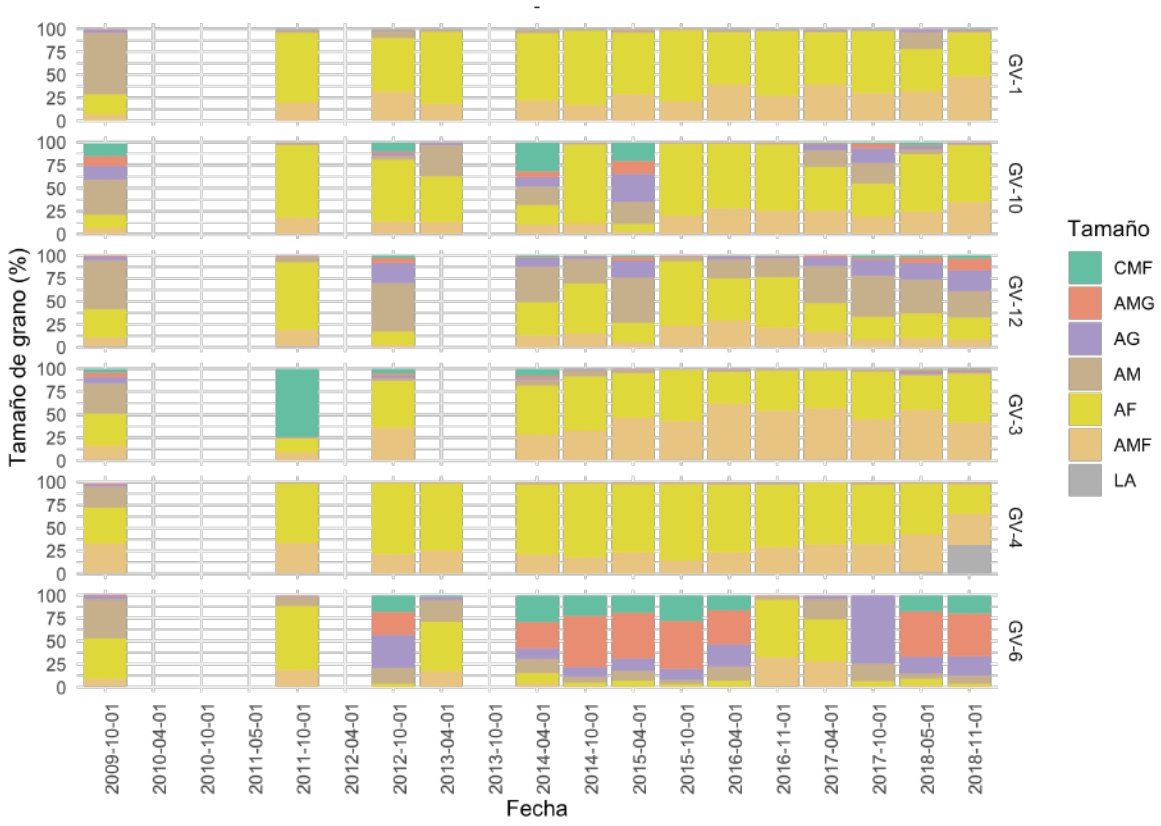


Figura 62. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2009 y 2018.

En las **Figura 63** a **66** se entrega la tendencia de los parámetros de calidad para cada una de las estaciones y campañas analizadas. Para el arsénico total (**Figura 63**), se observa escasa variabilidad entre las estaciones, con niveles que fluctúan entre los 0,1y 50 mg/kg, sin cambios importantes entre años, salvo el año 2005, donde se registran peaks de este parámetro, en la mayoría de las estaciones. En el caso de cobre total, existe mayor variabilidad ente estaciones, sin observarse una tendencia clara entre años, no obstante, se aprecian peaks en algunas estaciones el año 1997; para la estación GV-10 el año 2005 y GV-12 el año 2010, este último en torno a 800 mg/kg (**Figura 64**). El carbono orgánico total muestra una tendencia descendente desde comienzos de la década del 2000, observándose a partir del año 2010 niveles inferiores a 5000 mg/kg, en todas las estaciones (**Figura 65**). Finalmente, el sulfuro mostró niveles inferiores a 20 mg/kg para la mayoría de las campañas analizadas, con peaks cercanos a 50 mg/kg asociados a las primeras campañas y peaks cercanos a 150 mg/kg el año 2006 (**Figura 66**).

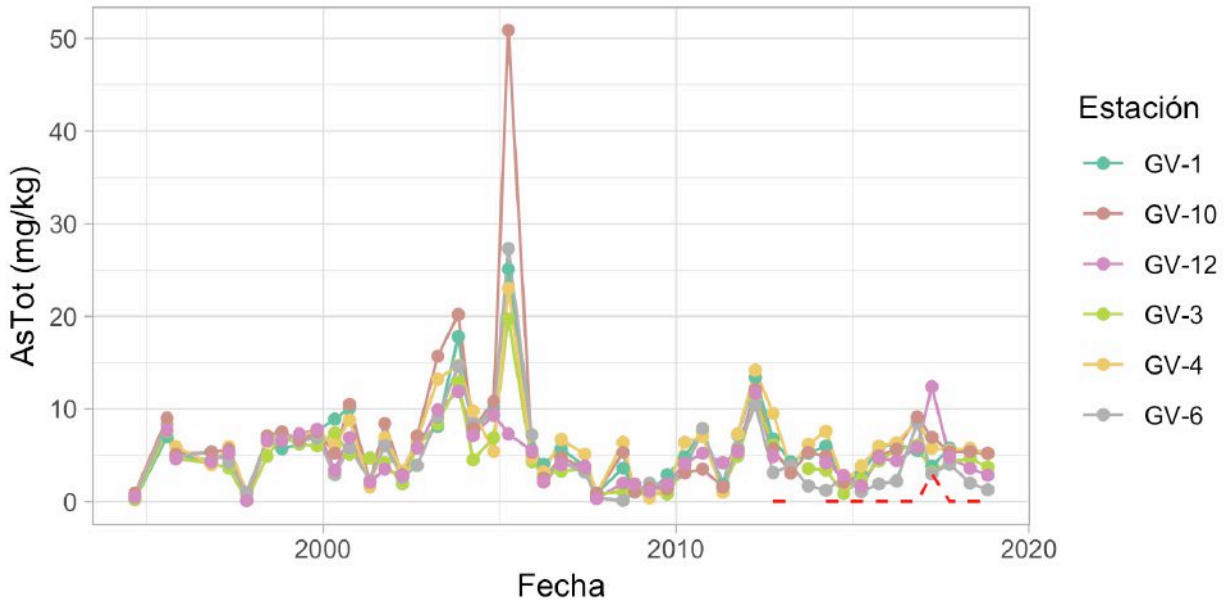


Figura 63. Niveles de arsénico total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018.

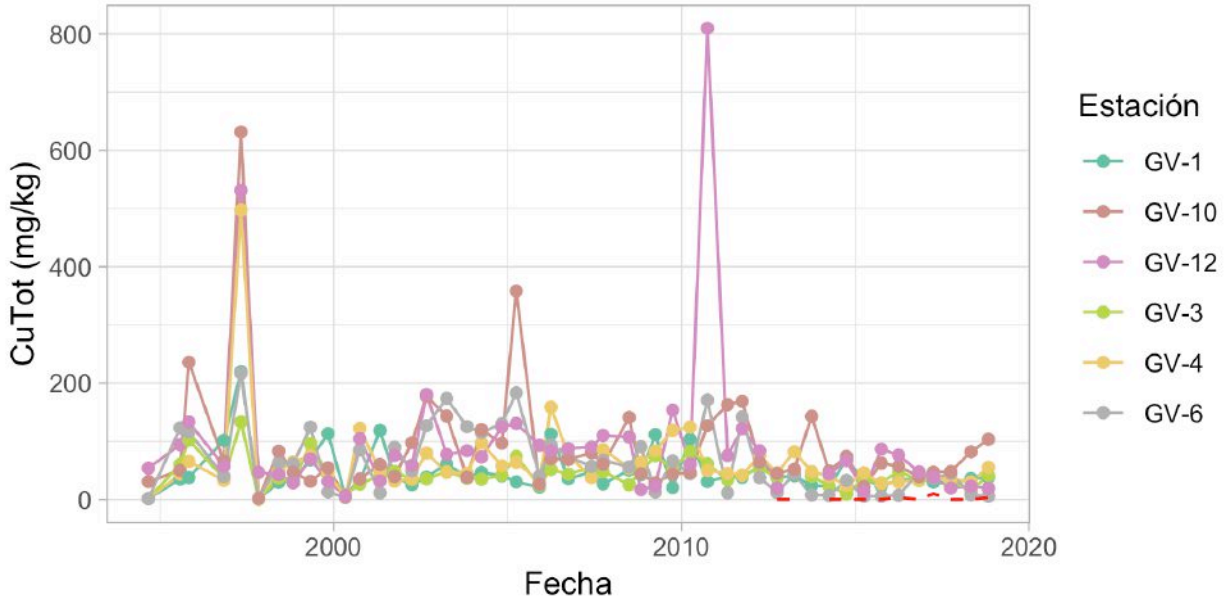


Figura 64. Niveles de cobre total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018.

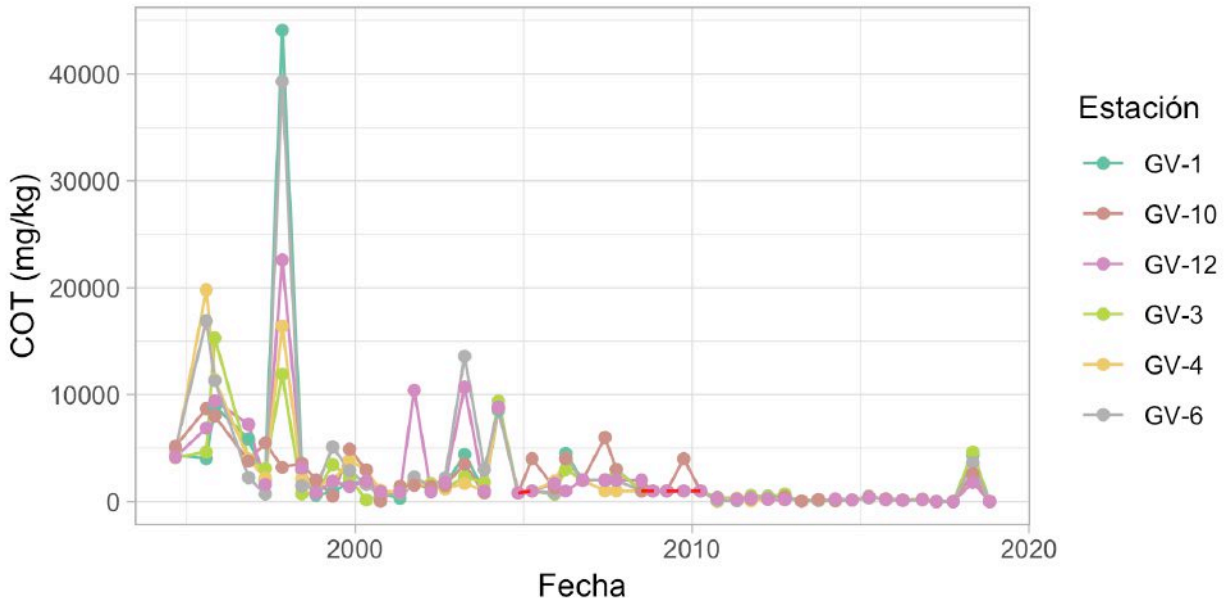


Figura 65. Niveles de carbono orgánico total (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018.

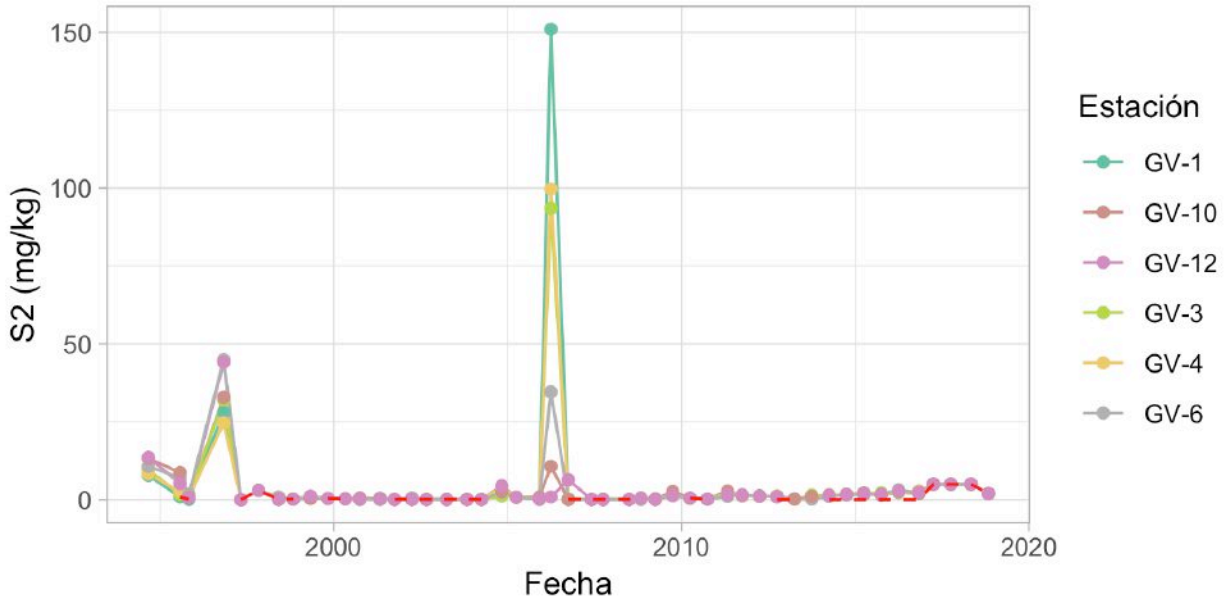


Figura 66. Niveles de sulfuros (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 1994 y 2018.

5.2.6.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.6.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 31** se entrega un análisis GLM, para la variable temperatura, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas. No obstante, el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=30,58%).

Tabla 31. Resultados de MLG para el parámetro temperatura, en agua entre 2015 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			3317		395,81		
Temp	Estación	5	3312	14,2443	381,5675016	0,0000	3,60
	Estrato	2	3310	61,7754	319,792064	0,0000	15,61
	Año	24	3286	121,039	198,752936	0,0000	**30,58**
	Trimestre	2	3284	47,6616	151,0913813	0,0000	12,04

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada para la temperatura (**Figura 67**) permite observar que el año 1996 presentó las mayores temperaturas, superiores a 17ºC, mientras que el año 2007 presentó las temperaturas más bajas, en torno a 13ºC. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 4.a.**

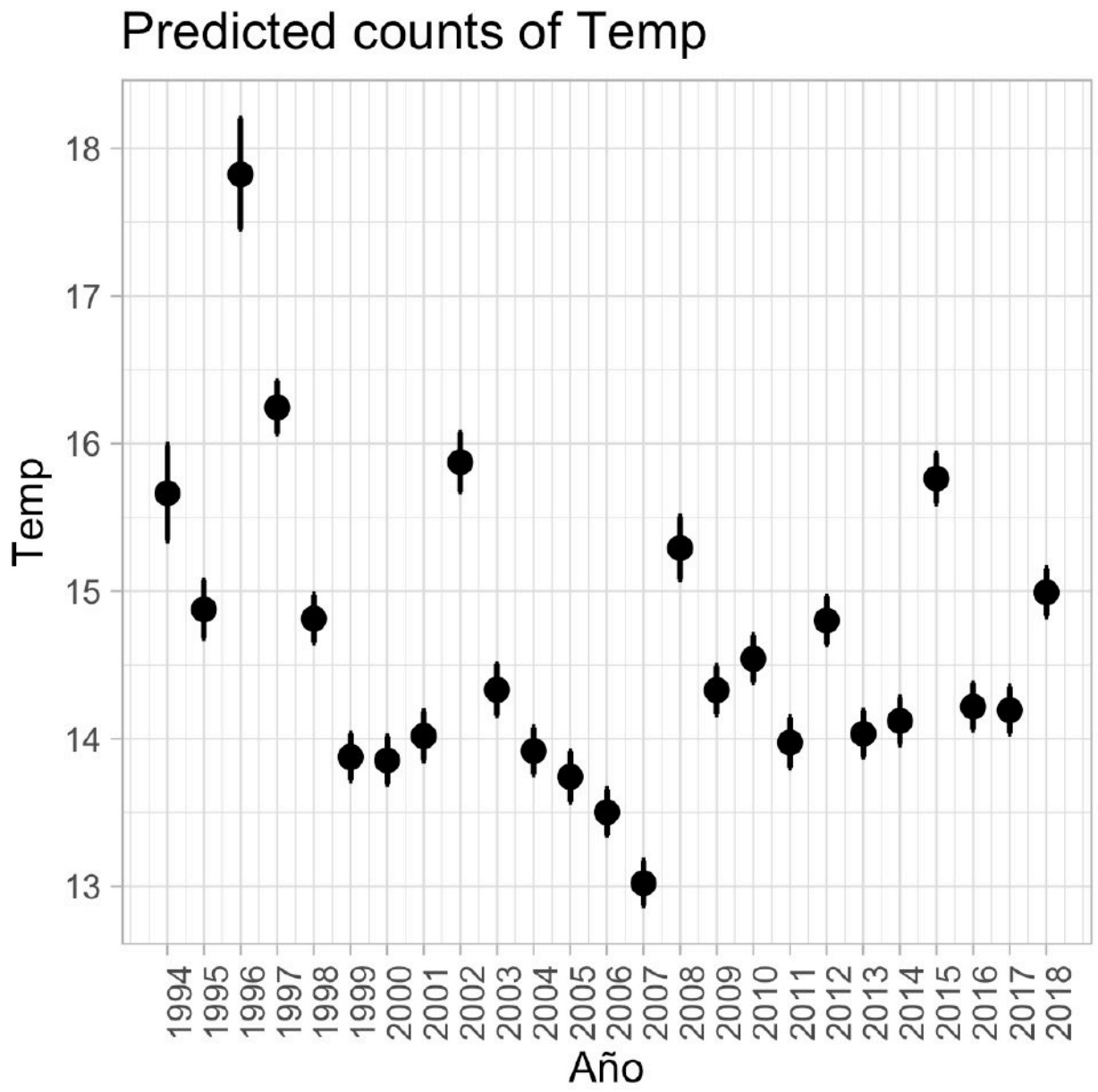


Figura 67. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.6.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 32** se entrega el resultado del GLM para todos los parámetros analizados en esta matriz, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). En general, la mayoría de los parámetros mostró diferencias significativas para Estrato y Año, salvo cloro libre residual y fluoruro. Los parámetros hidrocarburos aromáticos totales, pH, fluoruro y transparencia mostraron diferencias significativas para el efecto trimestre. En todos los parámetros el año correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con valores de DE=59,5%, DE=73,1%, DE=46,9%, DE=68,6%, DE=28,7%, DE=53,8%, DE=70,0%, DE=17,3% y DE=28,1%, respectivamente.

Tabla 32. Resultados de MLG para los parámetros arsénico total, cloro libre residual, cobre total, hidrocarburos aromáticos totales, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, fluoruro, y transparencia en agua de mar, entre 1994 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			575		10,26158631		
AsTot	Estación	5	570	0,09851	10,16307174	0,0206546	0,96
	Estrato	1	569	0,07489	10,08817806	0,0014688	0,73
	Año	24	545	6,10011	3,988063736	1,71E-158	**59,45**
	Trimestre	2	543	0,0275	3,960563466	0,1560618	0,27
			563		14,32637205		
CLB	Estación	5	558	0,03657	14,28980323	0,4475865	0,26
	Estrato	1	557	0,00023	14,28957586	0,8635999	0
	Año	24	533	10,4708	3,818738554	2,73E-272	**73,09**
	Trimestre	2	531	0,00557	3,813171993	0,6967948	0,04
			569		3902,413976		
CuTot	Estación	5	564	2,69707	3899,71691	0,9867119	0,07
	Estrato	1	563	6,50456	3893,212353	0,2186459	0,17
	Año	24	539	1831,11	2062,10068	3,39E-75	**46,92**
	Trimestre	2	537	16,887	2045,213728	0,1402524	0,43
			294		4,222647336		
HAT	Estación	5	289	0,07207	4,150575967	0,0218946	1,71
	Estrato	1	288	0,06474	4,085835197	0,0005846	1,53
	Año	24	264	2,89784	1,187997941	1,37E-96	**68,63**
	Trimestre	2	262	0,19497	0,993023986	1,85E-08	4,62
			568		357,9838853		
Odis	Estación	5	563	3,67218	354,3117076	0,0732014	1,03
	Estrato	1	562	46,9826	307,329074	7,23E-30	13,12
	Año	24	538	102,606	204,7231423	8,93E-46	**28,66**
	Trimestre	2	536	1,53092	203,1922196	0,1225002	0,43
			561		5,878649138		
pH	Estación	5	556	0,00786	5,870794021	0,8924707	0,13
	Estrato	1	555	0,11931	5,751481214	4,69E-07	2,03
	Año	24	531	3,16316	2,588321508	1,12E-126	**53,81**
	Trimestre	2	529	0,09919	2,489131137	2,61E-05	1,69
			479		17121,2723		
SolSus	Estación	5	474	189,689	16931,58303	0,007038	1,11
	Estrato	1	473	32,6296	16898,95341	0,0978198	0,19
	Año	19	454	11988	4911,000693	1,76E-201	**70,02**
	Trimestre	2	452	58,1921	4852,808582	0,0868188	0,34
			215		4,389481435		
Fluoruro	Estación	5	210	0,08093	4,308554359	0,4289798	1,84
	Estrato	2	208	0,05403	4,254526501	0,1952305	1,23
	Año	6	202	0,76091	3,493621199	2,94E-08	**17,33**
	Trimestre	1	201	0,08689	3,406732335	0,0218925	1,98
			286		254,963412		
Trans	Estación	5	281	12,4304	242,5330307	7,80E-05	4,88
	Año	24	257	71,7195	170,8135766	1,57E-20	**28,13**
	Trimestre	2	255	51,9696	118,8439341	1,33E-24	20,38

La **Figura 68** entrega el análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua, que correspondió en todos los casos al efecto año. Se observa que, para arsénico total, el año 2006 presentó los niveles más altos, segregándose del resto de los años de la serie. Para cloro libre residual, se observa un importante número de campañas con valores altos entre los años 1995 y 2010, y campañas con valores bajos en los años 2011 a 2013. Para cobre total, se destacan en particular los altos valores de los años 2001 y 2010, segregándose del resto de la serie, registrando menores niveles. Para los hidrocarburos aromáticos totales, las campañas de 1995 son notoriamente mayores que el resto de la serie. En el caso del oxígeno disuelto, los años 1999 y 2006 presentaron los niveles más altos, mientras que las campañas de los años 2002 y 2005 presentaron valores menores. Para pH, las campañas del año 1996 y 2005 presentaron altos niveles de pH con niveles superiores a 8, mientras que el año 2014, presentó los valores más bajos, cercanos a 7,5. Para sólidos suspendidos, la primera campaña disponible (año 1999) presenta valores notoriamente más altos que el resto de la serie, mientras que el resto de las campañas no superan los 70 mg/L. Para fluoruro, las campañas del año 2003 presentan valores levemente más altos que las campañas de los años 2015 y 2017. Finalmente, para la transparencia, los niveles más altos ocurrieron en los años 1995, 2008 y 2015, con niveles superiores a 8 m; mientras que, el año 2004 presentó los menores valores de la serie con niveles cercanos a 3 m (**Figura 68**). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 4.b.**

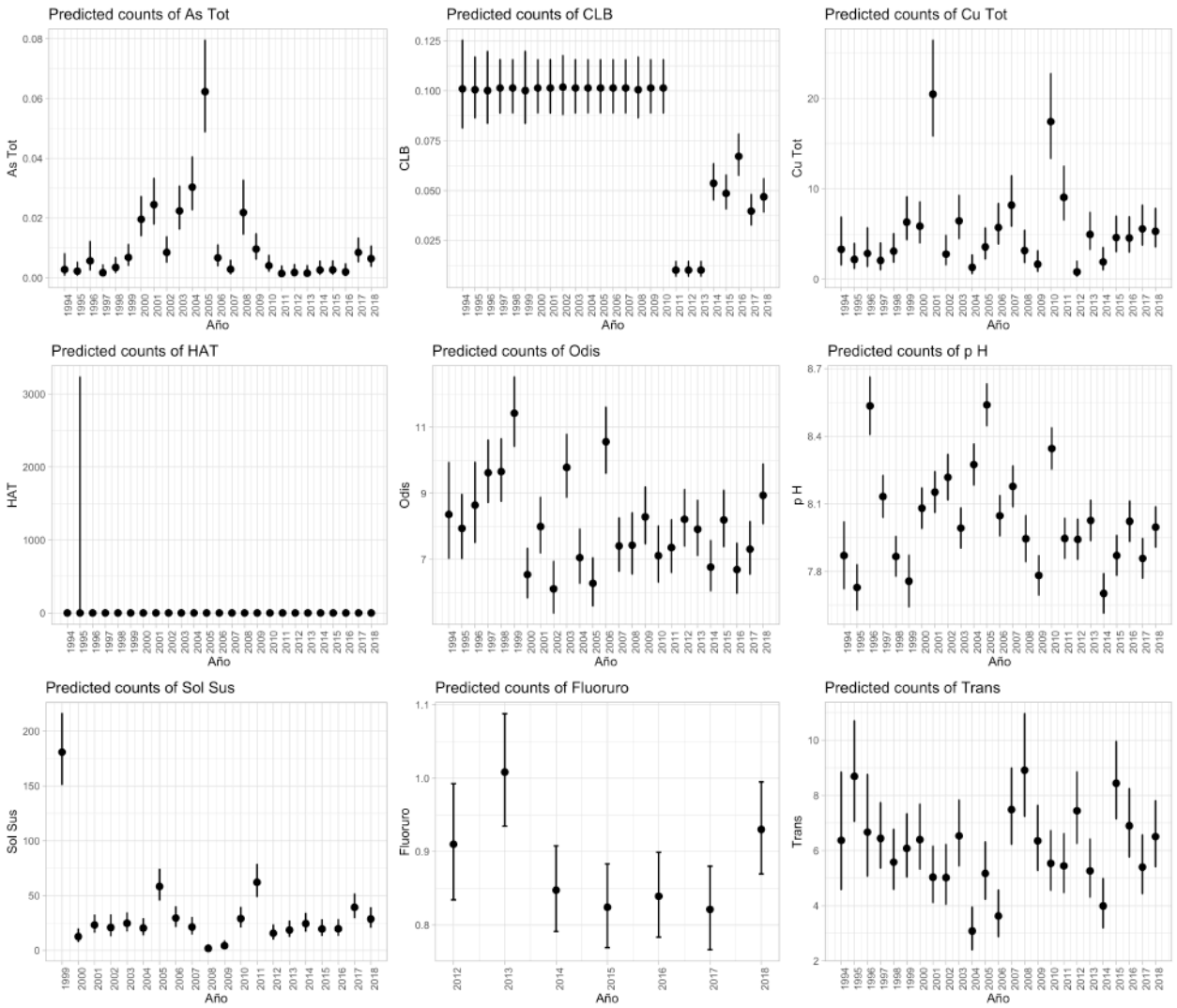


Figura 68. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.6.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Figura 69** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para la composición del sedimento submareal. Los resultados del análisis mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo (PERMANOVA R^2=0,41; P<0,001), siendo la estación GV-6 la que presentó mayor presencia de cascajo muy fino (CMF) y de arenas gruesas y muy gruesas (AG y AMG), mientras que, la estación GV-3 se segrega del resto debido a la presencia de arenas muy finas (AMF), Limos y arcillas (LA) y sulfuros (S2). Finalmente, la GV-10 tiende a segregarse por la presencia de arenas finas (AF) y cobre total (CuTot).

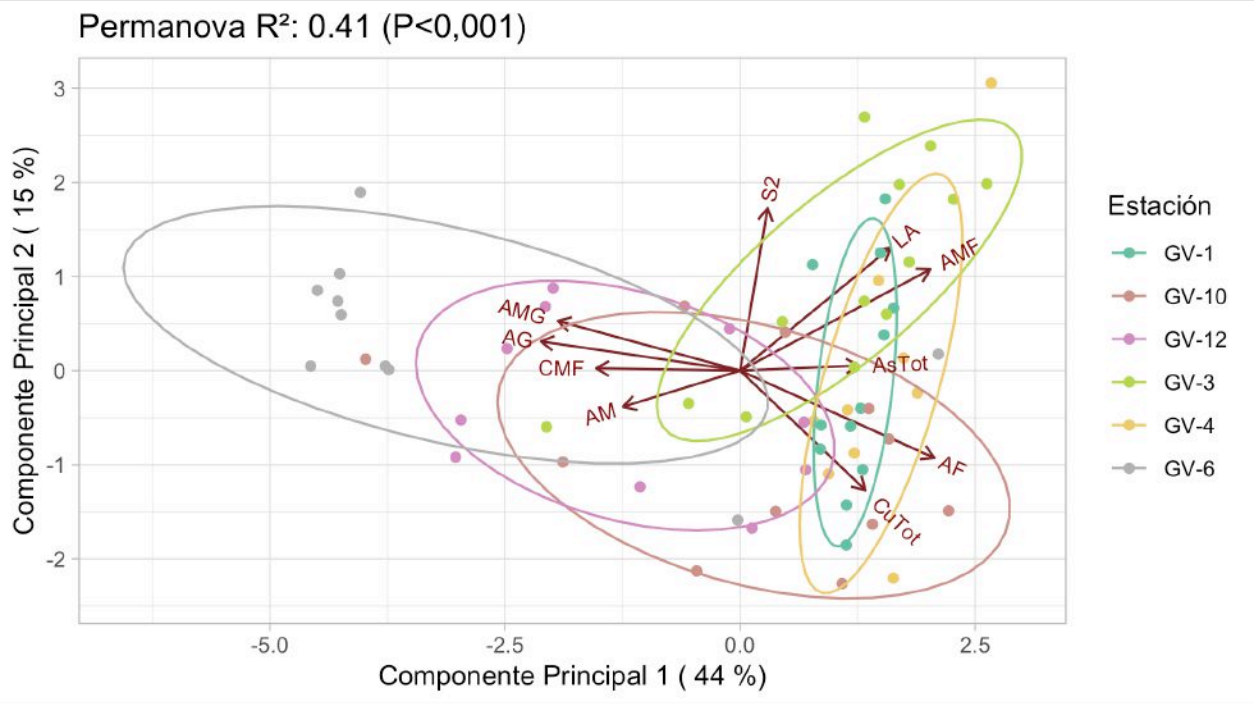


Figura 69. Análisis de componentes principales para sedimentos submareales.

5.2.6.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Si bien, temperatura, arsénico total y pH presentaron diferencias significativas entre estratos, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad, dado que las diferencias interanuales son más importantes para explicar la variabilidad de la serie de datos, que los estratos de profundidad.

Diferencias entre años

Para los parámetros de hidrografía, la temperatura presentó diferencias significativas entre años de monitoreo, observándose alta variabilidad interanual en la serie de datos analizada. Cabe destacar el año 1996, el cual presentó las mayores temperaturas con niveles cercanos a 18ºC; mientras que el año 2007, presentó las temperaturas más bajas con valores en torno a 13ºC en promedio. Para este parámetro no se observaron tendencias ascendentes ni descendentes.

Para calidad de agua, la totalidad de los parámetros presentó diferencias significativas entre años. De éstos, para cloro libre residual y HAT, las diferencias interanuales se deben principalmente a los cambios en los límites de detección de las técnicas analíticas. Para el resto de los parámetros se observa importante variabilidad interanual, sin observarse tendencias ascendentes o descendentes en ninguno de los parámetros analizados.

Estacionalidad

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados en hidrografía y calidad de agua existen diferencias significativas entre épocas del año, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados existen diferencias significativas entre estaciones, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada, lo cual puede estar relacionado con la cercanía de las estaciones, donde la totalidad de éstas, esta ubicada frente a la planta y en una zona muy costera (**Figura 51**).

5.2.7 PUERTO VENTANAS S.A.

5.2.7.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 70** y **71** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo del Terminal Marítimo PUERTO VENTANAS S. A. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que todas las estaciones de muestreo submareal se encuentran alrededor del emisario submarino de la misma compañía, con 3 estaciones ubicadas al norte del emisario, 3 estaciones ubicadas al sur del emisario y 1 ubicada frente al emisario. De estas estaciones,7 son de impacto y 1 de control, ubicado al norte de la bahía donde se efectúan dos mediciones (réplica). Este programa comprende, además 2 estaciones intermareales y 3 estaciones en el estero.

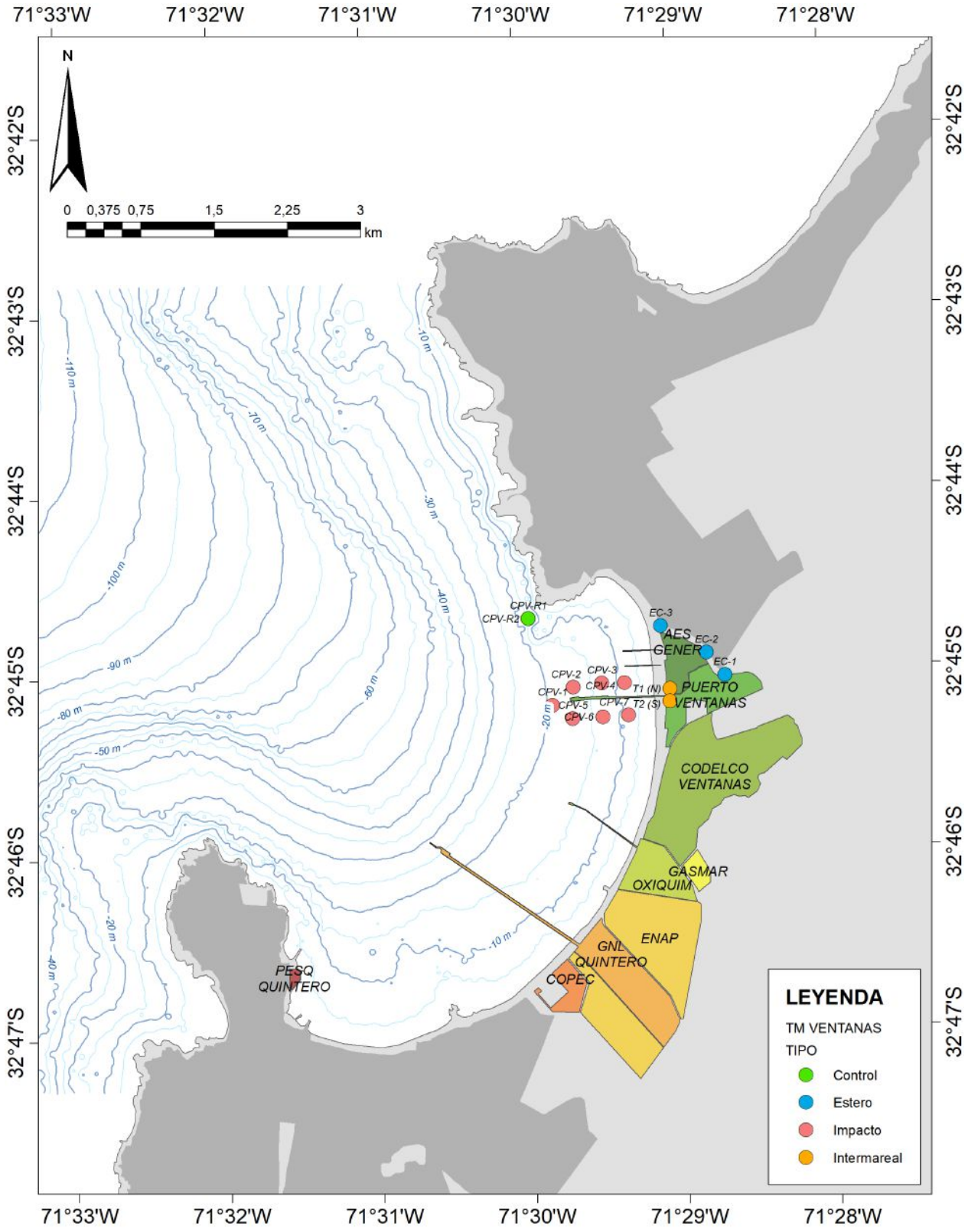


Figura 70. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo Ventanas S.A.

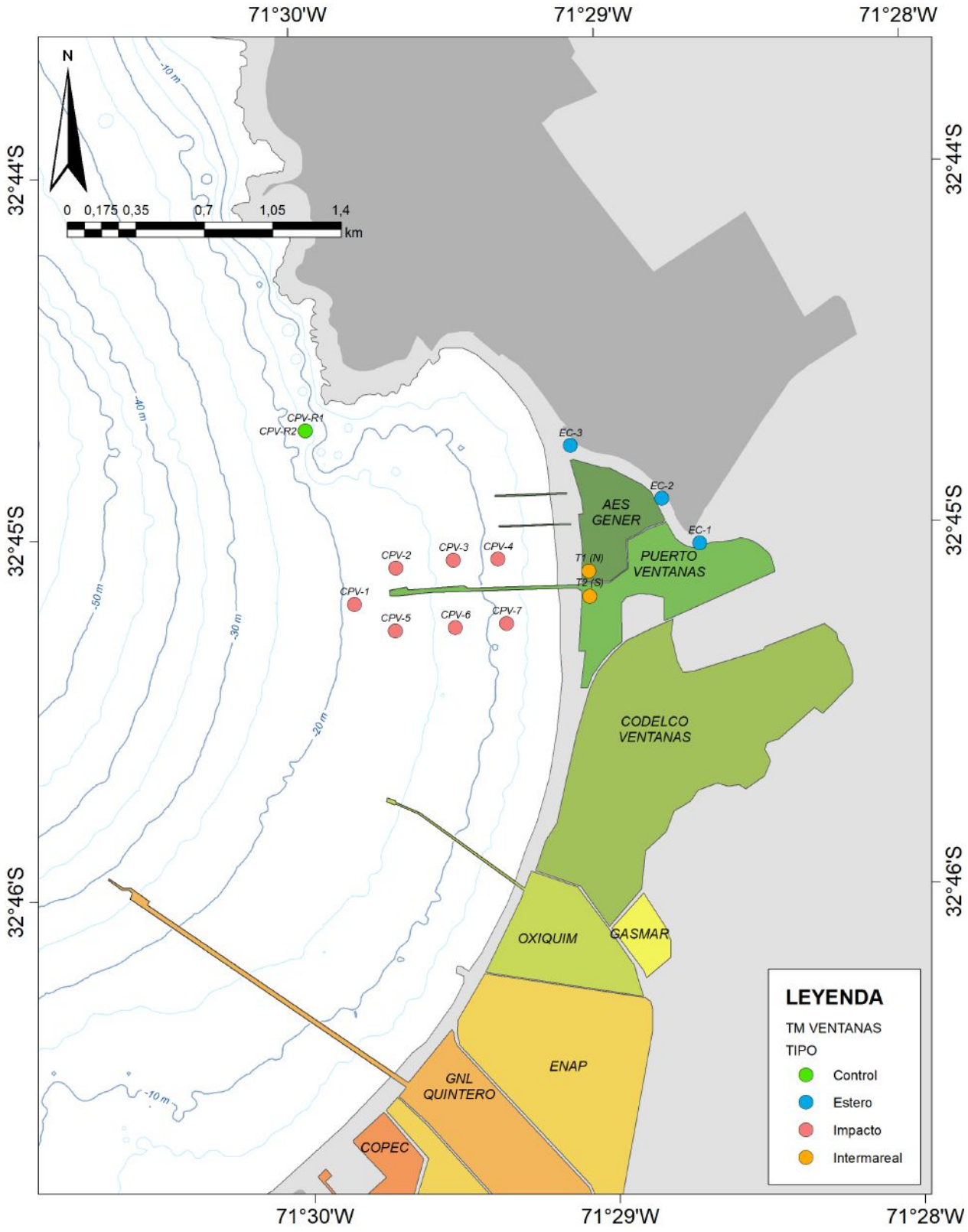


Figura 71. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo Ventanas S.A. (zoom).

5.2.7.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, agua submareal y estero, sedimento submareal, y macrofauna submareal e intermareal (**Tabla 33**).

Tabla 33. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo PUERTO VENTANAS S.A.

UF	CÓDIGO UF	ESTACIÓN	TIPO	Y	X	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA
TM VENTANAS	248_365	CPV-R1	Control	6374197	265814	X	X	X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-R2	Control	6374197	265814	X	X	X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-1	Impacto	6373309	266066	X	X	X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-2	Impacto	6373495	266277	X		X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-3	Impacto	6373536	266571	X	X	X	
TM VENTANAS	248_365	CPV-4	Impacto	6373541	266801	X		X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-5	Impacto	6373174	266275	X		X	X
TM VENTANAS	248_365	CPV-6	Impacto	6373190	266582	X	X	X	
TM VENTANAS	248_365	CPV-7	Impacto	6373211	266845	X		X	X
TM VENTANAS	248_365	T1 (N)	Intermareal	6373480	267266				X
TM VENTANAS	248_365	T2 (S)	Intermareal	6373352	267269				X
TM VENTANAS	248_365	EC-1	Estero	6373624	267833		X		
TM VENTANAS	248_365	EC-2	Estero	6373852	267639		X		
TM VENTANAS	248_365	EC-3	Estero	6374123	267170		X		

5.2.7.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 34** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 4 variables, a saber: temperatura, pH, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, medidos en la columna de agua. No obstante, los datos disponibles no presentan la profundidad, por lo que no fue posible efectuar los perfiles hidrográficos. En calidad de agua los parámetros monitoreados corresponden a Aceites y grasas, Compuestos Fenólicos, Cobre, Cobre disuelto, Cobre particulado, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Níquel, Níquel disuelto, Níquel Particulado, Plomo, Plomo disuelto, Plomo particulado, Sólidos suspendidos, Vanadio, Vanadio disuelto y Vanadio particulado En sedimentos junto con los parámetros granulométricos, se mide Carbono Orgánico Total, Cobre, Plomo, Níquel, Vanadio y Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Finalmente, en comunidades del submareal se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón, no obstante, los datos disponibles no presentan las bases de datos crudas.

Tabla 34. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo PUERTO VENTANAS S. A

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	Salinidad	PSU	Sal
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	pH	unidad	pH
Calidad agua	Aceites y grasas	mg/L	AyG
Calidad agua	Compuestos Fenólicos	mg/L	IF
Calidad agua	Cobre	ug/L	Cu
Calidad agua	Cobre disuelto	ug/L	Cudis
Calidad agua	Cobre particulado	ug/L	Cupar
Calidad agua	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	ug/L	HAP
Calidad agua	Níquel	ug/L	Ni
Calidad agua	Níquel disuelto	ug/L	Nidis
Calidad agua	Níquel Particulado	ug/L	Nipar
Calidad agua	Plomo	ug/L	Pb
Calidad agua	Plomo disuelto	ug/L	Pbdis
Calidad agua	Plomo particulado	ug/L	Pbpar
Calidad agua	Sólidos suspendidos	mg/L	Ssus
Calidad agua	Vanadio	ug/L	V
Calidad agua	Vanadio disuelto	ug/L	Vdis
Calidad agua	Vanadio particulado	ug/L	Vpar
Calidad sedimento	Carbono Orgánico Total	%	COT
Calidad sedimento	Cobre	mg/kg	Cu
Calidad sedimento	Plomo	mg/kg	Pb
Calidad sedimento	Níquel	mg/kg	Ni
Calidad sedimento	Vanadio	mg/kg	V
Calidad sedimento	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	mg/kg	HAP
Calidad sedimento	Tipo de Sedimento	Descriptivo	Tip_Sed
Calidad sedimento	Arena fina	%	AF
Calidad sedimento	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimento	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimento	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimento	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimento	Fangos y Arcillas	%	FyA
Calidad sedimento	Grava muy fina	%	GMF
Macrofauna submareal	Riqueza	Nº especies	S
Macrofauna submareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna submareal	Biomasa	g/m2	B
Macrofauna submareal	Especie dominante	Nombre especies	Dom
Macrofauna intermareal	Riqueza	Nº especies	S
Macrofauna intermareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna intermareal	Biomasa	g/m2	B
Macrofauna intermareal	Especie dominante	Nombre especies	Dom
Estero	Temperatura	ºC	Temp
Estero	pH	unidad	pH
Estero	Conductividad	S/m	Cond
Estero	Oxigeno disuelto	mg/L	Odis
Estero	Aceites y grasas	mg/L	AyG
Estero	Hidrocarburos totales	mg/L	HCT
Estero	Plomo	mg/L	Pb
Estero	Níquel	mg/L	Ni
Estero	Vanadio	mg/L	V

5.2.7.4 Estadística descriptiva

5.2.7.4.1 Calidad de agua

Se entregan los resultados de aceites y grasas (AyG), compuesto fenólicos (IF), cobre (Cu), cobre disuelto (Cudis), cobre particulado (Cupar), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), níquel (Ni), níquel disuelto (Nidis), níquel particulado (Nipar), plomo (Pb), plomo disuelto (Pbdis), plomo particulado (Pbpar), sólidos suspendidos (Ssus), vanadio (V), vanadio disuelto (Vdis) y vanadio particulado (Vpar), medidos en agua submareal (**Tabla 35**).

Se observa que, a lo largo de la columna de agua, los registros de la mayoría de los parámetros medidos presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 100%, destacando al cobre, como el parámetro con mayor variabilidad (CV=208%). Por otro lado, los parámetros compuestos fenólicos, cobre disuelto, níquel disuelto, níquel particulado y vanadio registraron una menor variabilidad, con coeficientes de variación que oscilaron entre 28% y 51%.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 35. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
AyG	mg/L	190	1	10	1,95	2,77	142%	0,3522	0,0000	100%
IF	mg/L	190	0,001	0,0055	0,00	0,00	40%	0,5903	0,0000	88%
Cu	ug/L	60	1	354	22,58	46,93	208%	0,3251	0,0000	70%
Cudis	ug/L	150	10	41	17,61	4,99	28%	0,6389	0,0000	96%
Cupar	ug/L	150	10	325	20,15	26,81	133%	0,1663	0,0000	97%
HAP	ug/L	190	0,2	2	0,73	0,68	93%	0,7007	0,0000	99%
Ni	ug/L	60	1	10	7,00	4,28	61%	0,5949	0,0000	100%
Nidis	ug/L	150	10	20	16,00	4,92	31%	0,6217	0,0000	100%
Nipar	ug/L	150	10	20	16,00	4,92	31%	0,6217	0,0000	100%
Pb	ug/L	60	2,5	266	35,92	56,76	158%	0,5816	0,0000	83%
Pbdis	ug/L	150	1	136	17,59	17,04	97%	0,5129	0,0000	87%
Pbpar	ug/L	150	1	166	20,35	25,39	125%	0,4863	0,0000	93%
Ssus	mg/L	190	5	30	5,64	2,90	51%	0,2353	0,0000	93%
V	ug/L	60	10	3260	472,40	943,24	200%	0,5118	0,0000	67%
Vdis	ug/L	130	1,3	2640	346,41	515,72	149%	0,6862	0,0000	0%
Vpar	ug/L	140	1	2290	220,81	358,15	162%	0,6096	0,0000	19%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.7.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 35**.

En las **Figuras 72 a 87** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2013 y 2018. Los aceites y grasas (**Figura 72**), presentaron el total de estaciones de muestreo, con niveles bajo los límites de detección (1 mg/L hasta el año 2017 y 10 mg/L el año 2018). Para los compuestos fenólicos (**Figura 73**), se observaron tendencias similares entre estratos y entre estaciones, con niveles en torno a 0,002 mg/L, excepto durante 2017, con máximos de 0,005 mg/L. Los niveles de cobre (**Figura 74**) fueron distintos entre estratos y estaciones, fluctuando entre 20 y 100 ug/L, exceptuando la estación CPV-1 en superficie, que registró máximos superiores a 350 ug/L, y entre 1 y 50 ug/L para el estrato de fondo. El cobre disuelto (**Figura 75**) registró un patrón similar, tanto en superficie como en fondo, para todas las estaciones de muestreo, con niveles que estuvieron mayormente bajo los límites de detección (20 y 10 ug/L), excepto durante el año 2018, con valores superiores a 40 ug/L en el estrato de fondo (estación CPV-1). El cobre particulado (**Figura 76**), se mantuvo bajo los límites de detección durante la mayoría de las campañas (20 ug/L), tanto en el estrato superficial como de fondo, excepto durante el 2018, registrando niveles en superficie superiores a 300 ug/L (estación CPV-1). Para hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 77**), se observa que todos los registros presentaron valores bajo el límite de detección (0,2 ug/L, y 2 ug/L) en todas las estaciones. Las concentraciones de níquel (**Figura 78**) presentaron la misma tendencia entre estratos y entre

estaciones, con todos los registros bajo los límites de detección 1 ug/L y 10 ug/L). Para el níquel disuelto (**Figura 79**) y níquel particulado (**Figura 80**), las tendencias fueron similares, tanto en superficie y fondo, también con todos los registros bajo los límites de detección (20 ug/L y 10 ug/L). Las concentraciones de plomo (**Figura 81**) variaron levemente entre estaciones, pero la tendencia fue similar entre años, destacando máximos en superficie superiores a 250 ug/L, para la estación CPV-5 y máximos en el fondo de 200 ug/L, para la estación CPV-3. Para el plomo disuelto (**Figura 82**), en todas las estaciones, se registró el mismo patrón entre años, en torno a 20 ug/L, seguido de una caída hasta alcanzar mínimos cercanos de 1 ug/L. Sin embargo, los niveles de las estaciones CPV-5 en superficie y CPV-R2 en fondo, tienden a aumentar notoriamente a partir del año 2017, hasta alcanzar máximos superiores a 100 ug/L. Las concentraciones de plomo particulado (**Figura 83**) presentaron un patrón bastante similar al plomo disuelto, alcanzando máximos superiores a 150 ug/L en la estación CPV-1 en la capa superficial y valores en torno a 100 ug/L en las estaciones CPV-3, CPv-6 y CPV-R1 en la capa de fondo. Los sólidos suspendidos (**Figura 84**) se mantuvieron relativamente constantes y bajo el límite de detección (5 mg/L) en toda la serie de tiempo, excepto a fines del 2018, donde se observa un notorio aumento, con máximos en superficie de 23 mg/L (estación CPV-5) y máximos en el fondo de 30 mg/L (CPV-R2). Los niveles de vanadio (**Figura 85**) fueron similares en superficie y fondo y variables entre años, donde se observa un drástico aumento de 10 ug/L a valores superiores a 2.000 ug/L en ambos estratos. Las concentraciones de vanadio disuelto (**Figura 86**) fueron variables entre estaciones, aunque con tendencias similares entre estratos, destacando valores mínimos cercanos a 2 ug/L para todas las estaciones y máximos superiores a 2.000 ug/L en superficie (estación CPV-6) y fondo (estaciones CPV-1, CPV-4, CPV-6), durante el año 2017. Finalmente, para el vanadio particulado (**Figura 87**), se observó una alta variabilidad entre estaciones, pero con tendencias similares entre estratos, oscilando entre 2 y 1.000 ug/L, destacando un peak con máximos superiores a 2.000 ug/L en superficie (estaciones CPV-1, CPV-3 y CPV-5), durante el año 2017.

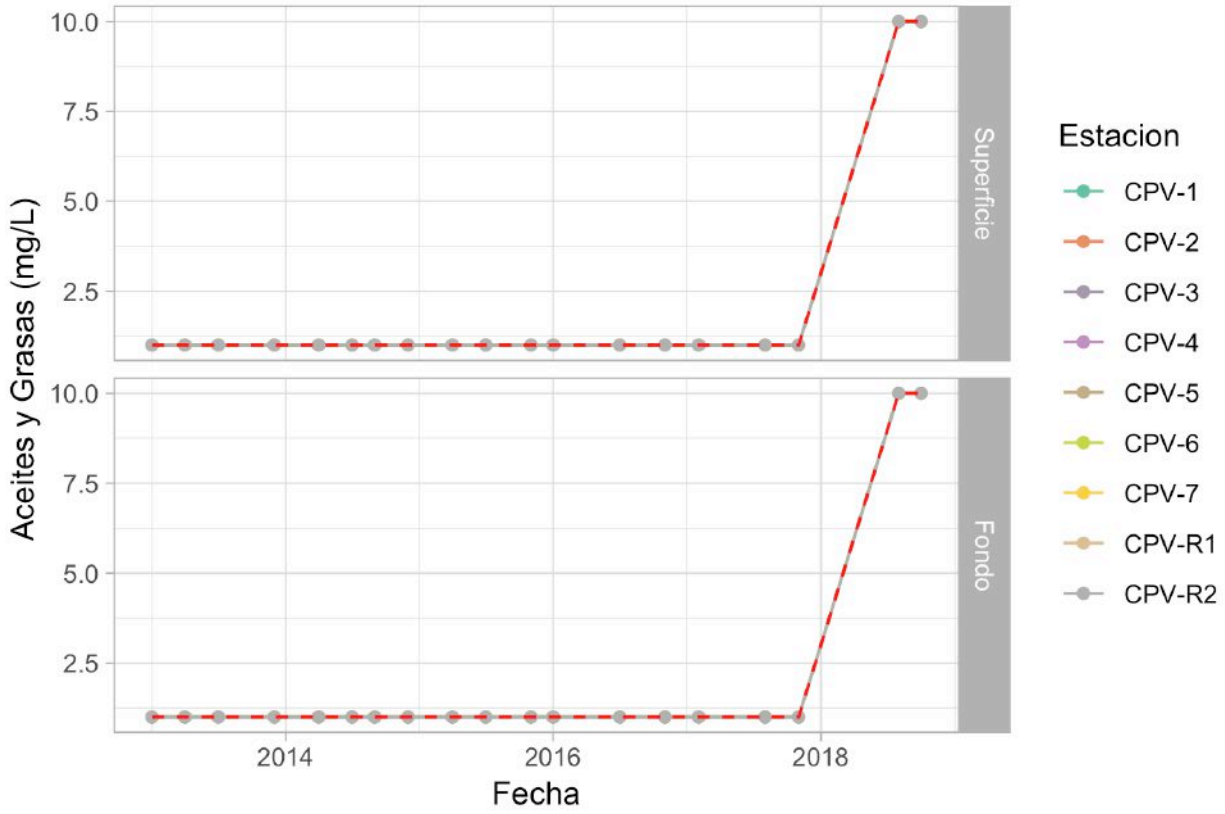


Figura 72. Niveles de aceites y grasas (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

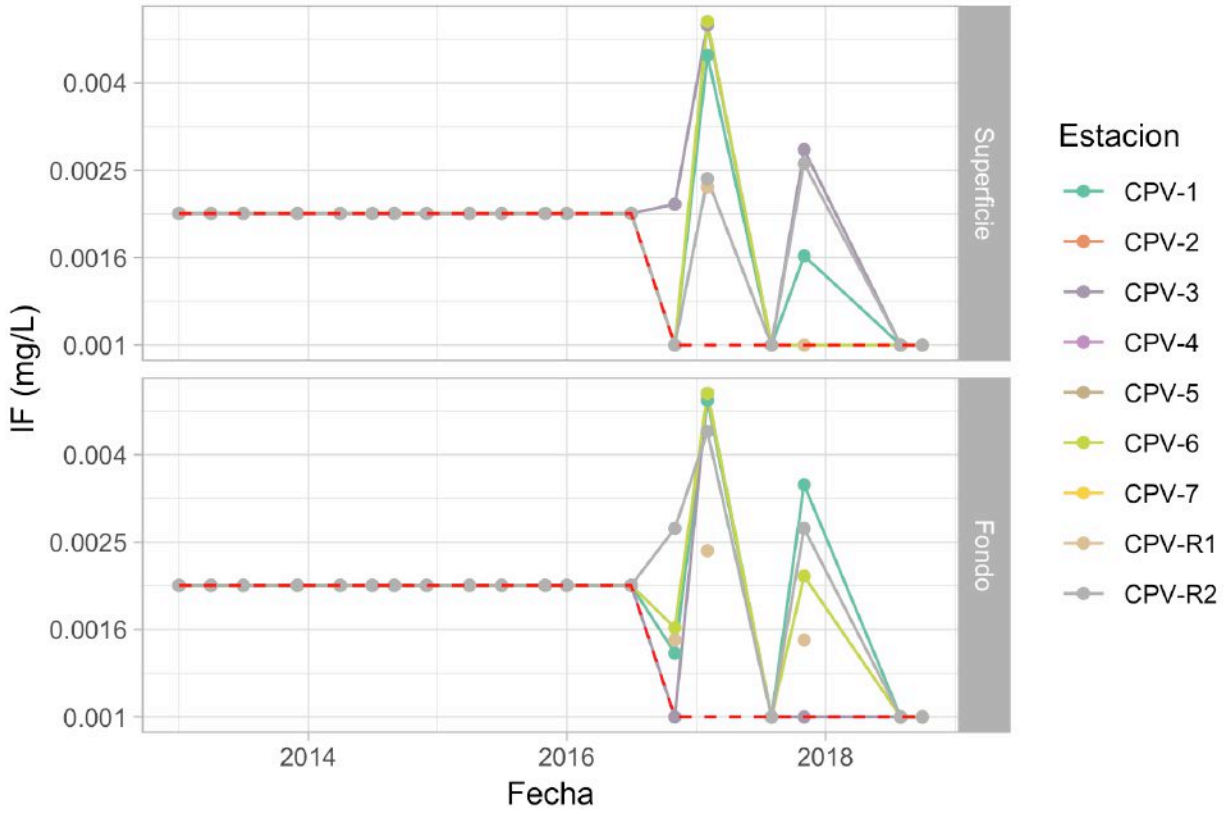


Figura 73. Niveles de compuestos fenólicos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

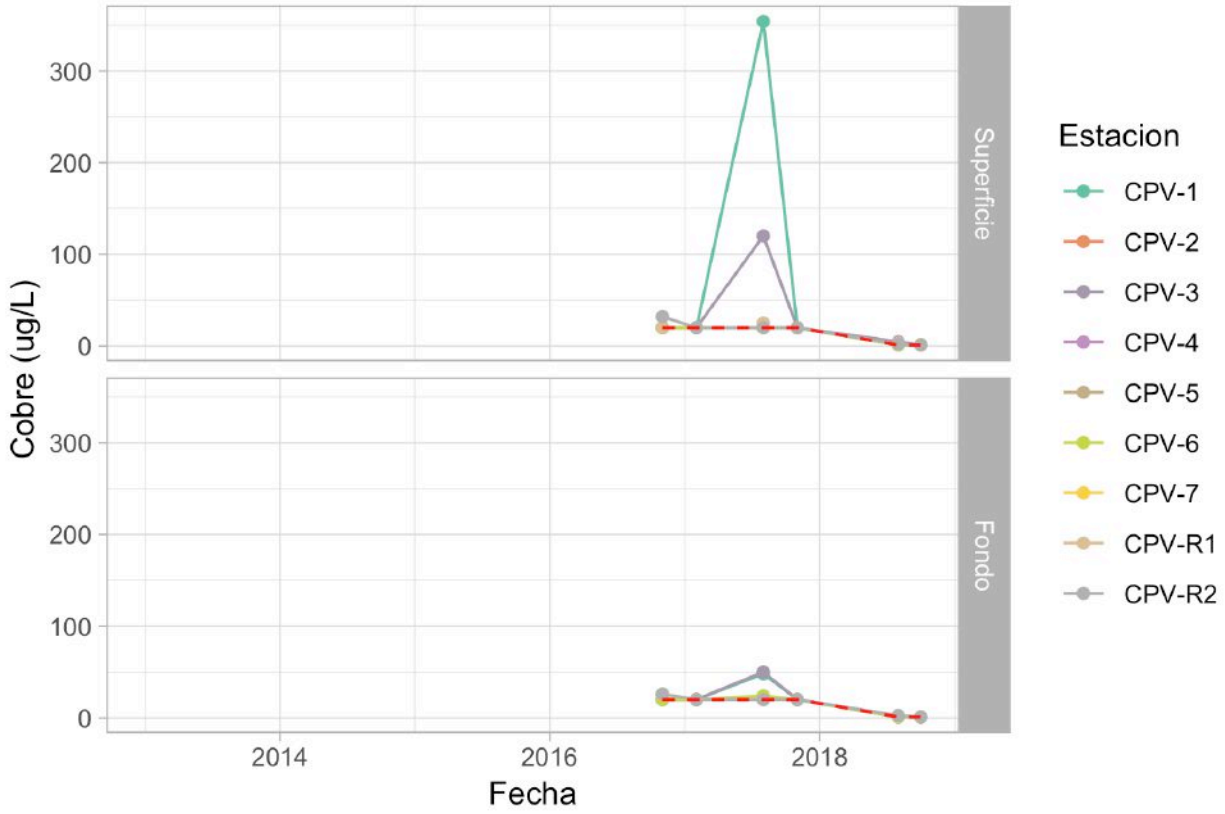


Figura 74. Niveles de cobre (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

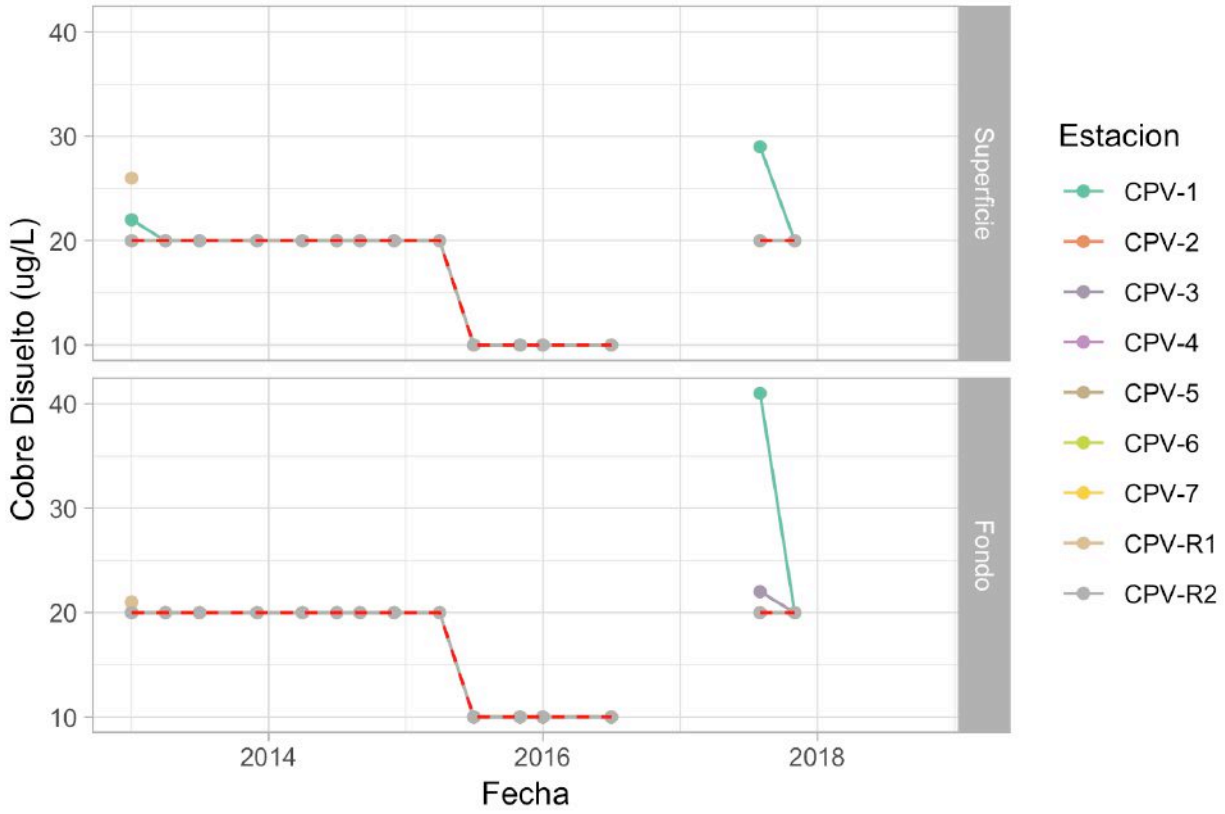


Figura 75. Niveles de cobre disuelto (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

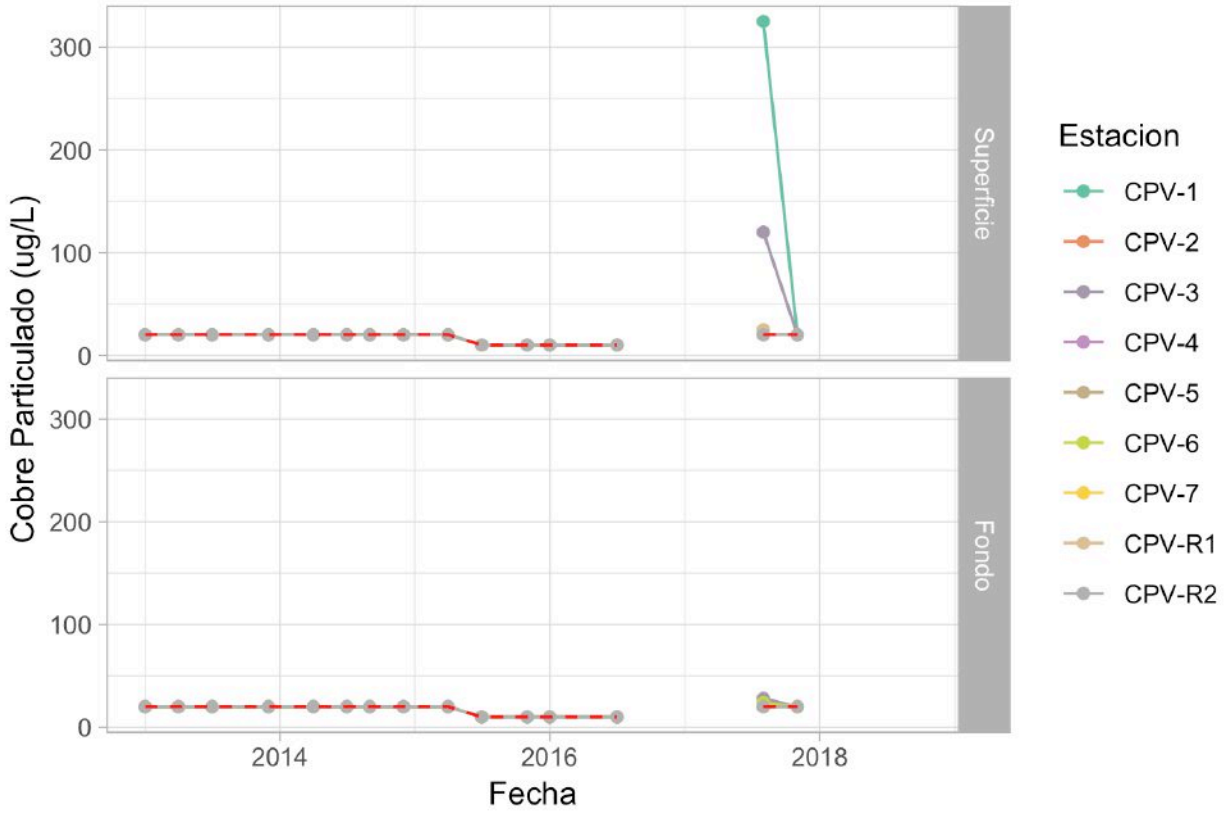


Figura 76. Niveles de cobre particulado (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

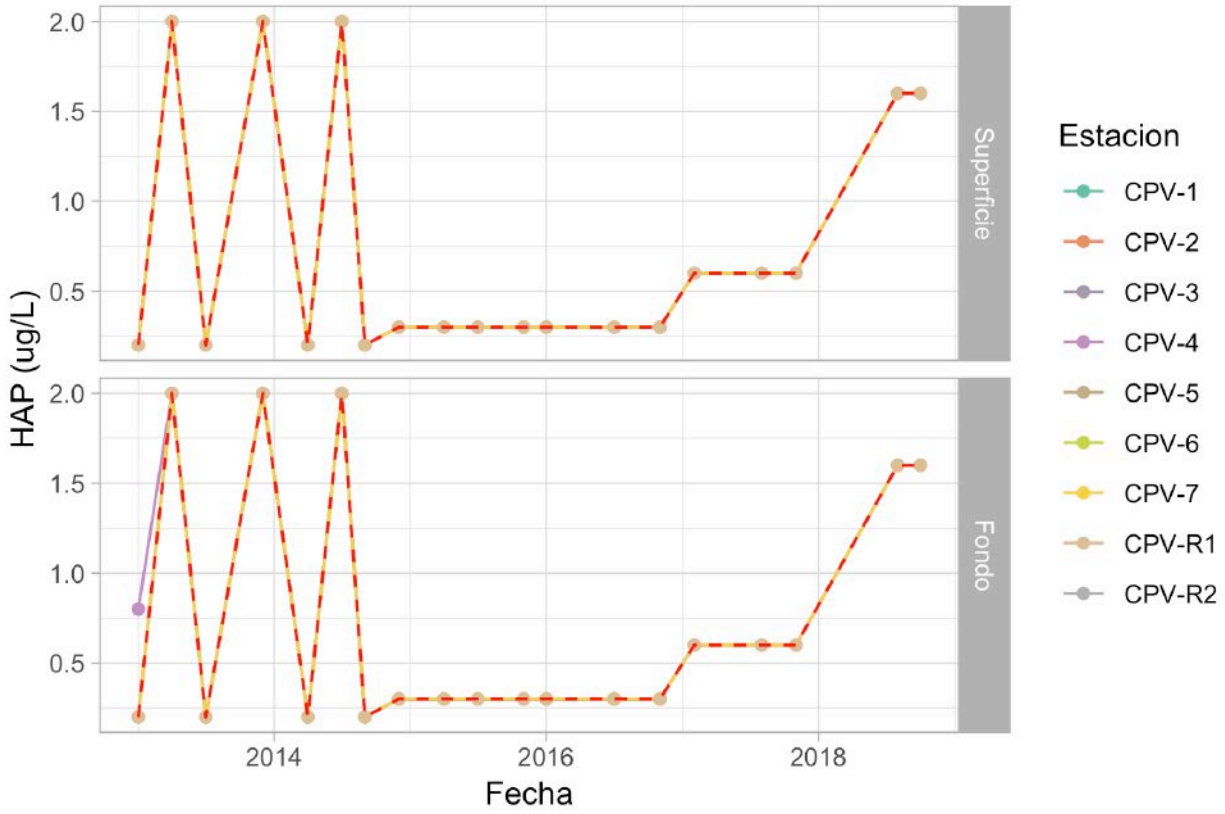


Figura 77. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

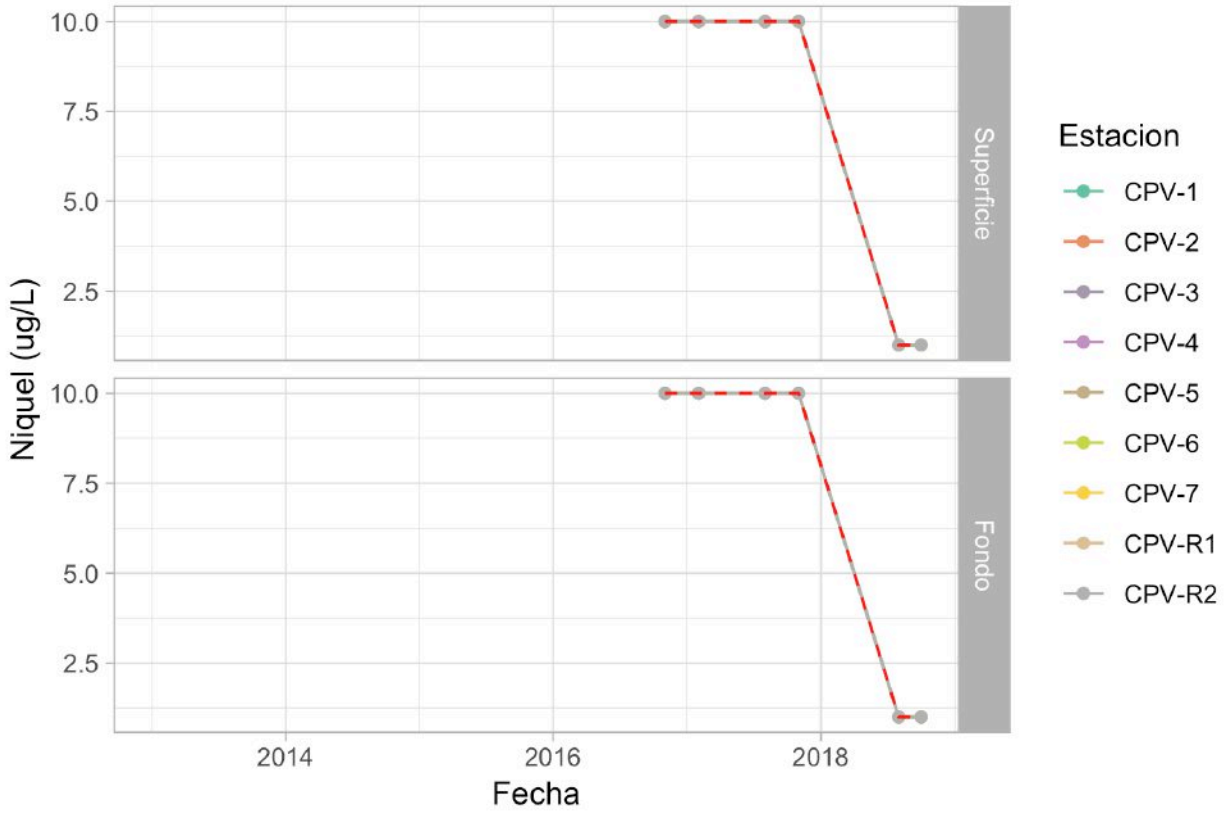


Figura 78. Niveles de níquel (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

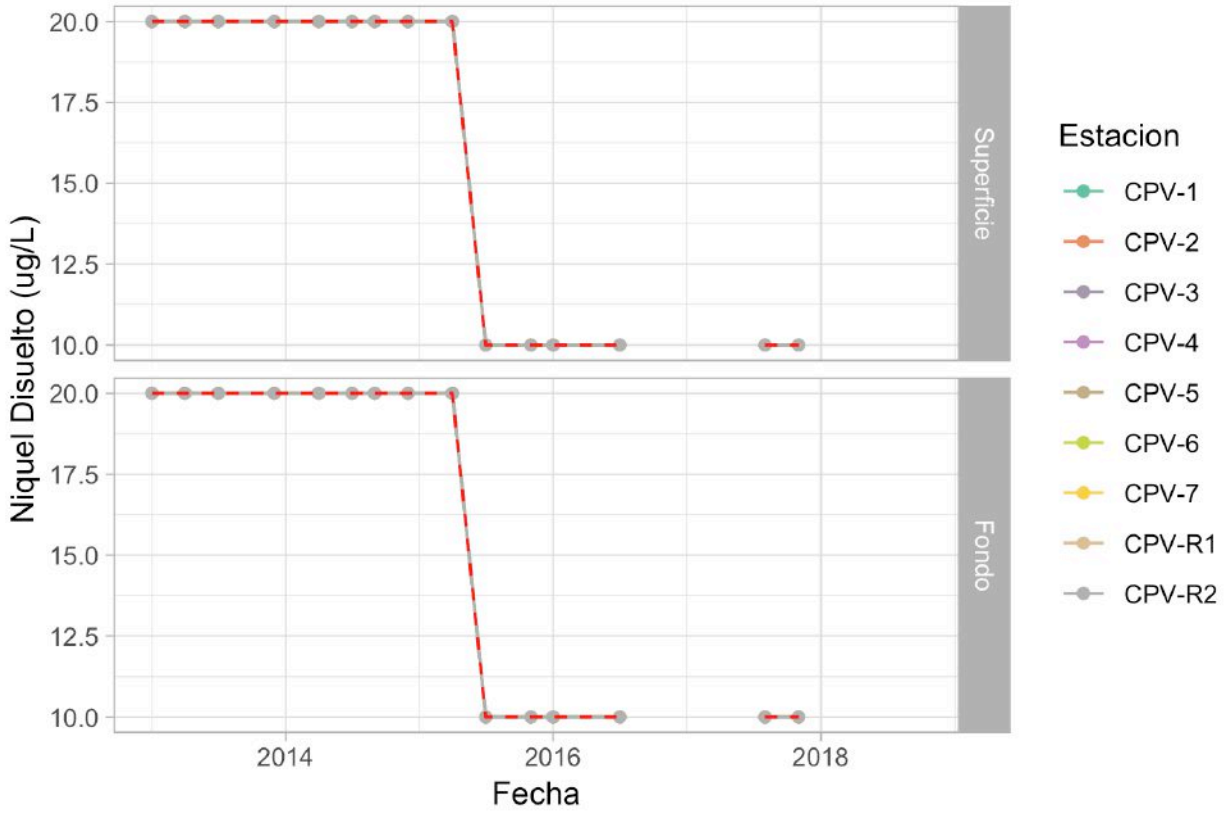


Figura 79. Niveles de níquel disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

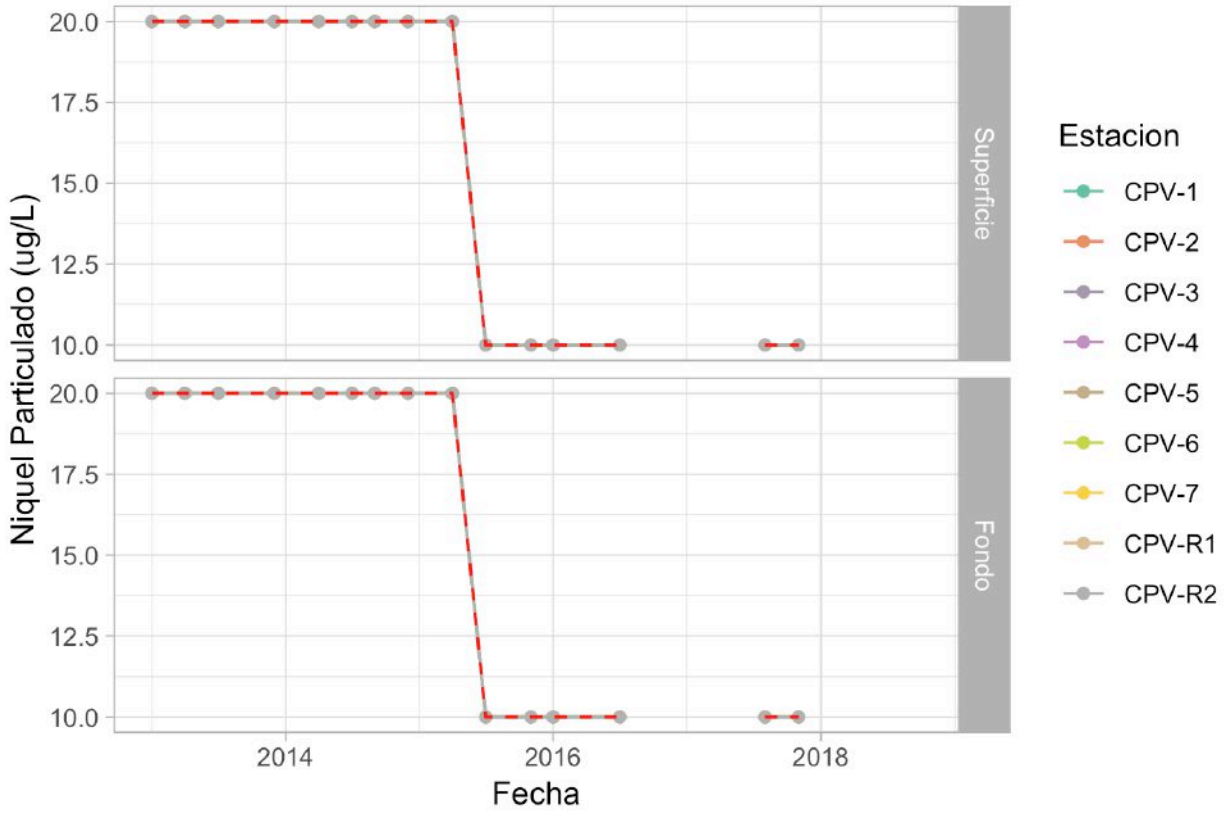


Figura 80. Niveles de níquel particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

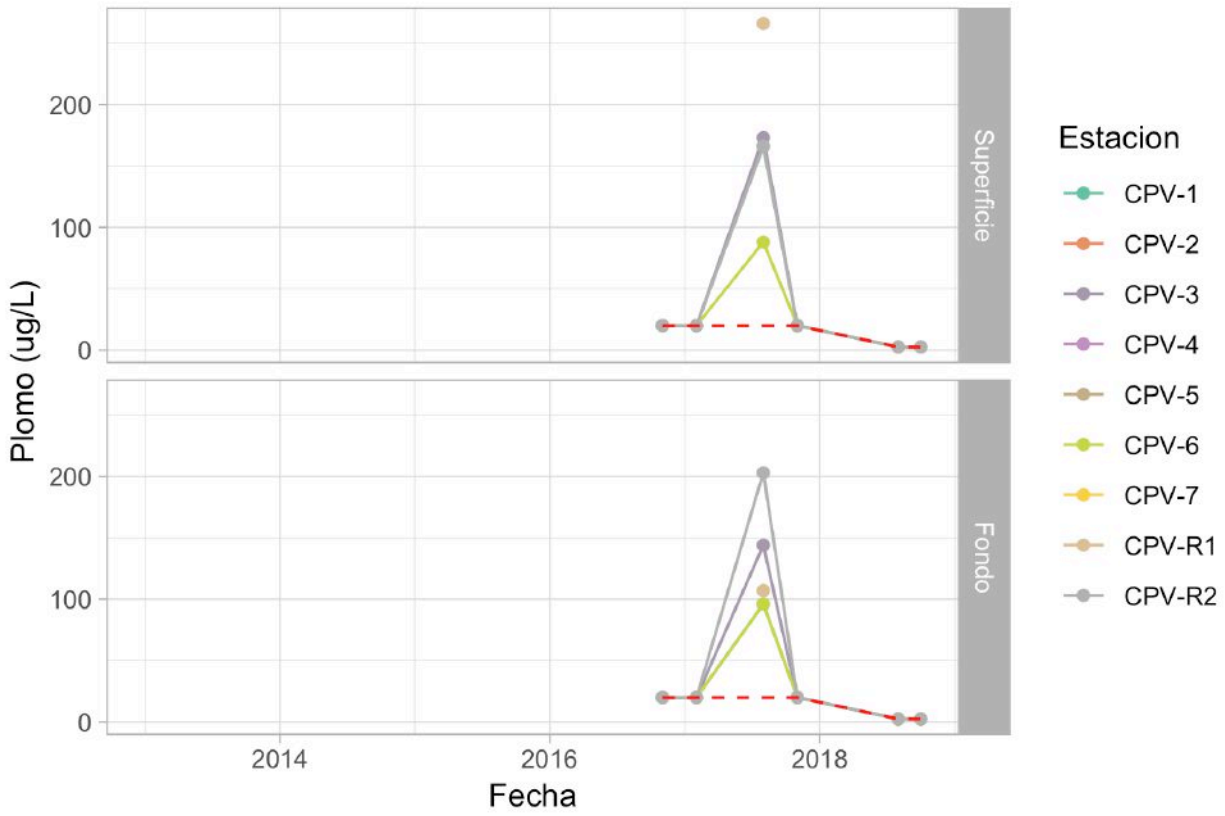


Figura 81. Niveles de plomo (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

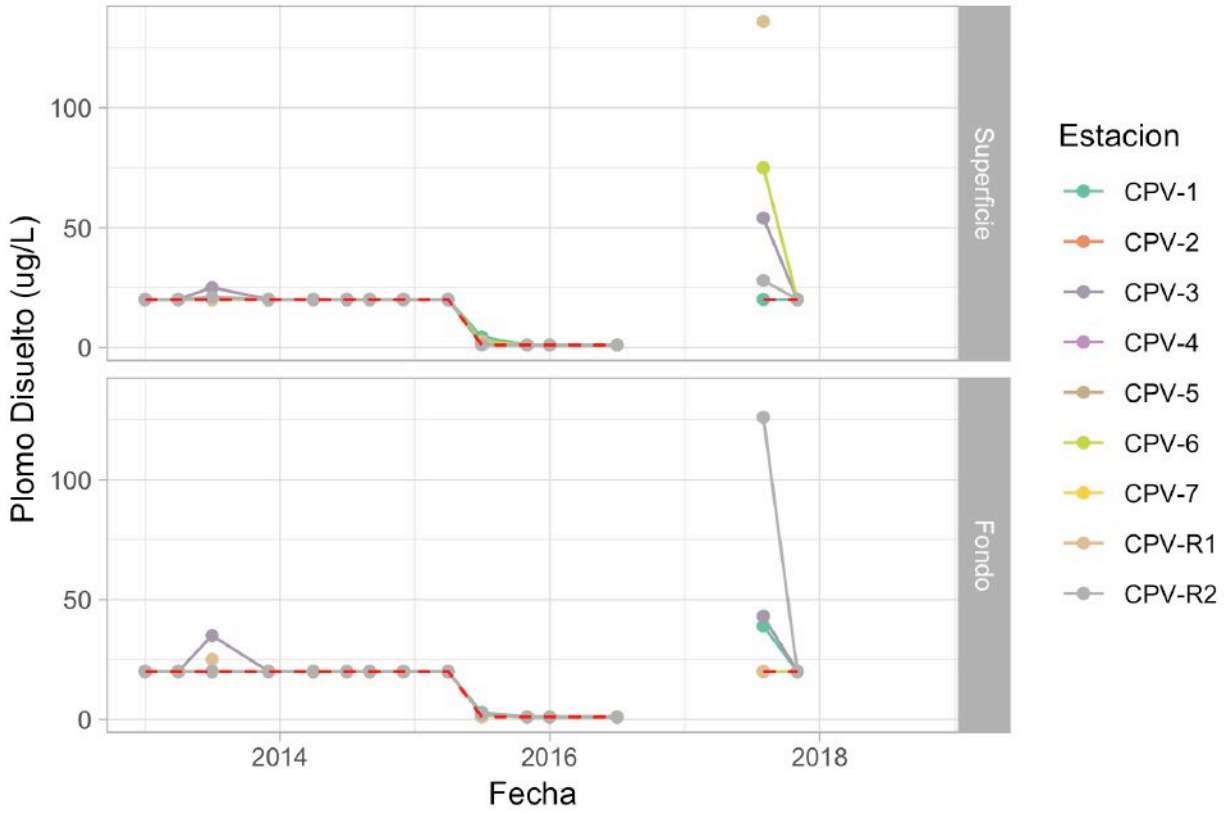


Figura 82. Niveles de plomo disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

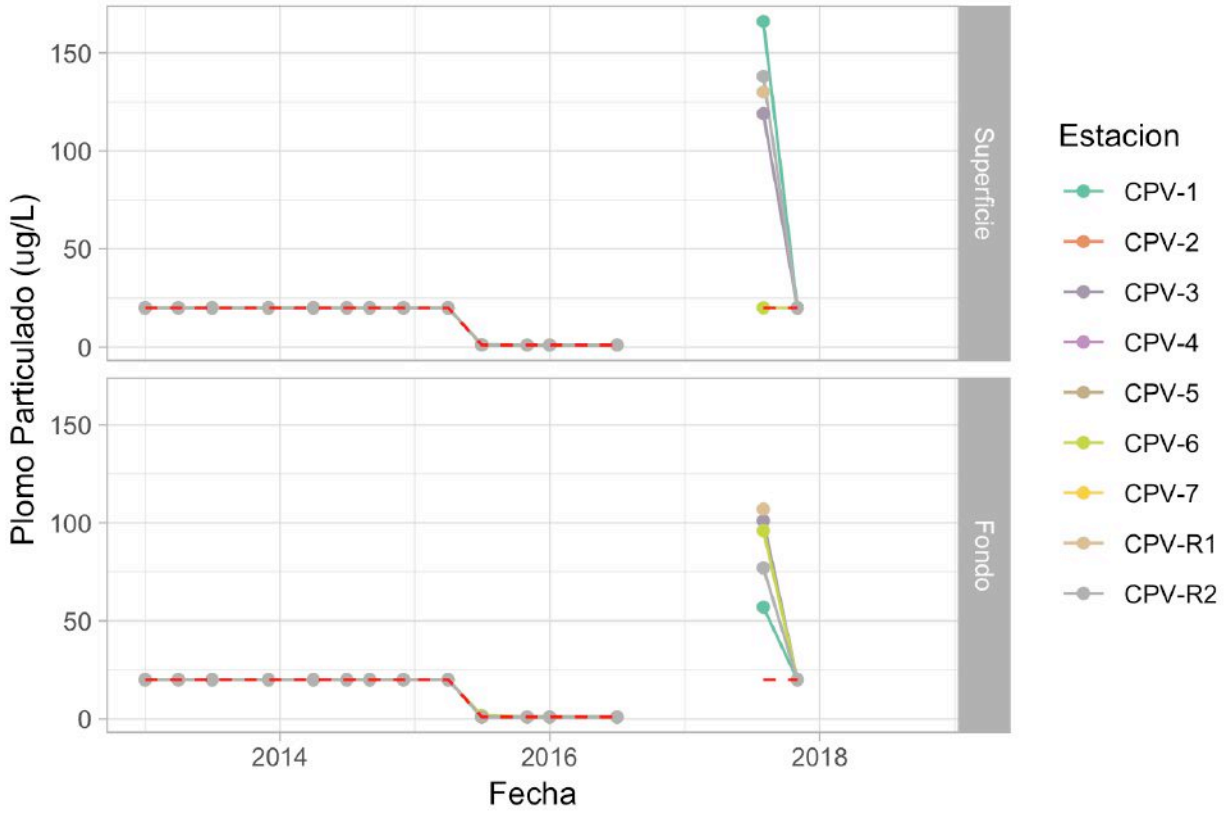


Figura 83. Niveles de plomo particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

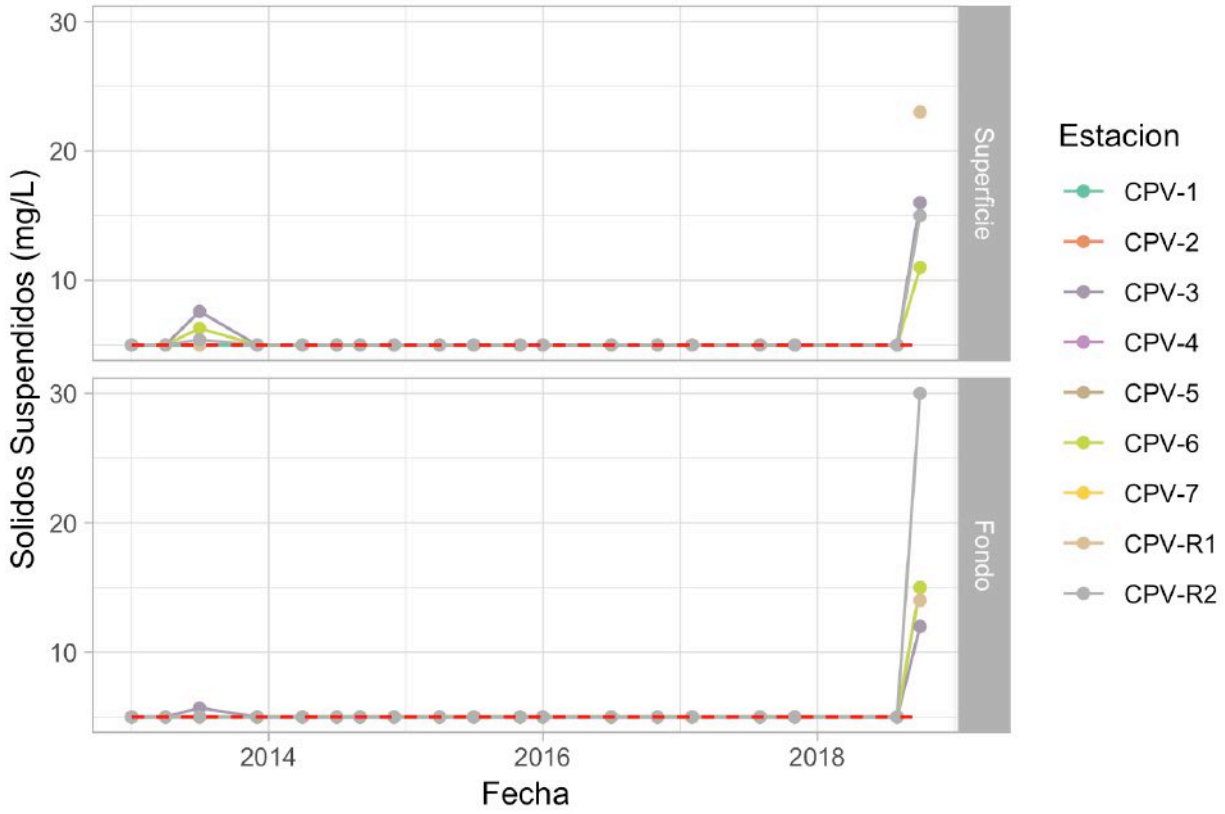


Figura 84. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

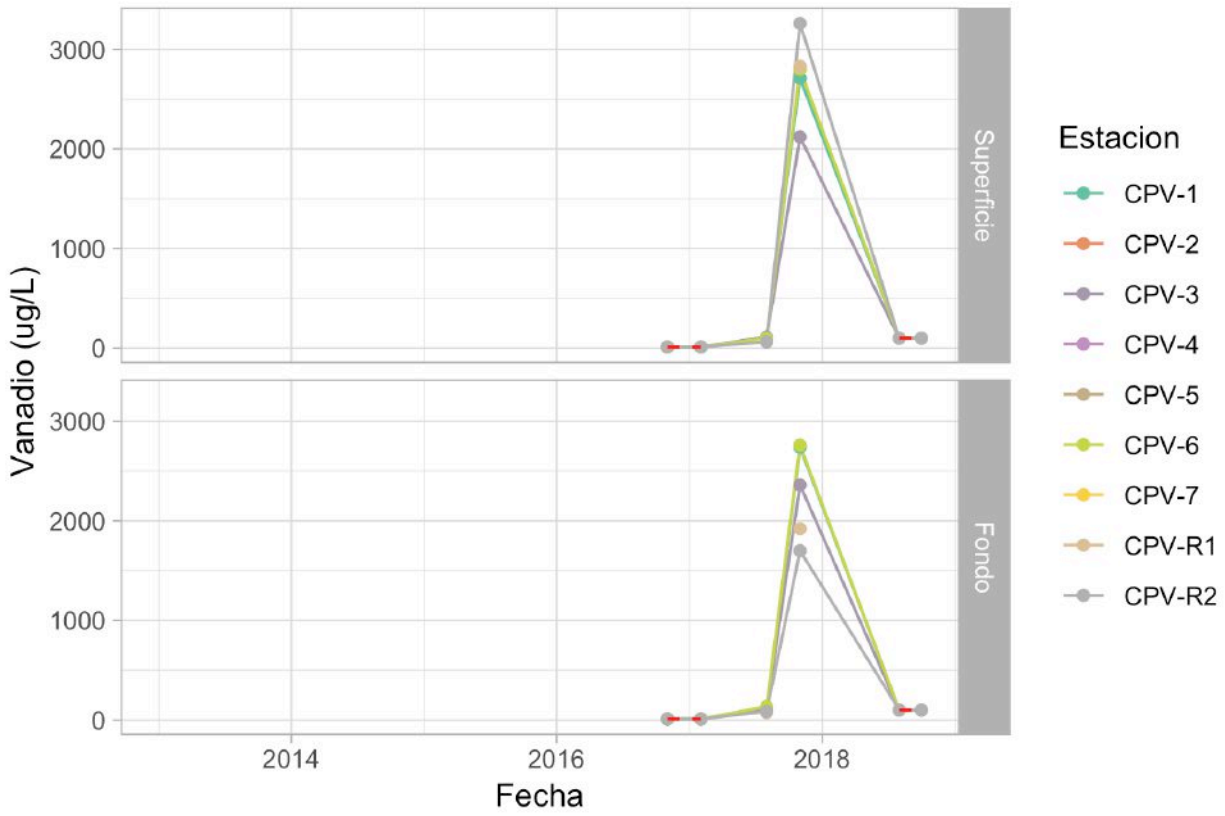


Figura 85. Niveles de vanadio (μg/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2016 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

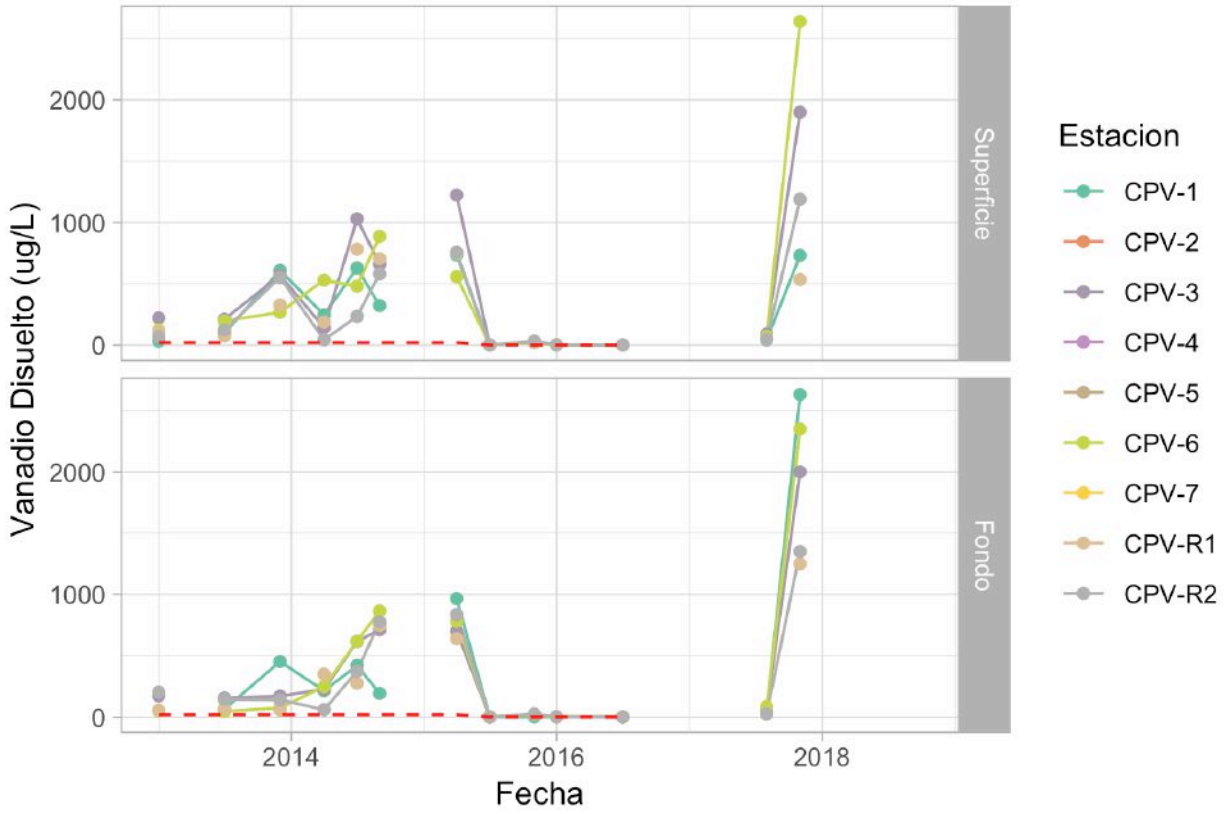


Figura 86. Niveles de vanadio disuelto (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

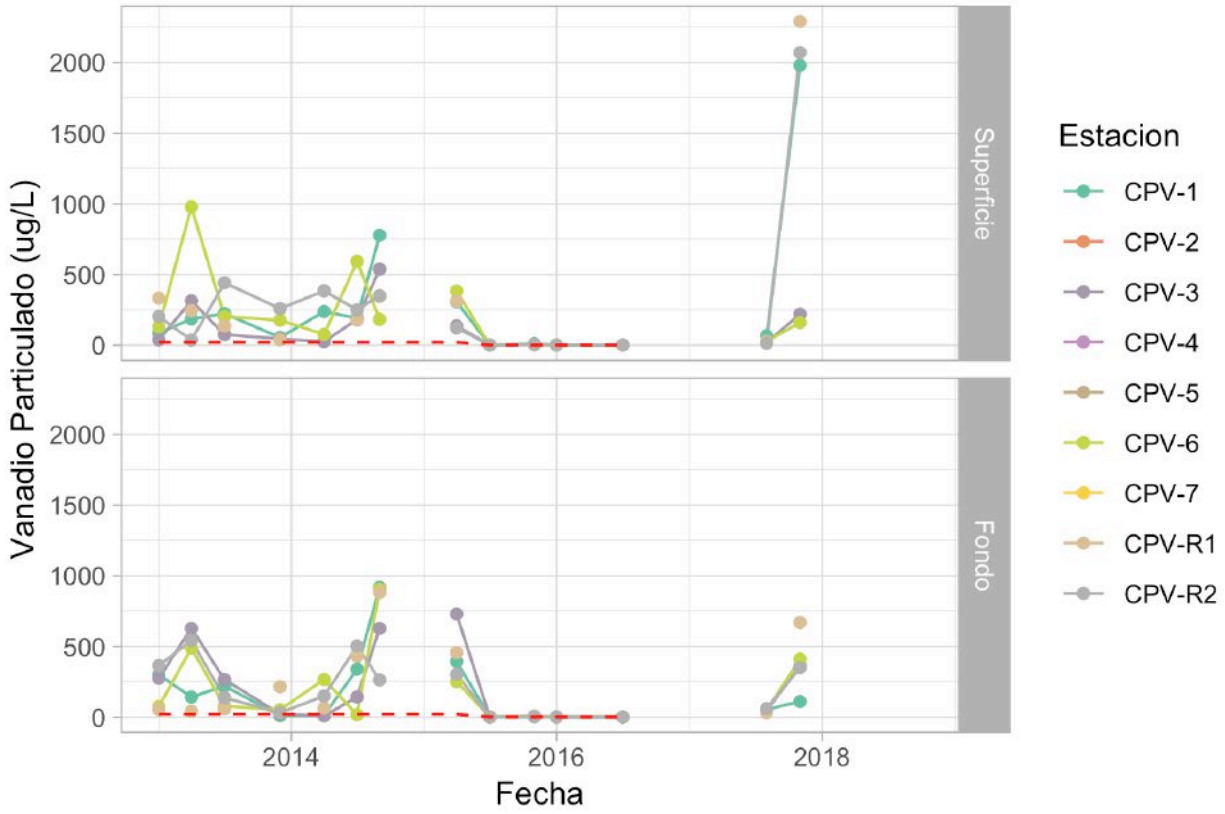


Figura 87. Niveles de vanadio particulado (ug/L), para los estratos superficie y fondo, entre los años 2013 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.7.4.2 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 36**). En términos generales los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando los parámetros hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), arenas gruesas (AG), arenas muy gruesas (AMG), fangos y arcillas (FyA) y grava muy fina (GMF), cuyos coeficientes de variación fueron mayores a 100% (256%, 168%, 226%, 105% y 275% respectivamente).

Tabla 36. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
COT	%	81	0,176	1,80	0,576	0,264	46%	0,834	4,16E-08	-
Cu	mg/kg	81	3,850	142,00	29,001	23,021	79%	0,688	7,79E-12	0%
Pb	mg/kg	81	0,200	9,80	3,298	2,391	73%	0,936	5,27E-04	27%
Ni	mg/kg	81	0,200	4,06	1,295	1,105	85%	0,763	4,11E-10	25%
V	mg/kg	81	1,080	86,50	23,077	19,383	84%	0,737	9,93E-11	0%
HAP	mg/kg	81	0,010	2,00	0,244	0,625	256%	0,386	9,77E-17	90%
AF	%	81	0,370	68,49	38,661	19,593	51%	0,932	3,27E-04	-
AG	%	81	0,000	36,70	4,747	7,960	168%	0,559	3,26E-14	-
AM	%	81	0,310	34,24	11,541	9,300	81%	0,918	6,77E-05	-
AMF	%	81	0,000	84,50	31,292	22,501	72%	0,932	3,56E-04	-
AMG	%	81	0,000	48,56	5,707	12,876	226%	0,477	1,72E-15	-
FyA	%	81	0,000	16,94	3,885	4,074	105%	0,836	4,86E-08	-
GMF	%	81	0,000	56,00	4,131	11,347	275%	0,406	1,76E-16	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.7.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en la **Tabla 36**.

En la **Figura 88** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el submareal. Se puede observar que, en la mayoría de las estaciones se registra una mayor dominancia de arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF), exceptuando las estaciones CPV-1, CPV-2, CPV-R1 y CPV-R2 donde se registra una mayor presencia de arenas muy gruesas (AMG) y grava muy fina (GMF), entre los años 2013 y 2014; y la estaciones CPV-3, CPV-6, CPV-7, CPV-R1 y CPV-R2, con mayor presencia de arenas gruesas (AG) y arenas muy gruesas (AMG), en el año 2016.

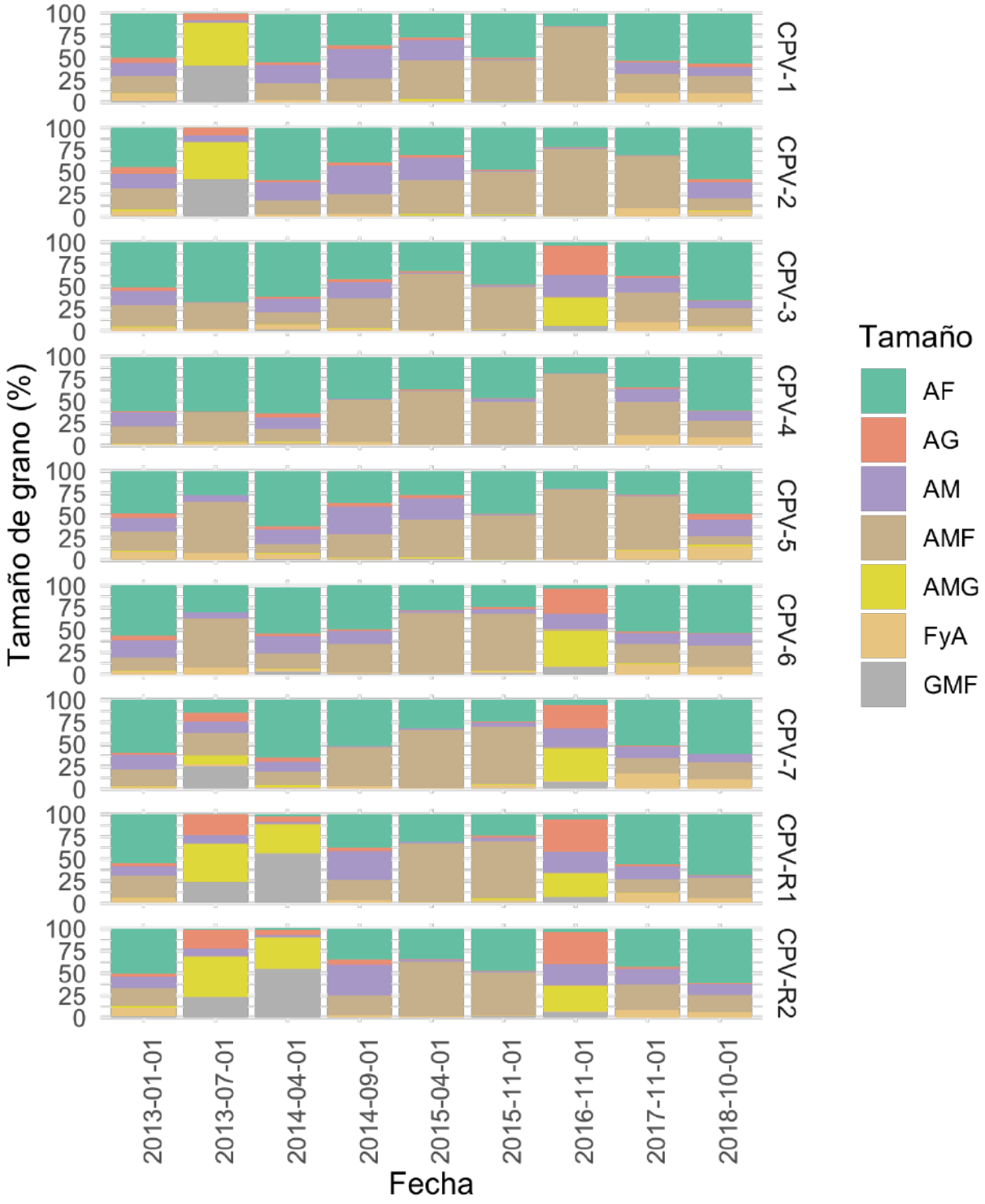


Figura 88. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2013 y 2018.

En las **Figura 89 a 94** se entrega la tendencia de los parámetros carbono orgánico total (COT), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni), vanadio (V) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) para cada una de las estaciones entre los años 2013 y 2018.

El carbono orgánico total (**Figura 89**) presentó una alta variabilidad entre estaciones, durante los años 2013 a 2016, con mínimos para la estación CPV-6 y máximos para la estación CPV-1. A partir del año 2016, los niveles de carbono orgánico presentaron tendencias similares entre estaciones, para luego aumentar notoriamente, destacando un peak de carbono en la estación CPV-5. Los niveles de cobre (**Figura 90**) también registraron tendencias altamente variables entre los años 2013 y 2016, con mínimos para la estación CPV-5 y máximos para la estación CPV-7, para luego mantener un patrón similar, disminuyendo la variabilidad entre estaciones. Los niveles de plomo (**Figura 91**) fueron altamente variables hasta el año 2015, para luego presentar un patrón similar entre estaciones, con tendencias ascendentes, alcanzando máximos en las estaciones CPV-3 y CPV-7, en el año 2018. Los niveles de níquel (**Figura 92**) fueron altamente variables entre estaciones, pero se mantuvo una tendencia ascendente en todos los casos, registrando máximos durante el año 2017, para luego registrar una drástica caída en 2018. Los niveles de vanadio (**Figura 93**) también presentaron tendencias ascendentes en todas las estaciones de muestreo, donde se alcanzan los niveles máximos, para luego caer drásticamente. Finalmente, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 94**) presentaron tendencias similares entre estaciones, hasta el año 2017, para luego presentar niveles de 2 mg/kg en el año 2018. Esto último asociado a cambios en los límites de detección de este parámetro.

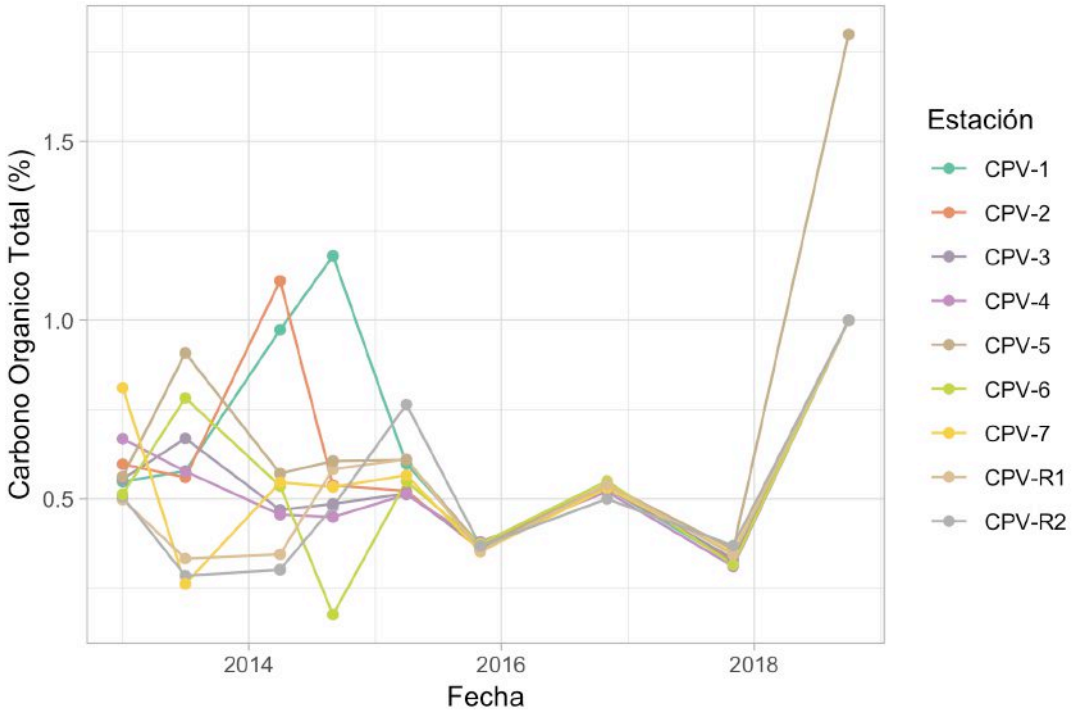


Figura 89. Niveles de carbono orgánico total (%) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

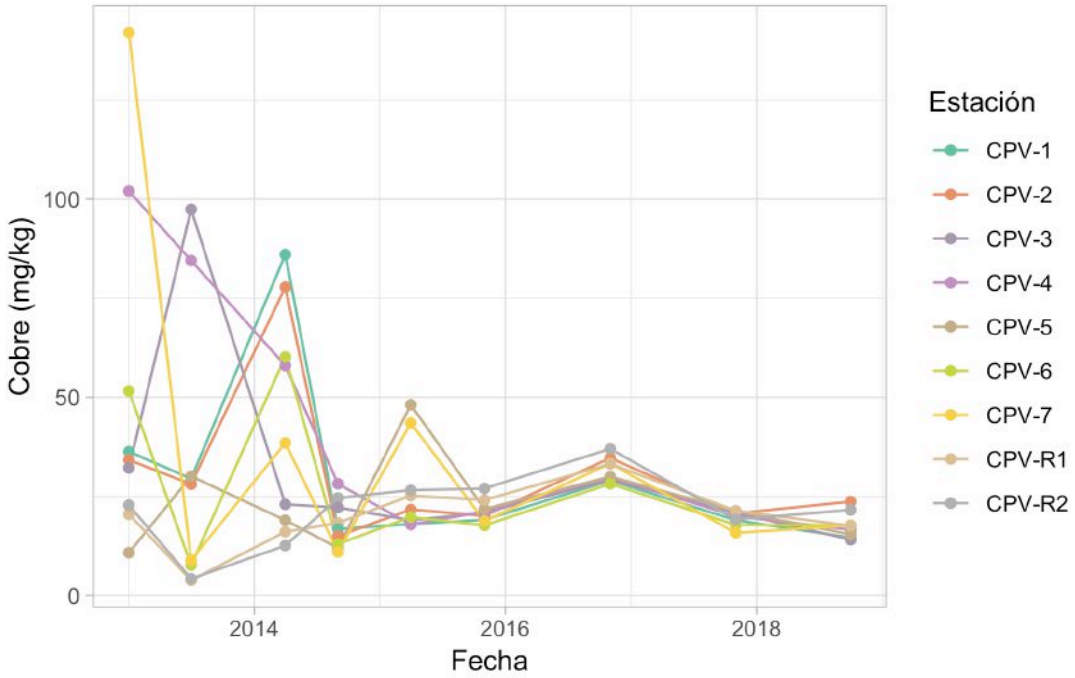


Figura 90. Niveles de cobre (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

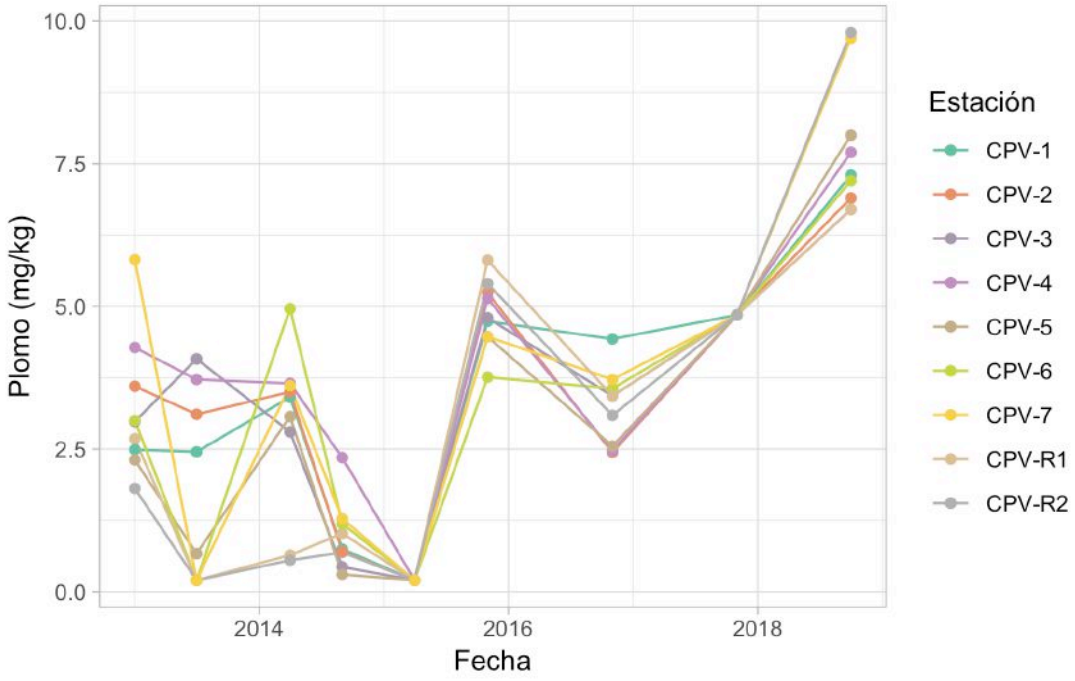


Figura 91. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

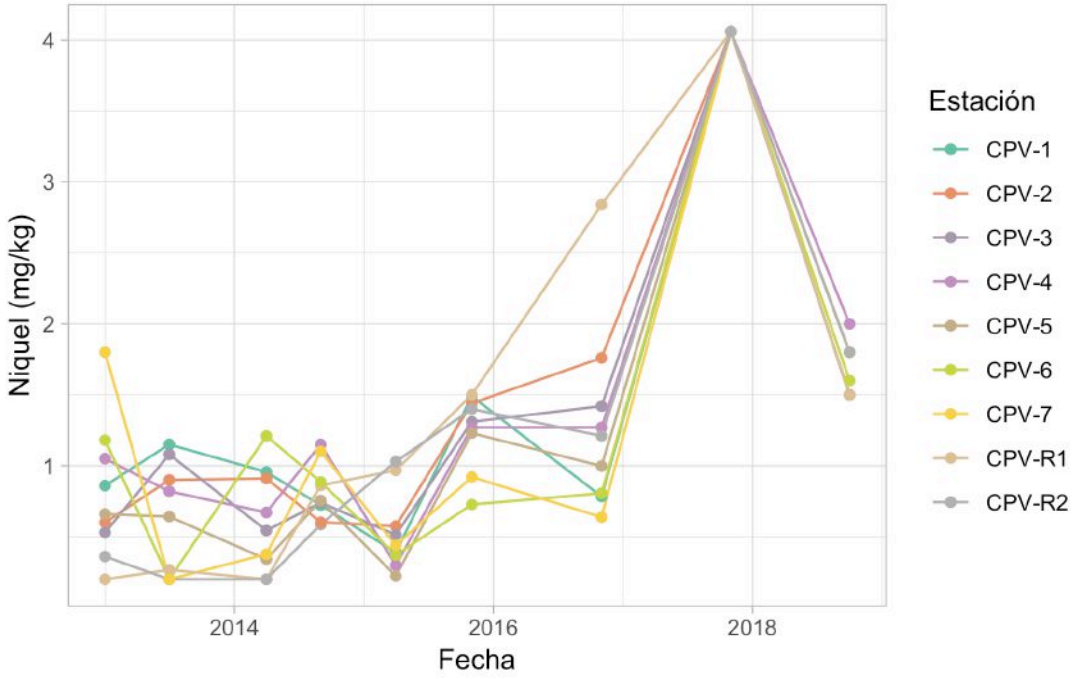


Figura 92. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

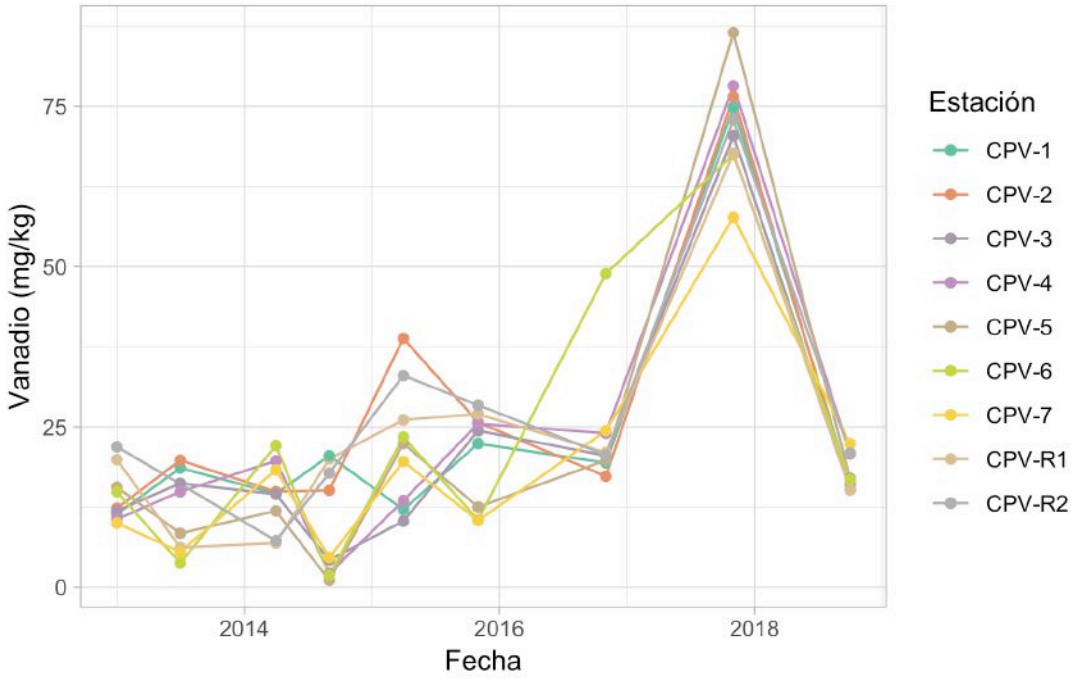


Figura 93. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

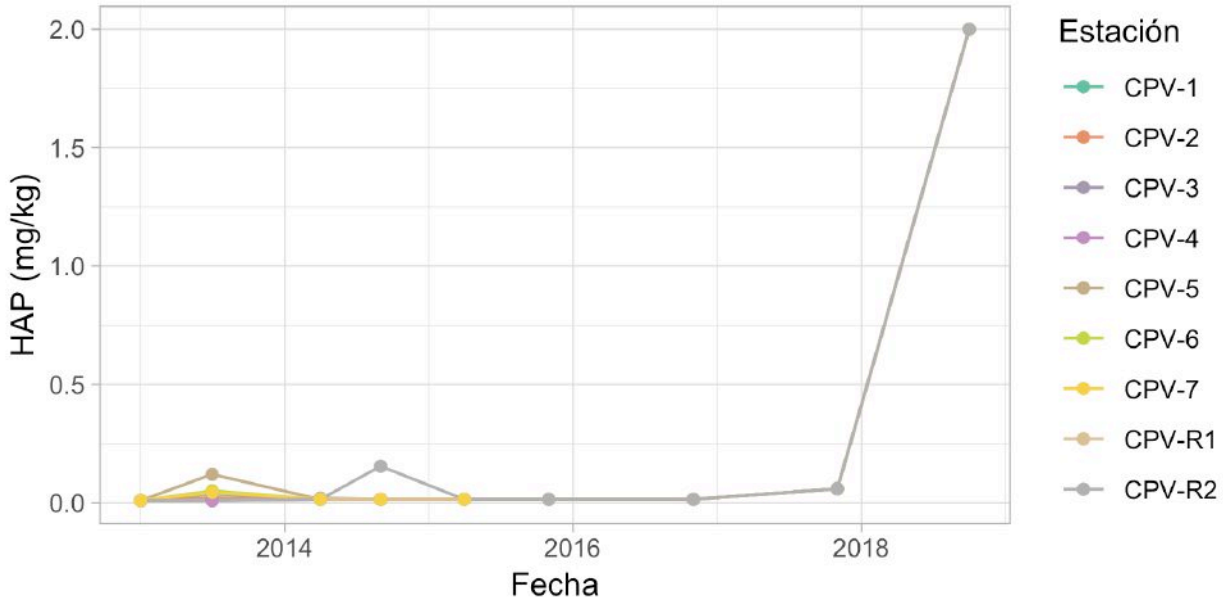


Figura 94. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2013 y 2018.

5.2.7.4.3 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de riqueza, abundancia y biomasa para macrofauna intermareal y submareal (**Tablas 37 y 38**).

Para bentos intermareal la riqueza observada osciló entre 1 y 7 especies; con una media de 3 especies. La abundancia osciló entre 1,228 y 7.759 ind/m^2, con una media de 517,4 ind/m^2; mientras que las biomasas oscilaron entre 0,919 y 2.128,6 g/m^2, con una media de 80,83 g/m^2. Para bentos intermareal, la riqueza osciló entre 5 y 44 especies, con una media de 20 especies. La abundancia osciló entre 0,96 y 2,62 ind/m^2, con una media de 1,77 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,44 y 0,95 g/m^2, con una media de 0,76 g/m^2.

Cabe destacar que la totalidad de los parámetros presentaron baja variabilidad. con coeficientes de variación inferiores a 52%, excepto para los parámetros de abundancia y biomasa en macrofauna intermareal, con coeficientes de variación superiores al 200%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente.

Tabla 37. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento intermareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
S	Nº especies	83	1	7	3,17	0,95	30%	0,8204	0,0000
N	ind/m2	76	1,228	7759	517,39	1.129,94	218%	0,3911	0,0000
B	g/m2	83	0,919	2128,6	80,83	275,25	341%	0,2672	0,0000

Tabla 38. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
S	Nº especies	43	5	44	19,84	10,21	51%	0,9594	0,1314
N	ind/m2	43	0,96	2,62	1,77	0,45	25%	0,9608	0,1477
B	g/m2	43	0,44	0,95	0,76	0,15	19%	0,9209	0,0057

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.7.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 37** y **38**.

5.2.7.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.7.5.1 Calidad de agua

En las **Tablas 39 y 40** se entrega un análisis GLM, para los parámetros aceites y grasas (AyG), compuestos fenólicos (IF), cobre (Cu), cobre disuelto (Cudis), cobre particulado (Cupar), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), níquel (Ni), níquel disuelto (Nidis), níquel particulado (Nipar), plomo (Pb), plomo disuelto (Pbdis), plomo particulado (Pbpar), sólidos suspendidos (Ssus), vanadio (V), vanadio disuelto (Vdis) y vanadio particulado (Vpar), utilizando los efectos estación de muestreo (Estación), estrato (Estrato), Año de muestreo (Año) y Trimestre (Trimestre). Los parámetros cobre, cobre particulado y plomo presentaron diferencias significativas para todas las fuentes de variación, mientras que el resto de los parámetros analizados presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación Año y Trimestre, exceptuando el parámetro aceites y grasas, el cual presentó diferencias significativas para los efectos Estrato y Año, y el parámetro níquel, el cual presentó diferencias significativas para los efectos Estación y Año. Para la totalidad de los parámetros, el Año fue el efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=100%, 30,02%, 40,19%, 69,98%, 32%, 40,89%, 100%, 80,31%, 80,31%, 47,34%, 60,57%, 64,79%, 51,13%, 37,85% y 29,76%, respectivamente), excepto para el vanadio, donde el efecto Trimestre fue el que presentó una mayor devianza explicada (DE=37,85%).

Tabla 39. Resultados de MLG para los parámetros aceites y grasas (AyG), compuestos fenólicos (IF), cobre (Cu), cobre disuelto (Cudis), cobre particulado (Cupar), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), níquel (Ni) y níquel disuelto (Nidis), en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			189		427,840		
AyG	Estación	4	185	0,000	427,840	1,0000	0
	Estrato	1	184	0,000	427,840	0,0000	0
	Año	5	179	427,840	0,000	0,0000	**100**
	Trimestre	3	176	0,000	0,000	1,0000	0
			189		0,050		
IF	Estación	4	185	0,001	0,050	0,3581	1,21
	Estrato	1	184	0,000	0,050	0,3410	0,25
	Año	5	179	0,015	0,034	0,0000	**30,02**
	Trimestre	3	176	0,010	0,025	0,0000	19,53
			59		2237,733		
Cu	Estación	4	55	303,356	1934,376	0,0000	13,56
	Estrato	1	54	109,603	1824,774	0,0013	4,9
	Año	2	52	899,420	925,354	0,0000	**40,19**
	Trimestre	2	50	420,931	504,423	0,0000	18,81
			149		223,191		
Cudis	Estación	4	145	1,388	221,802	0,4960	0,62
	Estrato	1	144	0,019	221,784	0,8316	0,01
	Año	4	140	156,180	65,604	0,0000	**69,98**
	Trimestre	3	137	12,805	52,799	0,0000	5,74
			149		1682,355		
Cupar	Estación	4	145	107,603	1574,752	0,0163	6,4
	Estrato	1	144	52,570	1522,183	0,0148	3,12
	Año	4	140	538,342	983,841	0,0000	**32**
	Trimestre	3	137	107,434	876,407	0,0070	6,39
			189		104,898		
HAP	Estación	4	185	0,010	104,888	0,9999	0,01
	Estrato	1	184	0,003	104,886	0,9305	0
	Año	5	179	42,894	61,991	0,0000	**40,89**
	Trimestre	3	176	6,354	55,637	0,0003	6,06
			59		207,504		
Ni	Estación	4	55	0,000	207,504	0,0000	0
	Estrato	1	54	0,000	207,504	1,0000	0
	Año	2	52	207,504	0,000	0,0000	**100**
	Trimestre	2	50	0,000	0,000	1,0000	0
			149		239,312		
Nidis	Estación	4	145	0,000	239,312	1,0000	0
	Estrato	1	144	0,000	239,312	1,0000	0
	Año	4	140	192,199	47,113	0,0000	**80,31**
	Trimestre	3	137	11,629	35,484	0,0000	4,86

Tabla 40. Resultados de MLG para los parámetros níquel particulado (Nipar), plomo (Pb), plomo disuelto (Pbdis), plomo particulado (Pbpar), sólidos suspendidos (Ssus), vanadio (V), vanadio disuelto (Vdis) y vanadio particulado (Vpar), en agua de mar, entre 2013 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			149		239,312		
Nipar	Estación	4	145	0,000	239,312	1,0000	0
	Estrato	1	144	0,000	239,312	1,0000	0
	Año	4	140	192,199	47,113	0,0000	**80,31**
	Trimestre	3	137	11,629	35,484	0,0000	4,86
			59		3528,523		
Pb	Estación	4	55	60,944	3467,578	0,0013	1,73
	Estrato	1	54	21,087	3446,491	0,0131	0,6
	Año	2	52	1670,406	1776,085	0,0000	**47,34**
	Trimestre	2	50	1631,042	145,043	0,0000	46,22
			149		1895,415		
Pbdis	Estación	4	145	12,815	1882,600	0,6136	0,68
	Estrato	1	144	1,081	1881,519	0,6348	0,06
	Año	4	140	1148,054	733,466	0,0000	**60,57**
	Trimestre	3	137	137,080	596,386	0,0000	7,23
			149		3111,969		
Pbpar	Estación	4	145	15,972	3095,997	0,5404	0,51
	Estrato	1	144	5,920	3090,077	0,2834	0,19
	Año	4	140	2016,353	1073,724	0,0000	**64,79**
	Trimestre	3	137	377,177	696,548	0,0000	12,12
			189		170,772		
Ssus	Estación	4	185	0,923	169,849	0,6792	0,54
	Estrato	1	184	0,002	169,847	0,9461	0
	Año	5	179	87,319	82,528	0,0000	**51,13**
	Trimestre	3	176	16,589	65,939	0,0000	9,71
			59		74493,897		
V	Estación	4	55	160,925	74332,972	0,8822	0,22
	Estrato	1	54	167,834	74165,138	0,2683	0,23
	Año	2	52	25359,817	48805,321	0,0000	34,04
	Trimestre	2	50	44981,393	3823,928	0,0000	**60,38**
			129		75246,224		
Vdis	Estación	4	125	1492,055	73754,170	0,2774	1,98
	Estrato	1	124	0,086	73754,083	0,9863	0
	Año	4	120	28481,376	45272,708	0,0000	**37,85**
	Trimestre	3	117	9309,143	35963,565	0,0000	12,37
			139		53094,513		
Vpar	Estación	4	135	714,784	52379,729	0,6766	1,35
	Estrato	1	134	339,641	52040,088	0,2934	0,64
	Año	4	130	15798,602	36241,486	0,0000	**29,76**
	Trimestre	3	127	2124,130	34117,356	0,0751	4

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figuras 95 y 96**), indica que, para aceites y grasas, los mayores niveles fueron registrados para el año 2018, mientras que para los años 2013 a 2017 se presentaron niveles inferiores. Para los compuestos fenólicos, los menores niveles se registraron para el 2018, mientras que los mayores niveles se registraron para los años 2014, 2015 y 2017. Los niveles de cobre disminuyeron en los años con alta variabilidad, registrando los niveles más bajos en el año 2018. El cobre disuelto presentó niveles altamente variables, con mínimos durante el año 2016 y máximos durante el año 2017. Los niveles de cobre particulado fueron relativamente constantes entre estaciones, destacando que, la estación CPV-R2 fue la que presentó los mayores niveles promedio. Para los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los niveles promedio se mantuvieron relativamente constantes hasta el año 2017, seguido de un notorio aumento, hasta alcanzar niveles máximos durante el 2018. Los niveles de níquel fueron altos entre el 2016 y 2017, disminuyendo en 2018. Por otro lado, los niveles promedio de níquel disuelto presentaron tendencias descendentes, hasta alcanzar mínimos durante el 2017. Esta misma tendencia fue registrada para el níquel particulado, con niveles máximos durante el 2013 y 2014 y niveles mínimos en 2017. El plomo presentó niveles alto entre 2016 y 2017 y niveles bajos en 2018, mientras que el plomo disuelto y plomo particulado, presentaron tendencias similares, con niveles mínimos en 2016 y niveles máximos en 2018, con una mayor variabilidad para plomo disuelto. Los niveles de sólidos suspendidos se mantuvieron relativamente constantes hasta el año 2017, presentar una tendencia ascendente en 2018, donde se observaron los mayores niveles. Los niveles de vanadio fueron bajos entre trimestres, excepto para el 4 trimestre, alcanzando mayores niveles, con una alta variabilidad. Para vanadio disuelto, los niveles fueron variables entre años, destacando mayores niveles en 2017 y niveles mínimos en 2016. Esta misma tendencia fue registrada para el vanadio particulado. El análisis de los residuales se presenta en el **Anexo 5.a**.

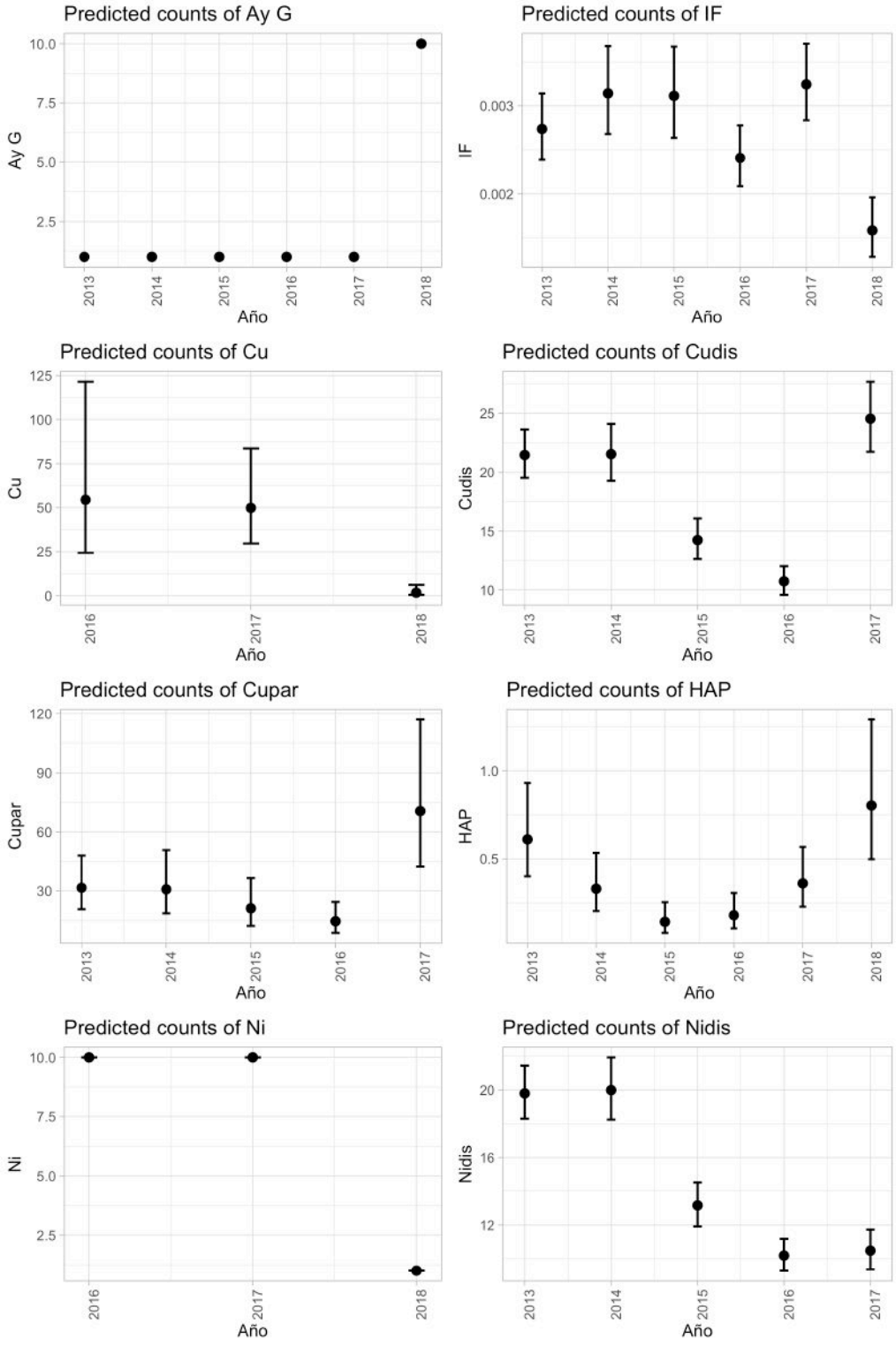


Figura 95. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua (aceites y grasas - níquel disuelto).

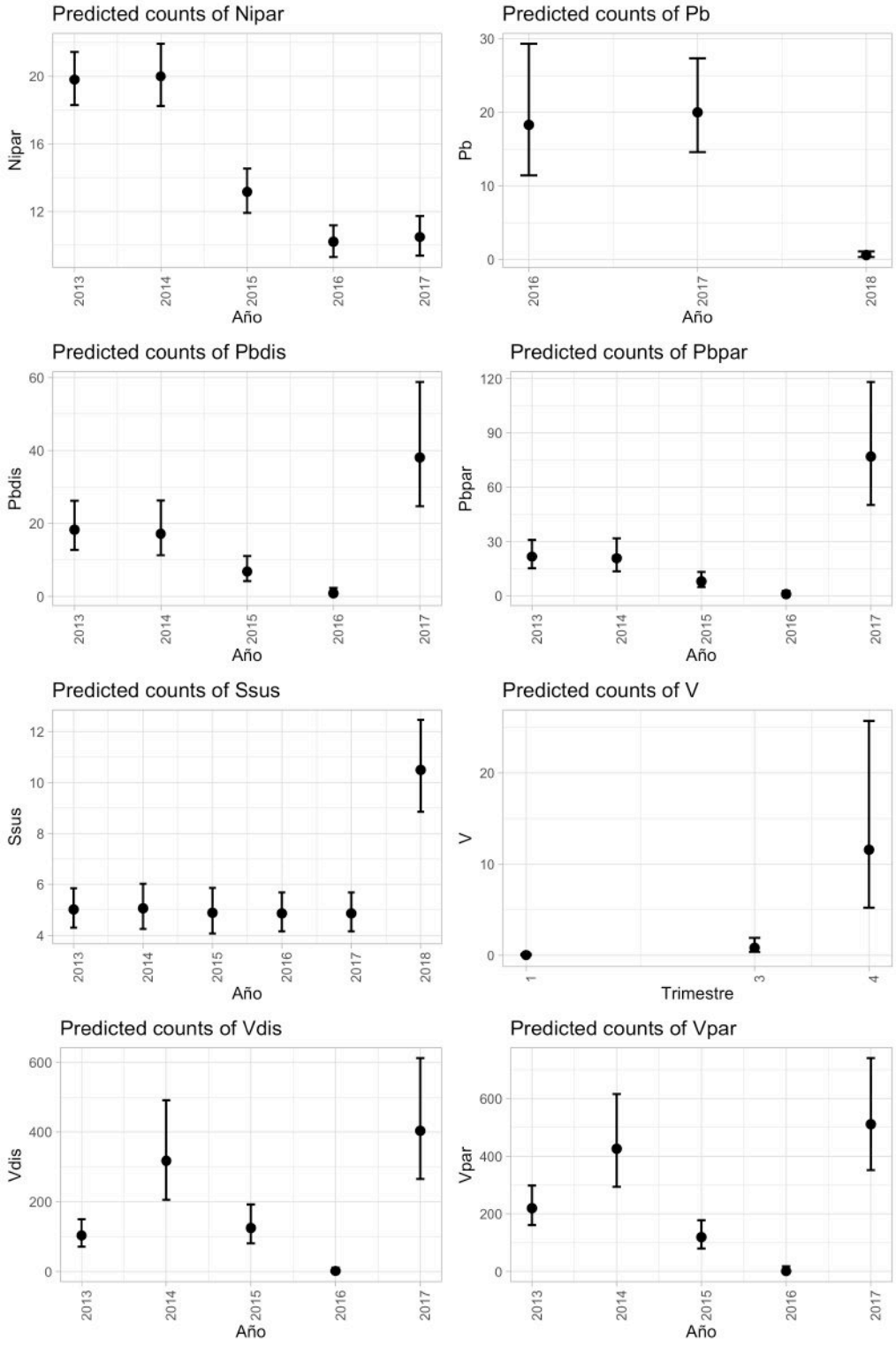


Figura 96. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua (níquel particulado – vanadio particulado)

5.2.7.5.2 Calidad de sedimentos

En la **Figura 97** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en las distintas estaciones de muestreo. El análisis arrojó diferencias significativas entre campañas de muestreo (PERMANOVA R^2=0,49; P<0,001), destacando entre los años 2013 y 2014, una composición del sedimento con una alta variabilidad; con presencia de arenas muy gruesas (AMG), arenas gruesas (AG), grava muy fina (GMF), arenas finas (AF) y cobre (Cu), mientras que para el año 2015, la composición fue más específica, con mayor porcentaje de arenas muy finas (AMF). Para el año 2016, se registra mayor heterogeneidad, con arenas uy gruesas (AMG), arenas gruesas (AG) y arenas muy finas (AMF). Finalmente, entre los años 2017 y 2018, se registran arenas finas (AF), fangos y arcillas (FyA), plomo (Pb), níquel (Ni) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

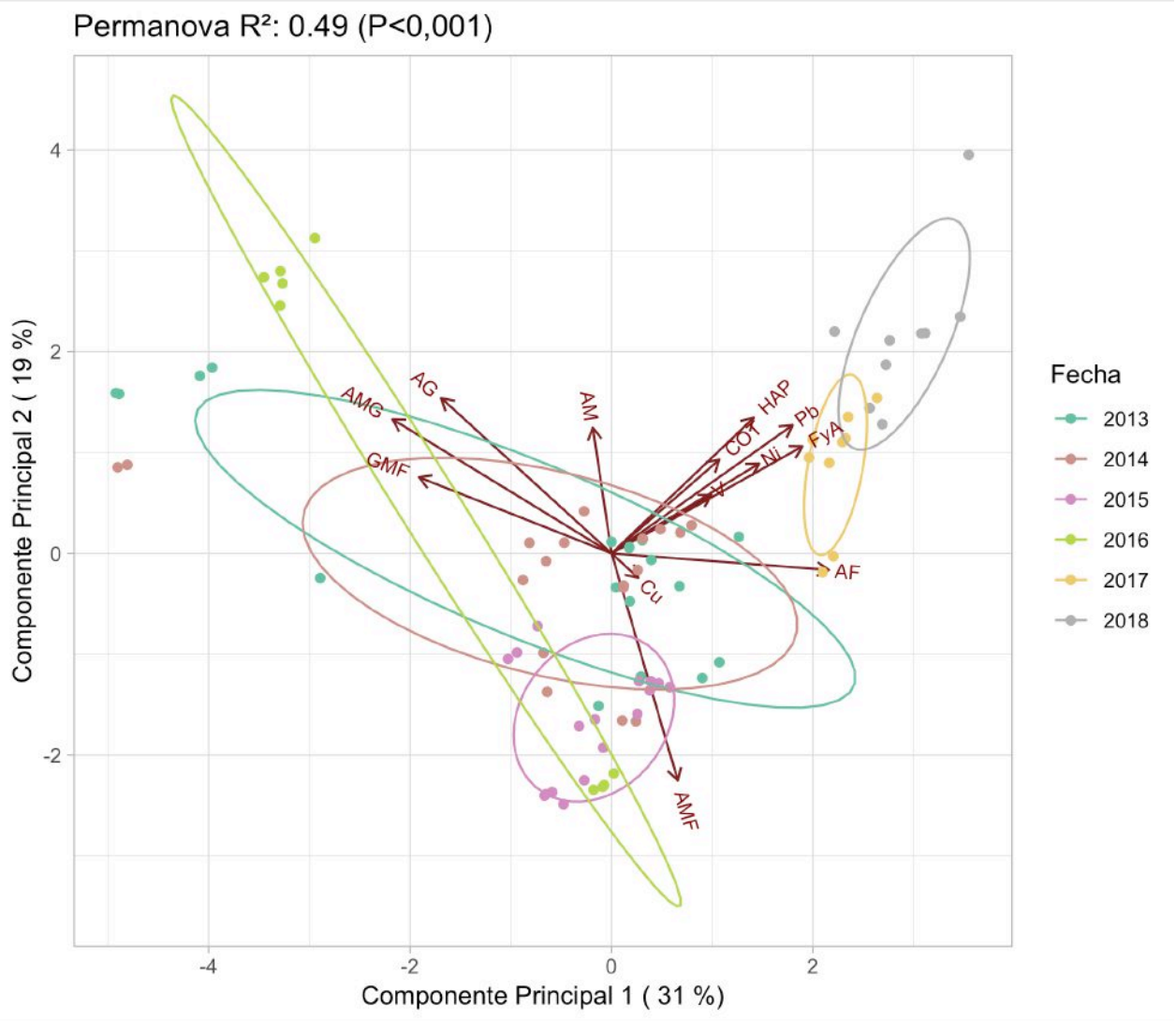


Figura 97. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.7.5.3 Comunidades

En la **Figura 98 y 99** se entregan los resultados de Riqueza para las comunidades de la macrofauna intermareal y submareal. La macrofauna intermareal presentó un patrón similar entre campañas y entre transectas de muestreo, fluctuando entre 1 y 7 especies. Contrariamente, la macrofauna submareal presentó una alta variabilidad entre campañas, fluctuando entre mínimos de 5 especies (campañas 25, 39, 41, 43 y 53) y máximos de 44 especies (campaña 13) y una

tendencia ascendente a partir de la campaña 40. En cuanto a la abundancia, en el intermareal se observaron máximos cercanos a 10.000 ind/m^3, con biomasas cercanas a 1.000 g/m^3; mientras que en el submareal fue notoriamente distinto, con abundancias máximas cercanas a 2,5 ind/m^3 con biomasas de 10 g/m^3.

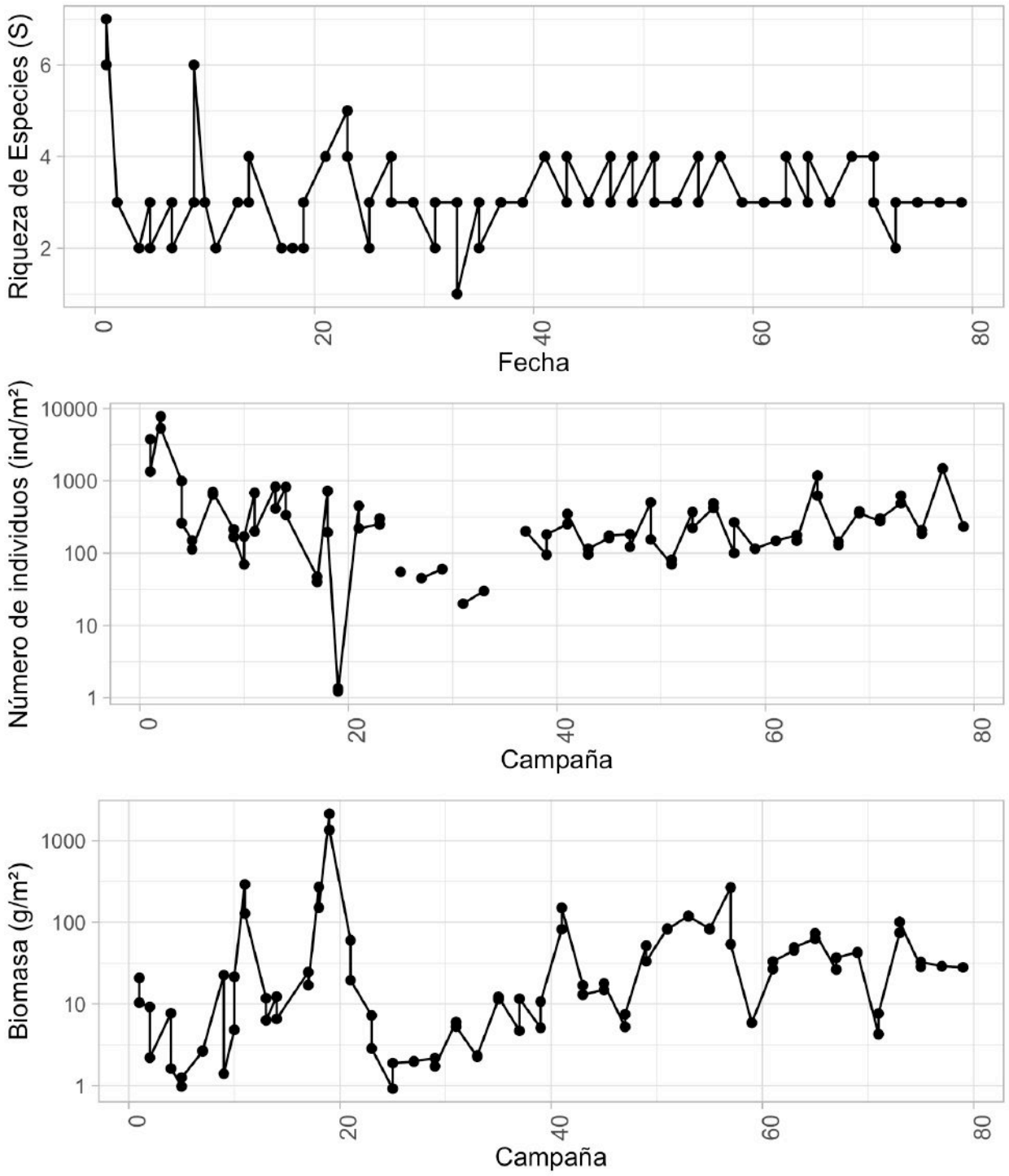


Figura 98. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por campaña de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

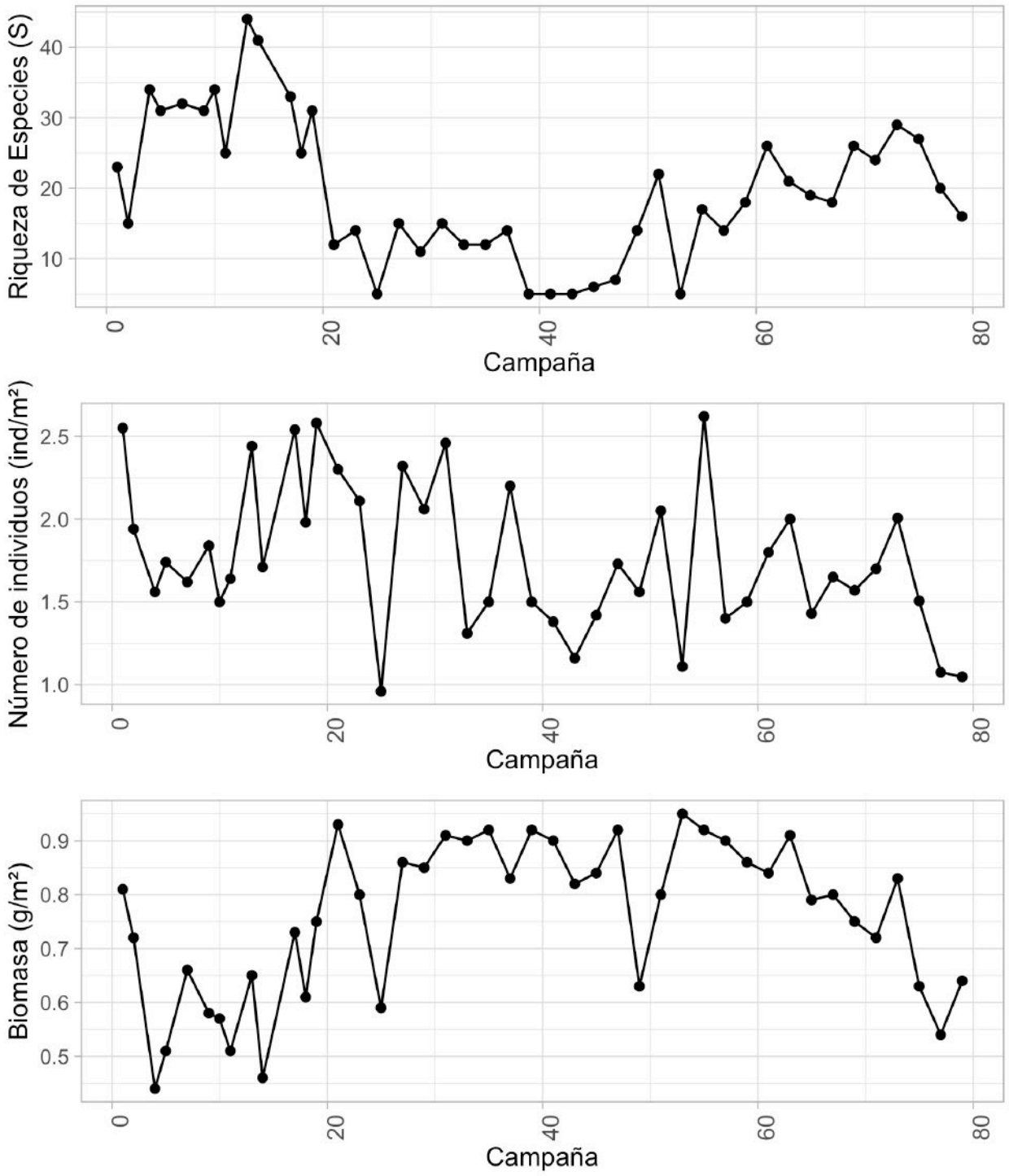


Figura 99. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por campaña de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

5.2.7.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Solamente los parámetros cobre, cobre particulado, y plomo presentaron diferencias significativas entre estratos. No obstante, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad, dado que las diferencias interanuales son las más importantes para explicar la variabilidad de la serie de datos, en la mayoría de los parámetros analizados.

Diferencias entre años

Todos los parámetros de calidad de agua, salvo el Vanadio, mostraron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo este efecto el principal efecto que explica la variabilidad observada en los datos. En el caso de aceites y grasas y níquel las diferencias corresponden a cambios en los límites de detección de las técnicas utilizadas en las determinaciones. Los parámetros, índice fenol, cobre, níquel disuelto, níquel particulado y plomo, mostraron una tendencia descendente hacia los últimos años de la serie analizada. Parámetros como cobre particulado, HAP, plomo disuelto, plomo particulado, sólidos suspendidos, y vanadio disuelto, presentaron tendencias ascendentes en los últimos años. Finalmente, parámetros como cobre disuelto, vanadio disuelto y vanadio particulado si bien presentan variaciones interanuales importantes, no se aprecia una tendencia ascendente o descendente en las tendencias de éstos.

Estacionalidad

Si bien, en la mayoría de los parámetros analizados en calidad de agua existen diferencias significativas entre épocas del año, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada, únicamente para el Vanadio se observan diferencias entre épocas del año donde las concentraciones tienden aumentan significativamente durante el cuarto trimestre.

Diferencias espaciales

Sólo los parámetros cobre, cobre particulado, y plomo, presentaron diferencias significativas entre estaciones. No obstante, las diferencias espaciales (entre estaciones de monitoreo) no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada. En términos generales la totalidad de las estaciones esta ubicada frente a la planta y en una zona

muy costera, lo cual explicaría la ausencia de diferencias significativas en la mayoría de los parámetros (**Figuras 70 y 71**).

5.2.8 CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS

5.2.8.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 100** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo de CODELCO CHILE DIVISIÓN VENTANAS. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que las 6 las estaciones de monitoreo submareal, se encuentran cerca de la costa y frente a la ubicación de la planta, y una estación control ubicada al norte de la bahía muy lejos de los puntos de impacto. Este programa comprende, además, 3 estaciones de muestreo intermareal, designadas como norte, centro y sur.

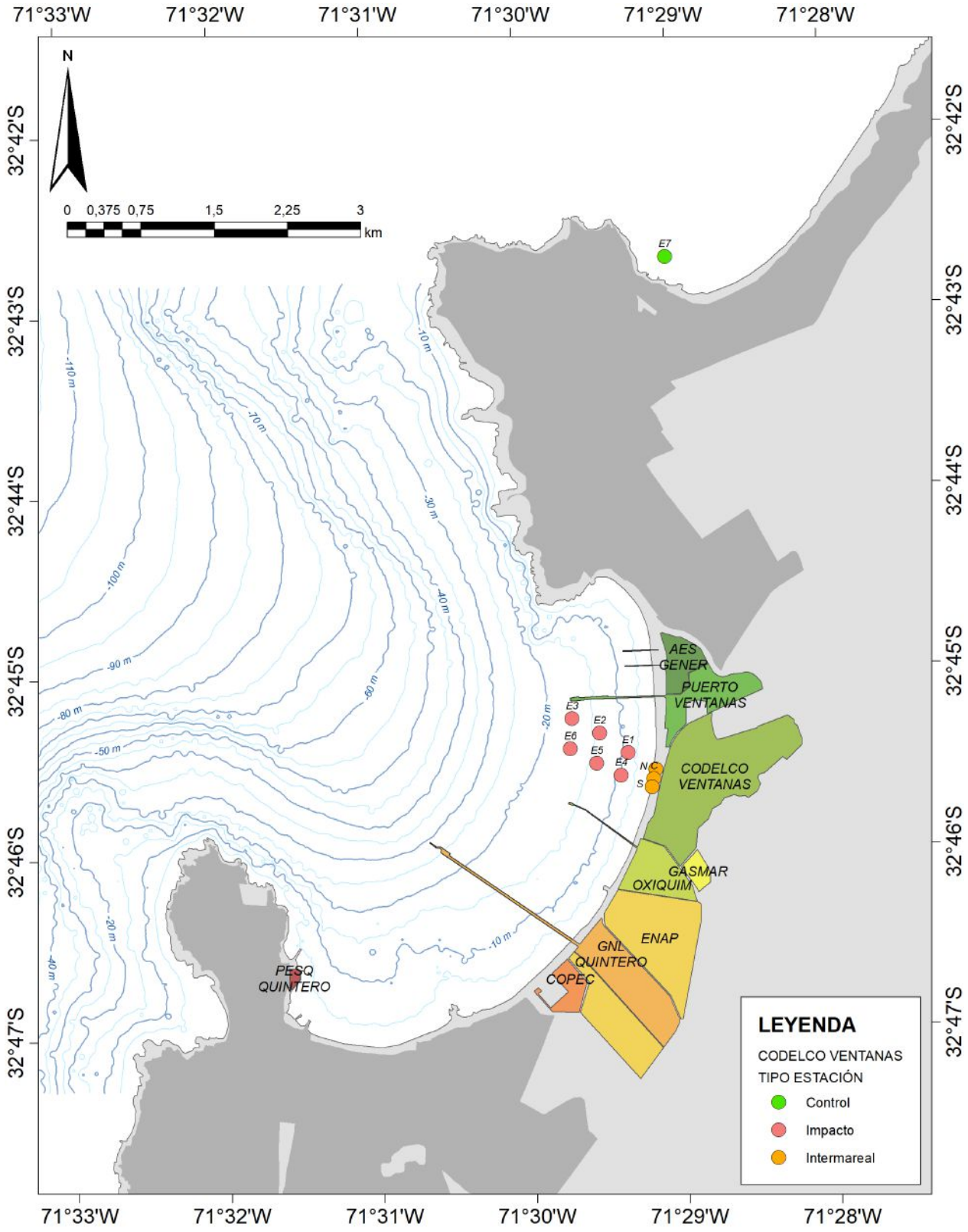


Figura 100. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF CODELCO Chile División Ventanas.

5.2.8.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a calidad de sedimento submareal, calidad de organismos del intermareal, y macrofauna submareal e intermareal (**Tabla 41**).

Tabla 41. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ CODELCO Chile División Ventanas.

ESTACIÓN	TIPO	SEDIMENTOS	ORGANISMOS	MACROFAUNA
E1	Impacto	X		X
E2	Impacto	X		X
E3	Impacto	X		X
E4	Impacto	X		X
E5	Impacto	X		X
E6	Impacto	X		X
E7	Control	X		X
E8	Impacto	X		
N	Intermareal		X	X
C	Intermareal		X	X
S	Intermareal		X	X

5.2.8.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 42** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Para calidad de sedimentos se mide aparte de la granulometría, el parámetro cobre. En calidad de organismos se monitorea únicamente el Cobre en tejidos del crustáceo intermareal *Emerita análoga*. Finalmente, en comunidades del submareal e intermareal se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón.

Tabla 42. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ CODELCO Chile División Ventanas.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Calidad sedimento	Cobre	mg/kg	Cu
Calidad sedimento	Arena Fina	%	AF
Calidad sedimento	Arena Gruesa	%	AG
Calidad sedimento	Arena Media	%	AM
Calidad sedimento	Arena Muy Fina	%	AMF
Calidad sedimento	Arena Muy Gruesa	%	AMG
Calidad sedimento	Fango	%	F
Calidad sedimento	Guijarro	%	GUIJ
Calidad sedimento	Grava	%	GV
Calidad sedimento	Limo y Arcilla	%	LA
Calidad sedimento	Limo grueso	%	LG
Calidad organismos	Cobre	mg/kg	Cu
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B

5.2.8.4 Estadística descriptiva

5.2.8.4.1 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 43**). Para cobre los niveles fueron altamente variables, fluctuando entre 6,08 y 139 mg/kg, con una media de 37,93 mg/kg, y un coeficiente de variación del 64%. Respecto a los parámetros granulométricos, éstos presentan una alta variabilidad, exceptuando arenas finas (AF), arenas muy finas (AMF) y limo grueso (LG), cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100% (**Tabla 43**). La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 43. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Cu	mg/kg	182	6,080	139,00	37,928	24,354	64%	0,861	6,84E-12	0%
AF	%	92	4,000	81,00	40,728	21,278	52%	0,966	1,64E-02	-
AG	%	79	0,000	59,00	9,722	16,346	168%	0,621	5,76E-13	-
AM	%	91	0,000	60,00	15,582	16,470	106%	0,828	6,80E-09	-
AMF	%	92	0,000	82,00	29,011	20,694	71%	0,954	2,59E-03	-
AMG	%	84	0,000	40,00	3,881	7,511	194%	0,581	4,11E-14	-
F	%	42	0,000	5,00	0,452	1,109	245%	0,441	1,88E-11	-
GUIJ	%	11	0,000	6,00	1,455	2,162	149%	0,726	1,03E-03	-
GV	%	63	0,000	9,00	1,032	1,586	154%	0,661	8,78E-11	-
LA	%	42	0,000	12,00	1,190	2,133	179%	0,574	7,83E-10	-
LG	%	8	5,000	25,00	12,500	8,159	65%	0,819	4,59E-02	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.8.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 43**.

En la **Figura 101** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el submareal. Se puede observar que, en la mayoría de las estaciones se registra una mayor dominancia de arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF), exceptuando la estación E6 donde predominan arenas medias (AM). Se destaca que, en la campaña de diciembre de 2015 se registró una importante proporción de limo grueso (LG) sustrato que no fue posteriormente detectado.

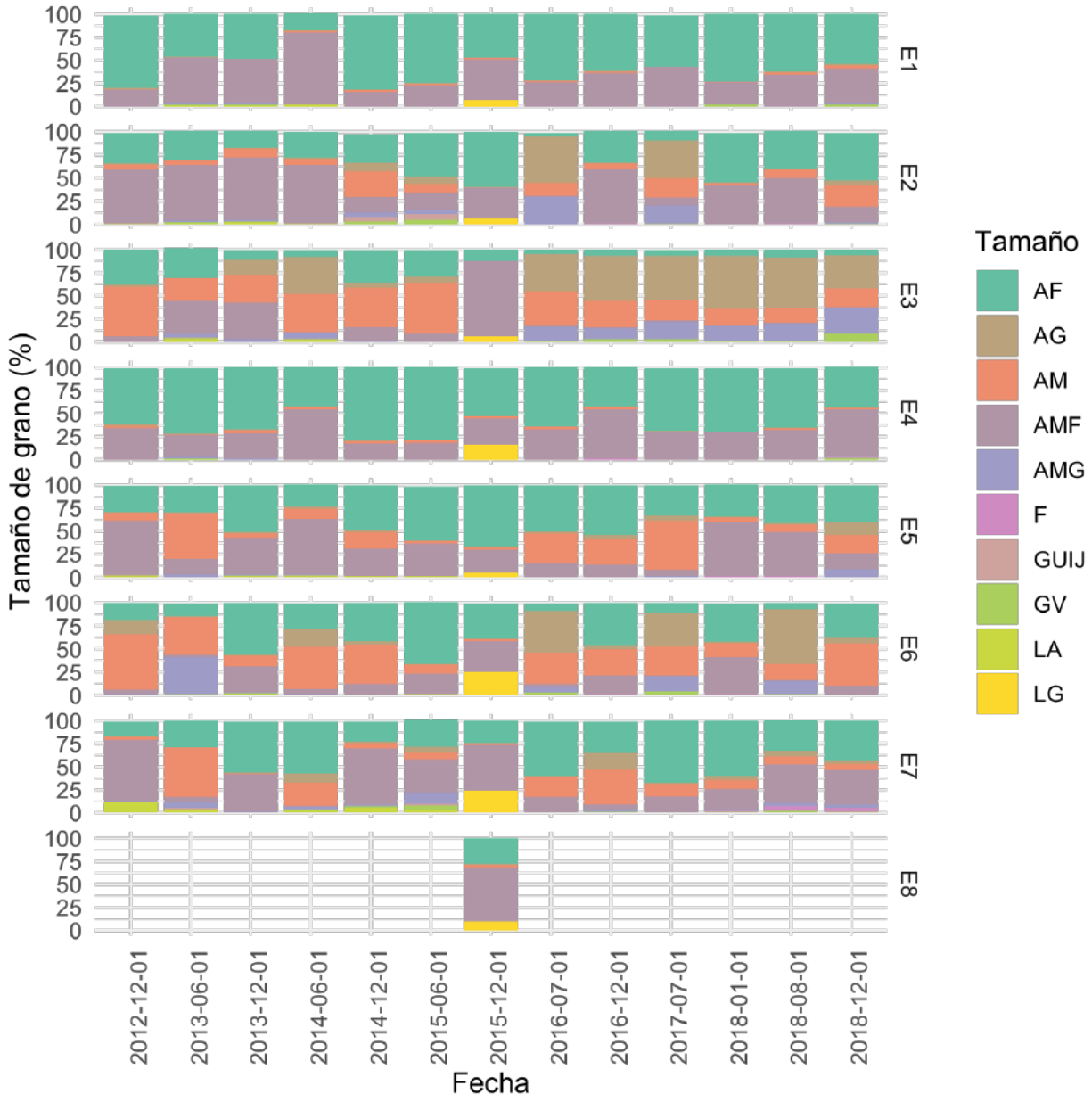


Figura 101. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2012 y 2018.

En la **Figura 102** se entrega la tendencia de cobre (mg/kg) para cada una de las estaciones en los años 2005 y 2018. Se observa que las concentraciones de cobre fueron altamente variables entre estaciones y entre campañas, destacando a las estaciones E3 y E6 como las que presentaron máximos durante los años 2005 y 2011, con valores de 131 y 137 mg/kg respectivamente. Por otro lado, la estación E7 presentó las concentraciones más bajas de cobre, en torno a 11,5 mg/kg entre los años 2012 y 2018.

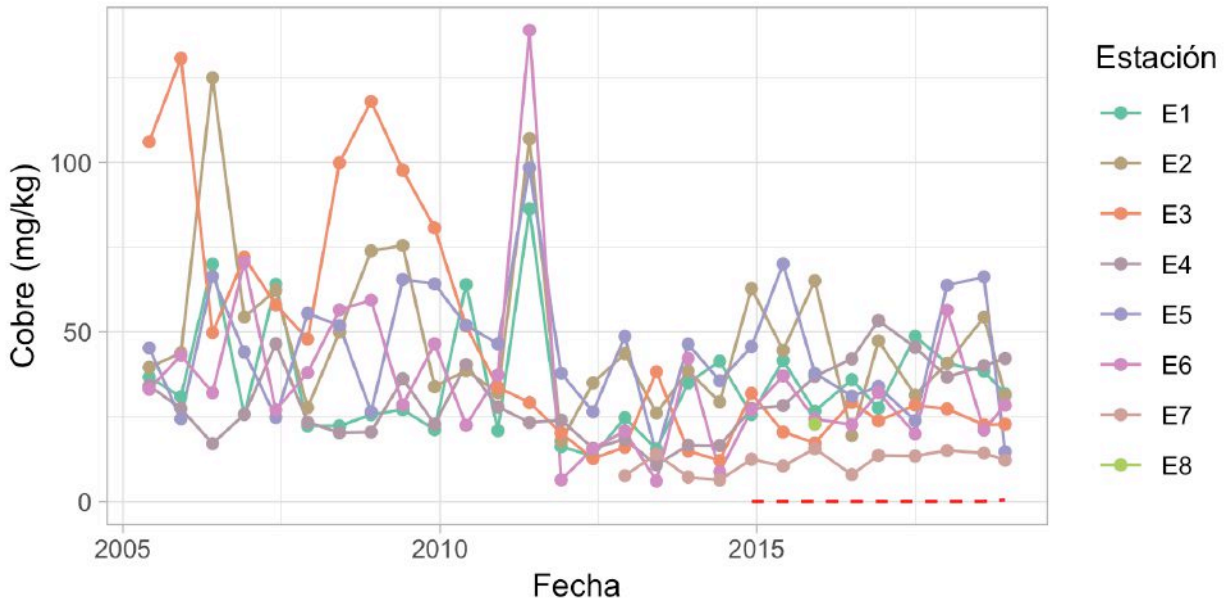


Figura 102. Niveles de cobre (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.8.4.2 Organismos

En esta sección se entregan los resultados de presencia de cobre en la especie *Emerita analoga* (**Tabla 44**). Las concentraciones de cobre fueron variables, fluctuando entre mínimos de 17,7 mg/kg y máximos de 542 mg/kg, con una media de 129,55 mg/kg, y un coeficiente de variación del 85%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que el parámetro analizado se distribuye normalmente.

Tabla 44. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Cu E. analoga	mg/kg	89	17,7	542	129,55	110,31	85%	0,8230	0,0000	0%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.8.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 44**.

En la **Figura 103** se entrega la tendencia de la presencia de cobre (mg/kg) en la especie *E. analoga,* para cada una de las estaciones entre los años 1999 y 2018. El patrón de la concentración de cobre registrado en *E. analoga* presentó una alta variabilidad entre años. Sin

embargo, las tendencias fueron similares entre la mayoría de las estaciones, excepto en la estación Control, donde solo se cuenta con dos registros. En los otros casos las concentraciones de cobre fluctuaron entre mínimos de 18 mg/kg (año 2008) y máximos superiores a 400 mg/kg (año 2005). Cabe destacar, que para las estaciones centro, norte y sur se registraron tres peaks superiores a 300 mg/kg.

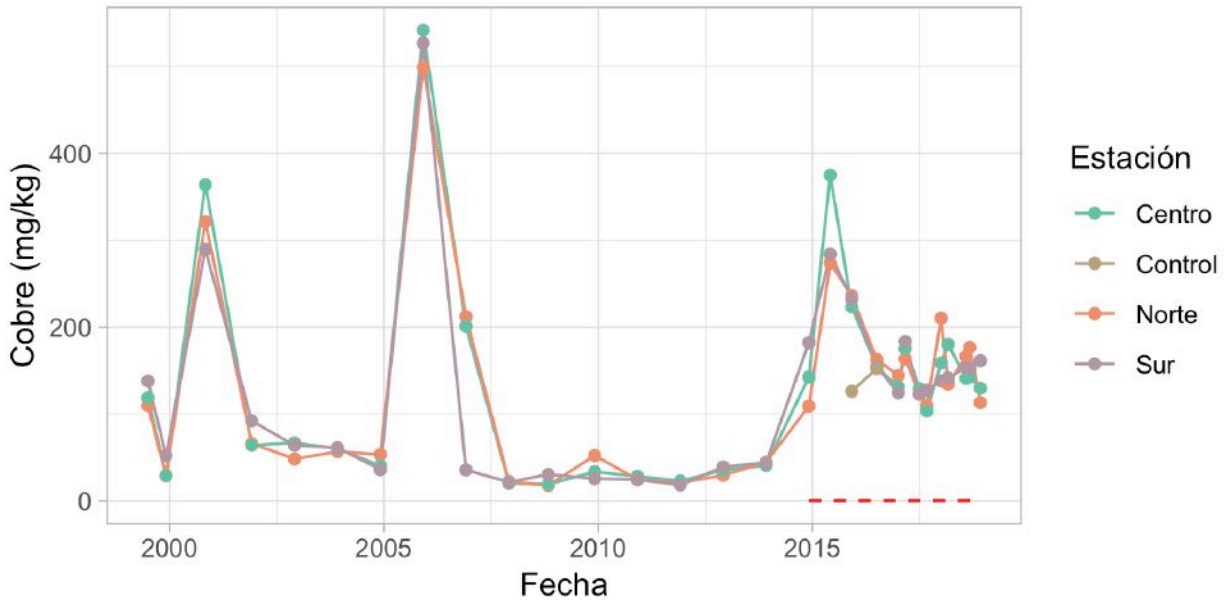


Figura 103. Niveles de cobre (mg/kg) presentes en *Emerita analoga,* por estación, entre los años 2005 y 2018.

5.2.8.4.3 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos intermareal y submareal (**Tabla 45**).

Para bentos submareal la densidad observada osciló entre 40 y 5,480 ind/m^2; con una media de 1.414,5 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,64 y 4.819,6 g/m^2, con una media de 1.415,79 g/m^2. Para bentos intermareal, la abundancia osciló entre 1 y 78 ind/m^2, con una media de 6,23 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0 y 299,2 g/m^2, con una media de 9,94 g/m^2.

Cabe destacar que la totalidad de los parámetros presentaron alta variabilidad. con coeficientes de variación superiores a 100%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente.

Tabla 45. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	56	40	5480	1.414,50	1.450,82	103%	0,8274	0,0000
Intermareal	Biomasa	g/m2	22	0,64	4819,6	1.415,79	1.742,66	123%	0,7812	0,0003
Bentos	Abundancia	ind/m2	178	1	78	6,23	10,90	175%	0,5097	0,0000
submareal	Biomasa	g/m2	178	0	299,2	9,94	34,41	346%	0,3152	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.8.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 45**.

En la **Figura 104** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de macrofauna intermareal entre los años 2012 y 2018, observándose en todas las transectas una amplia dominancia de *Emerita analoga* en las estaciones centro, norte y sur, con máximos registrados en la estación centro, con valores mayores a 7.000 individuos. La segunda especie más dominante fue *Excirolana hirsusticauda*, registrando máximos de 4.000 individuos en la estación centro.

Al igual que lo reportado en Ventanas Unidad 4, la revisión de las bases de datos del bentos submareal arrojó problemas en identificación taxonómica, por lo que no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se

entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

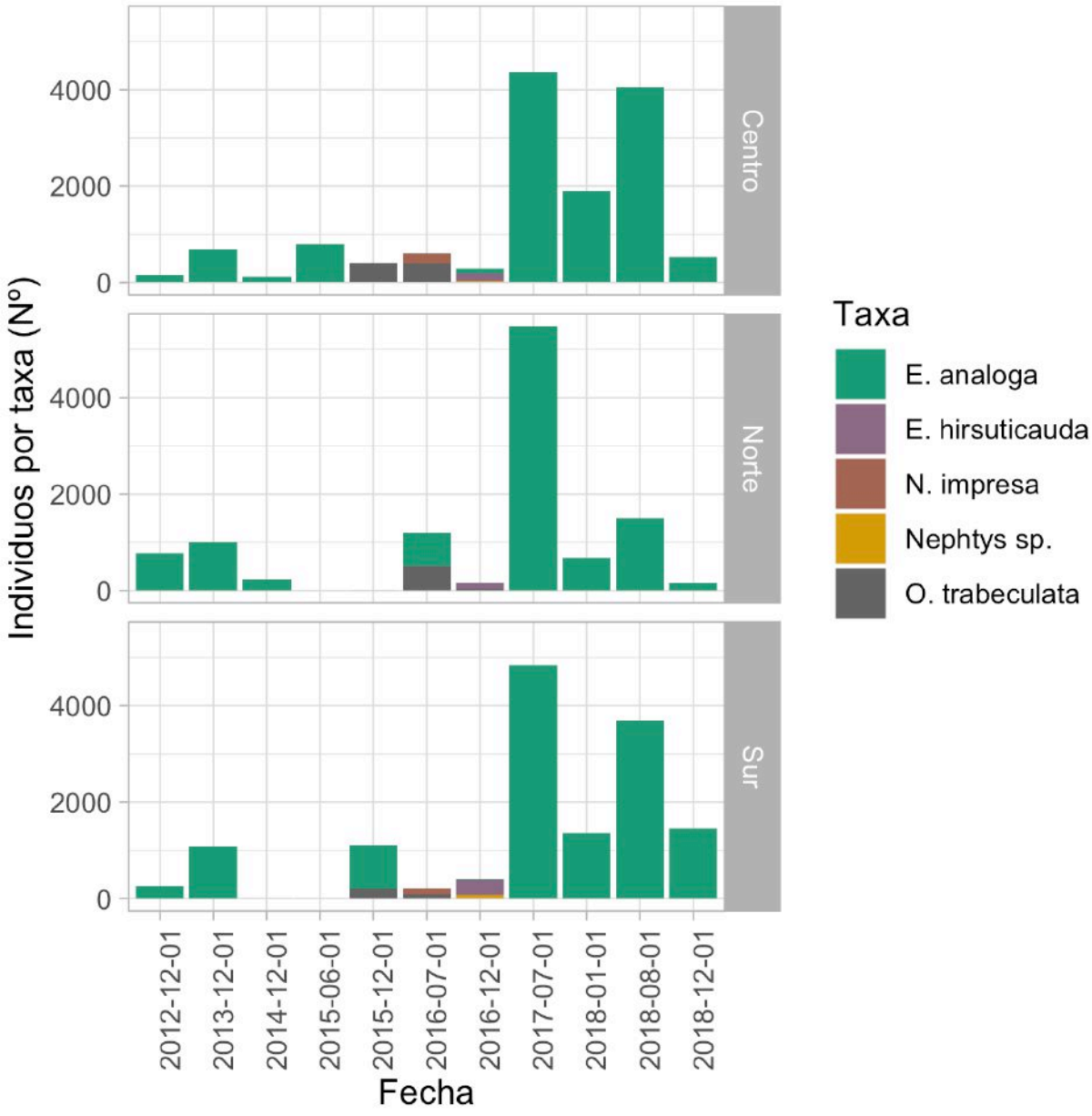


Figura 104. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2012 y 2018.

5.2.8.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.8.5.1 Calidad de sedimentos

En la **Tabla 46** se entrega un análisis GLM, para el parámetro cobre (Cu), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). Se observaron diferencias significativas para los efectos año y estación, exceptuando el efecto trimestre. La estación corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=23,12%

Tabla 46. Resultados de MLG para el parámetro cobre (Cu), en sedimentos submareales, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			181		2459,68		
Cu	Estación	7	174	568,56	1891,12	0,0000	**23,12**
	Año	13	161	401,12	1490,00	0,0001	16,31
	Trimestre	3	158	42,67	1447,33	0,2168	1,73

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de sedimentos submareales (**Figura 105**), indica que los niveles de cobre presentaron una alta variabilidad entre estaciones, con mínimos para la estación E6 y máximos para la estación E2.

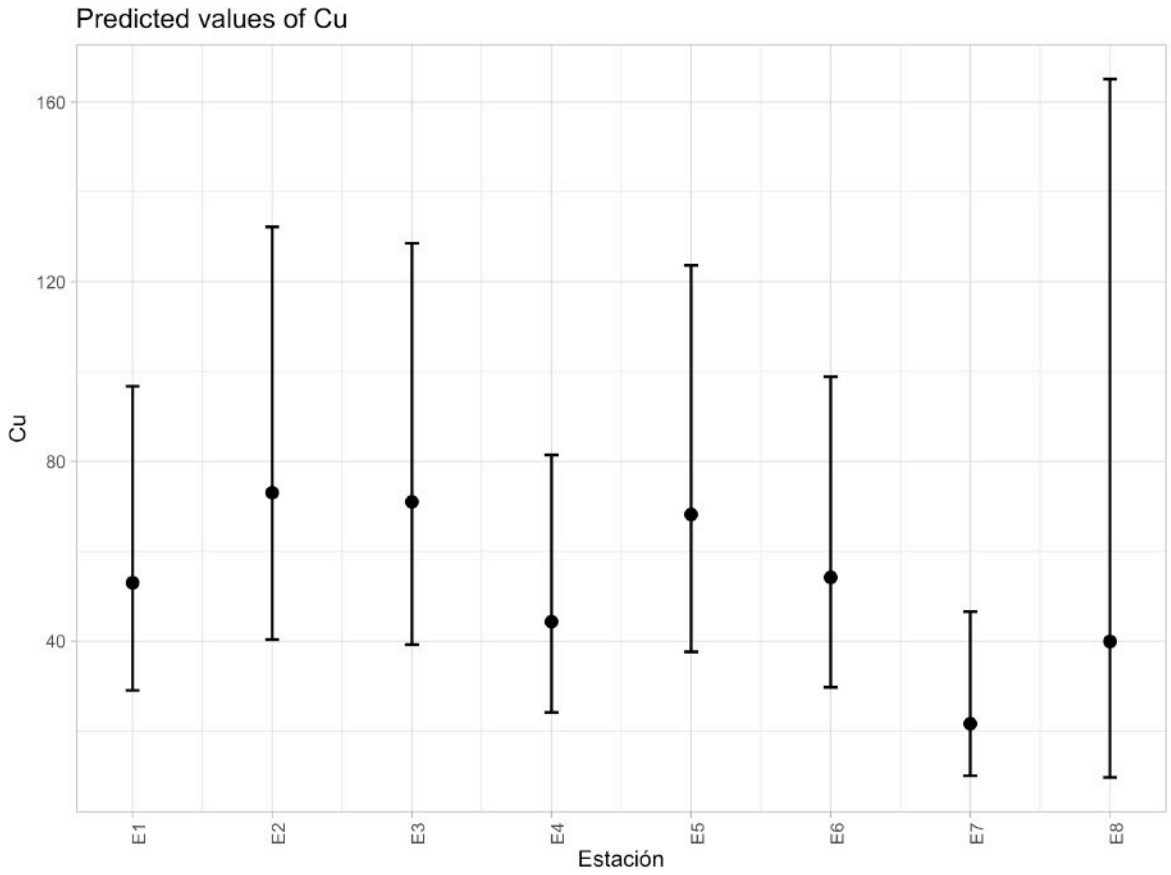


Figura 105. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de sedimentos.

5.2.8.5.2 Organismos

En la **Tabla 47** se entrega un análisis GLM, para el parámetro cobre (Cu) en *E. analoga*, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). Se observaron diferencias significativas para los efectos Año y Trimestre. El Año corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=92,01%

Tabla 47. Resultados de MLG para el parámetro cobre (Cu) en *E. analoga*, entre 1999 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			88		7.151,90		
Cu *E. analoga*	Estación	3	85	7,83	7.144,07	0,7454	0,11
	Año	19	66	6.580,67	563,40	0,0000	**92,01**
	Trimestre	3	63	129,79	433,61	0,0001	1,81

Un análisis de la principal fuente de variación en el parámetro para organismos (**Figura 106**), indica que la presencia de cobre en *E. analoga* presentó una tendencia variable a través de los años, donde los años 2000 y 2005 presentan los mayores niveles de cobre de la serie analizada. Secundariamente, los años 2006, 2014 y 2015, presentaron también mayores niveles de cobre respecto al resto de los años, pero con menor variabilidad. En síntesis, los años 2000, 2005, 2014 y 2015 presentaron niveles de cobre mayores que el resto de los años. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 6.a.**

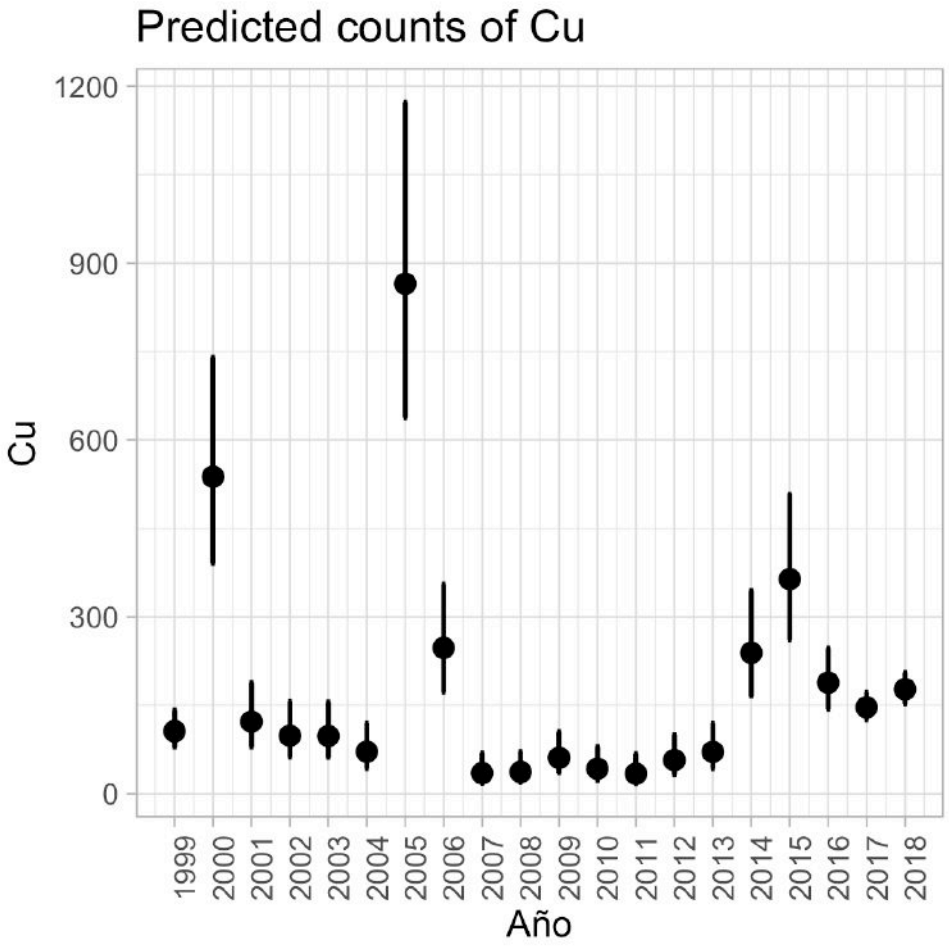


Figura 106. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Organismos.

5.2.8.5.3 Comunidades

En la **Figura 107** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna intermareal y submareal. La riqueza observada para el intermareal (**Figura 107** superior), presentó patrones similares en todas las estaciones, con mayores riquezas entre los años 2016 y 2017. El resultado del índice de diversidad de Shannon (H') (**Figura 107** inferior), muestra diversidades bajas en todas las estaciones de muestreo, con tendencias similares, fluctuando entre 0 y 1.

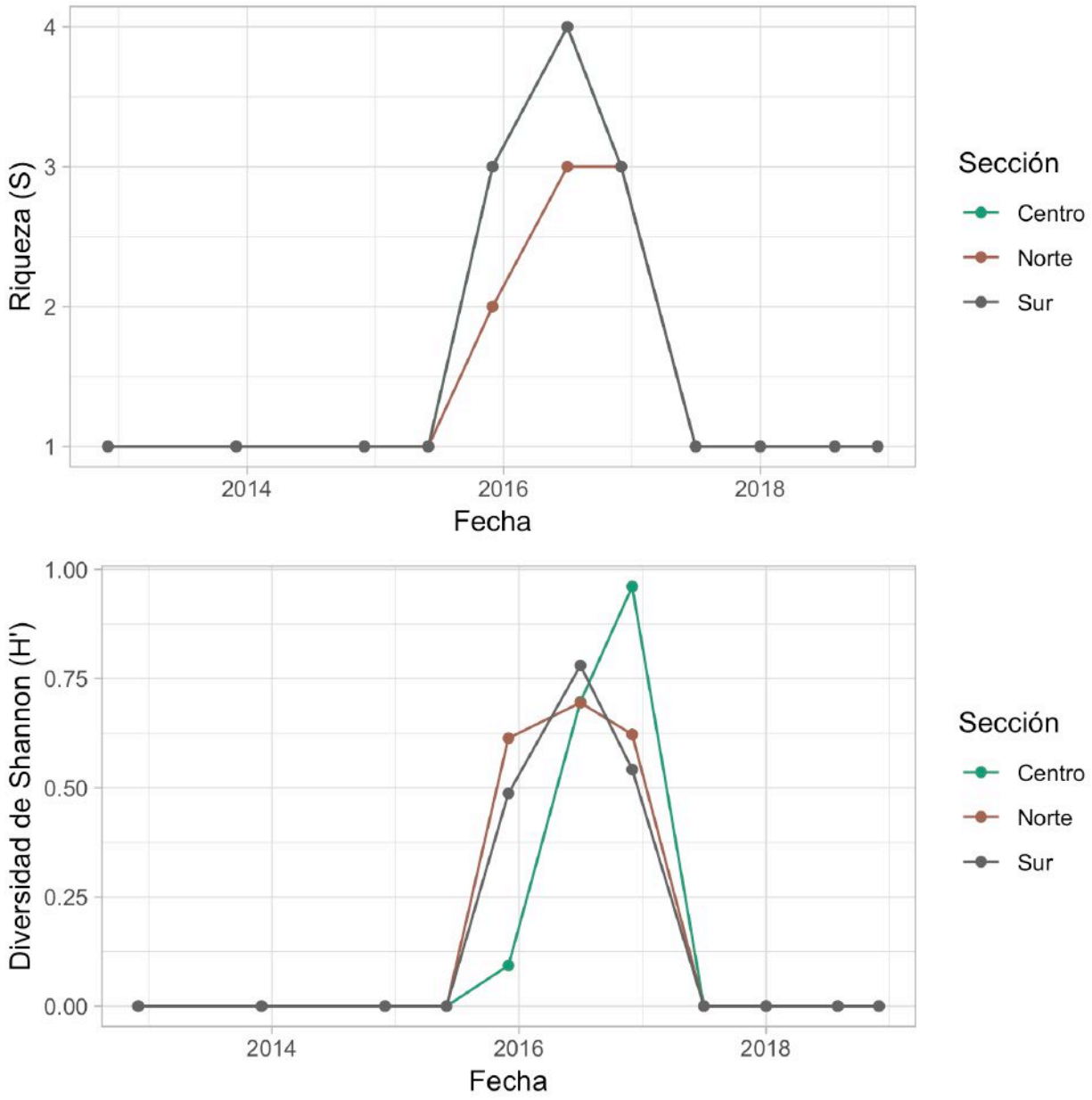


Figura 107. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad (H`), por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

En la **Figura 108** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada para el submareal (**Figura 108**, panel superior), presentó una alta variabilidad entre estaciones y entre años, con mínimos que fluctúan entre 3 y 5 especies y máximos que fluctúan entre11 y 15 especies, destacando que la estación E3 fue la que presentó las mayores riquezas (S=15). El resultado del índice de diversidad de Shannon (H')

(**Figura 108**, panel inferior), también presentó una alta variabilidad entre estaciones y años, fluctuando entre mínimos de 0,5 para la estación E2 y máximos de 2,3 para la estación E3.

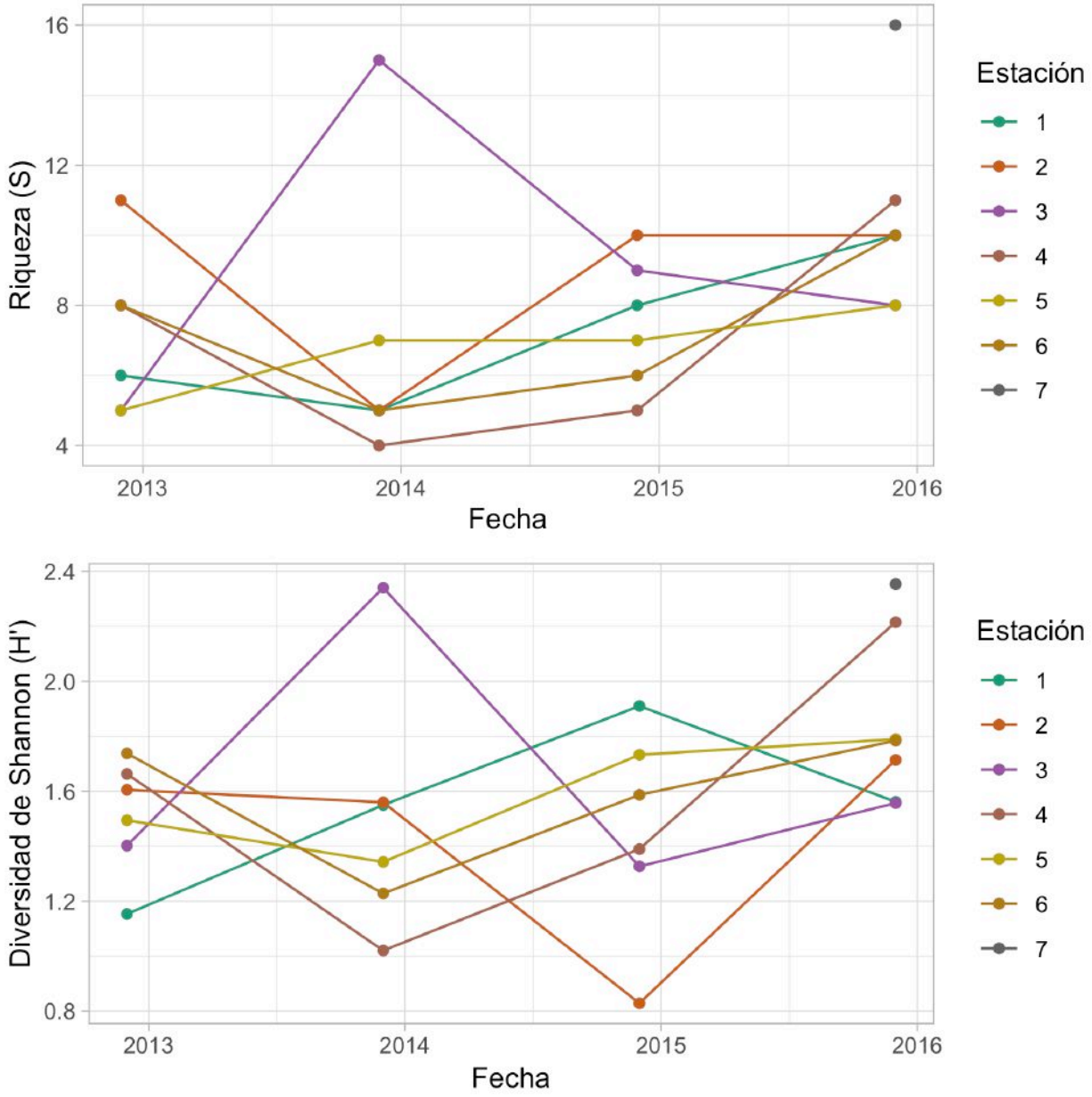


Figura 108. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

El análisis NMDS efectuado para macrofauna intermareal (**Figura 109**), muestra la existencia de diferencias significativas entre años (PERMANOVA R^2=0,54, P<0,001), dominando la presencia de la especie *E.* analoga en los años 2012, 2013, 2017 y 2018; mientras que los años 2015 y 2016, se segregan debido a la presencia de la especie *N. impresa* (**Figura 109**).

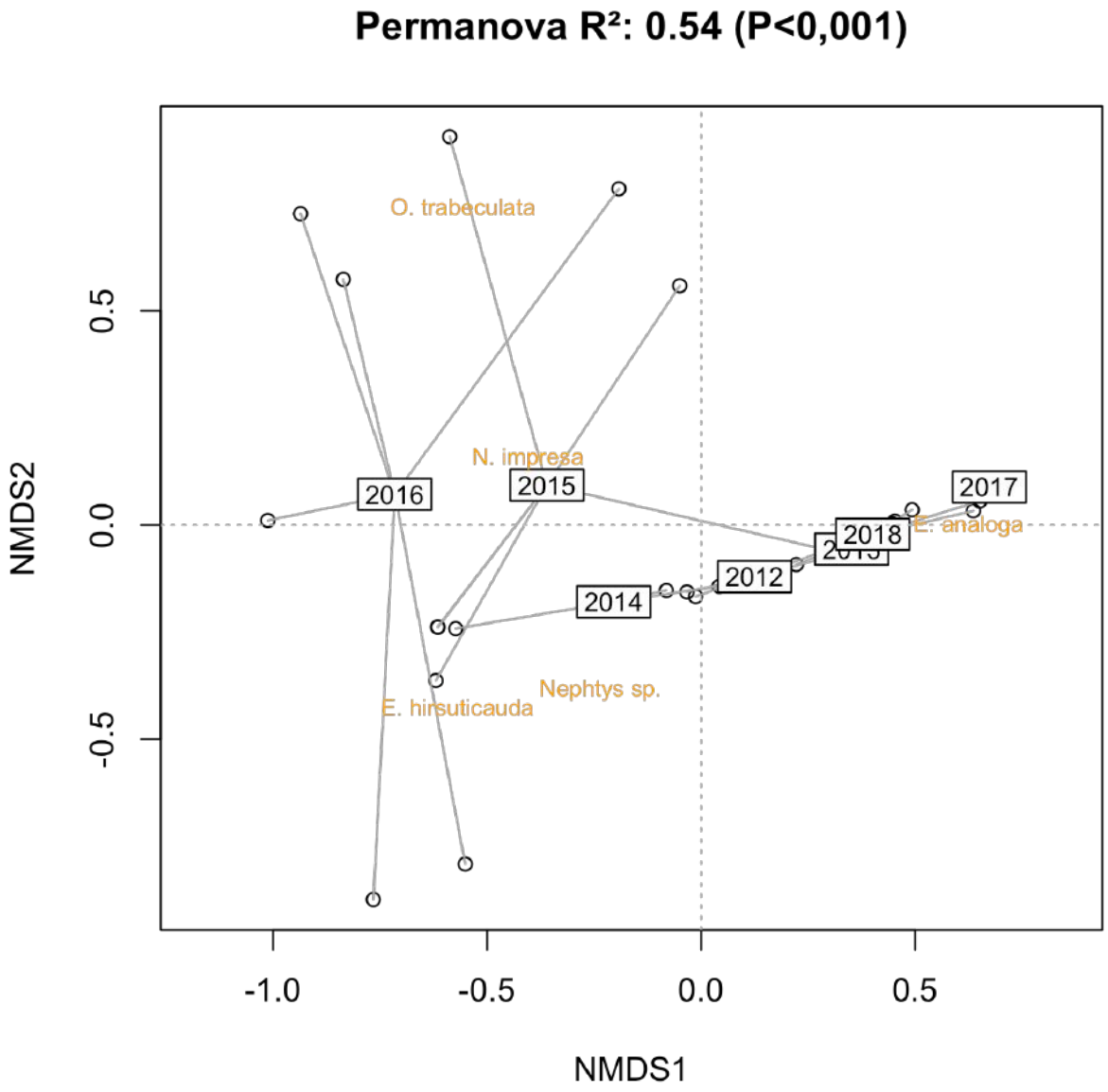


Figura 109. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para los años 2012 a 2018, por taxa identificado en el intermareal.

5.2.8.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Este programa no incorpora hidrografía ni calidad de agua, por lo tanto no es posible evaluar diferencias entre estratos de profundidad.

Diferencias entre años

El cobre monitoreado en los organismos intermareales (único parámetro medido en esta matriz) presentó diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el principal efecto que explica la variabilidad observada en los datos, siendo los años 2000 y 2005 particularmente altos respecto al resto de la serie analizada (1999 a 2018). No se aprecian tendencias ascendentes o descendentes en la serie de datos, cuyos niveles se han mantenido en torno a 150 mg/kg en las ultimas campañas.

Estacionalidad

Solamente el cobre medido en organismos presentó diferencias significativas entre épocas del año, sin embargo, éstas no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

El cobre medio en sedimentos submareales presentó diferencias significativas entre estaciones, donde la estaciones E7 presentó en general concentraciones de cobre más bajas que el resto de las estaciones, lo cual puede estar asociado a la lejanía que tiene esta estación (control), ubicada al norte y fuera de bahía Quintero (**Figura 100**).

5.2.9 Planta GASMAR S.A. Quintero

5.2.9.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 110** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo de Planta GASMAR S.A. Quintero. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar que las estaciones de monitoreo submareal, se encuentran cerca de la costa (en profundidades menores a 20 m) y próximos a su emisario submarino. Este programa comprende, además, 1 estación control frente al emisario submarino de Puerto Ventanas cerca de la costa. La información recopilada para GASMAR, comprende además 4 puntos (2 aducción y 2 retorno) donde se efectúan bioensayos.

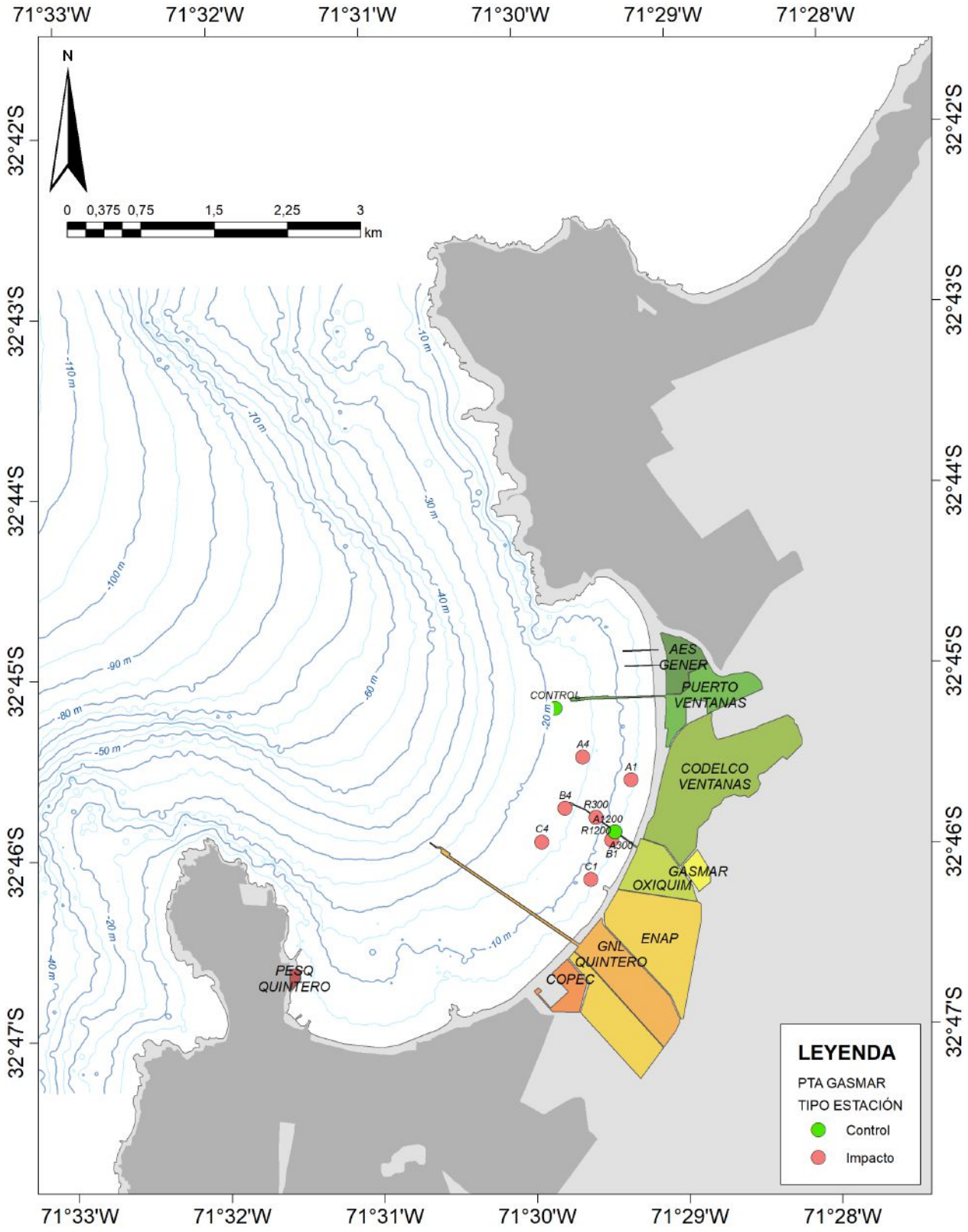


Figura 110. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta GASMAR S.A. Quintero.

5.2.9.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a agua submareal, sedimento submareal, y macrofauna submareal (**Tabla 48**). Cabe destacar que este programa partió recientemente en el mes de febrero del año 2019 y, por lo tanto, esta disponible a la fecha, sólo una campaña.

Tabla 48. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Planta GASMAR S.A. Quintero.

ESTACIÓN	TIPO	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA	BIOENSAYOS
A1	Impacto	X	X	X	
A4	Impacto	X	X	X	
B1	Impacto	X	X	X	
B4	Impacto	X	X	X	
C1	Impacto	X	X	X	
C4	Impacto	X	X	X	
CONTROL	Control	X	X	X	
Aducción 300	Control				X
Aducción 1200	Control				X
Retorno 300	Impacto				X
Retorno 1200	Impacto				X

5.2.9.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 49** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Para hidrografía se monitorea Temperatura, pH y Oxígeno disuelto. Para calidad de agua se monitorea Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos e Hidrocarburos aromáticos totales. En el sedimento submareal se miden sólo parámetros asociados a la granulometría de los sedimentos. En las comunidades del submareal se contabiliza la abundancia y biomasa. Finalmente, se efectúan bioensayos en el pez *Girella laevifrons* y en el crustáceo *Rhynchocinetes typus,* datos que no fueron incorporados en los análisis estadísticos asociados al presente informe.

Tabla 49. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Planta GASMAR S.A. Quintero.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temp	ºC	Temp
Hidrografía	pH	Unidad	pH
Hidrografía	Oxigeno disuelto	mg/L	Odis
Calidad agua	Solidos disueltos	mg/L	Soldis
Calidad agua	Solidos suspendidos	mg/L	SolSus
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos totales	ug/L	HAT
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Limo arcilla	%	LA
Calidad sedimentos	Promedio gráfico	mm	Promedio
Calidad sedimentos	Tipología del promedio gráfico	Descriptivo	PromTip
Calidad sedimentos	Grado de clasificación	phi	Clasificación
Calidad sedimentos	Tipología del grado de clasificación	Descriptivo	ClasTip
Calidad sedimentos	Grado de simetría	phi	Simetría
Calidad sedimentos	Tipología del grado de simetría	Descriptivo	SimTip
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B
Bioensayo	Temperatura	ºC	Temp
Bioensayo	Oxigeno disuelto	Unidad	Odis
Bioensayo	pH	mg/L	pH
Bioensayo	Cloro libre residual	mg/L	CLB

5.2.9.4 Estadística descriptiva

5.2.9.4.1 Hidrografía

Se analizaron los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto. La temperatura osciló entre 14,11ºC y 18,39ºC, con una media de 17,08ºC, y un coeficiente de variación del 8%. Los niveles de pH oscilaron entre 7,88 y 8,25, con una media de 8,12, y un coeficiente de variación del 1%. Finalmente, el oxígeno disuelto osciló entre 6,41 mg/L y 9,36 mg/L, con una media de 8,26 mg/L, y un coeficiente de variación del 11%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 50**).

Tabla 50. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	28	14,11	18,39	17,08	1,40	8%	0,7308	0,0000
pH	Unidad	28	7,88	8,25	8,12	0,12	1%	0,7924	0,0001
Odis	mg/L	14	6,41	9,36	8,26	0,94	11%	0,8272	0,0110

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.9.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 50**.

En las **Figuras 111 a 113** se entregan el análisis de los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto. Para temperatura, se observa en superficie valores en torno a 17ºC para todas las estaciones, sin registrar diferencias entre réplicas. Para el fondo, las temperaturas estuvieron en torno a 15ºC, excepto la estación B4, C4 y Control que, presentaron temperaturas menores a 15ºC, donde tampoco se observan diferencias entre réplicas. En todas las estaciones, tanto en el estrato superficial como de fondo, la temperatura estuvo sobre el límite de detección (LD=0,01 ºC). Para el pH, se observa un patrón similar en superficie y fondo sin observarse diferencias entre réplicas. Para todos los casos, los niveles de pH estuvieron sobre el límite de detección (LD=0,01), en torno a 8. Para oxígeno disuelto, los niveles fueron mayores en superficie, con concentraciones mayores a 7,5 mg/L en todos los casos, siendo levemente mayores en la estación C4, mientras que en el estrato de fondo, se observa mayor variabilidad entre estaciones, siendo la estación B4, C4 y Control las que presentaron los niveles más bajos de oxígeno disuelto. En todas las estaciones, tanto en el estrato superficial como de fondo, los niveles de oxígeno disuelto estuvieron sobre el límite de detección (LD=0,01 mg/L).

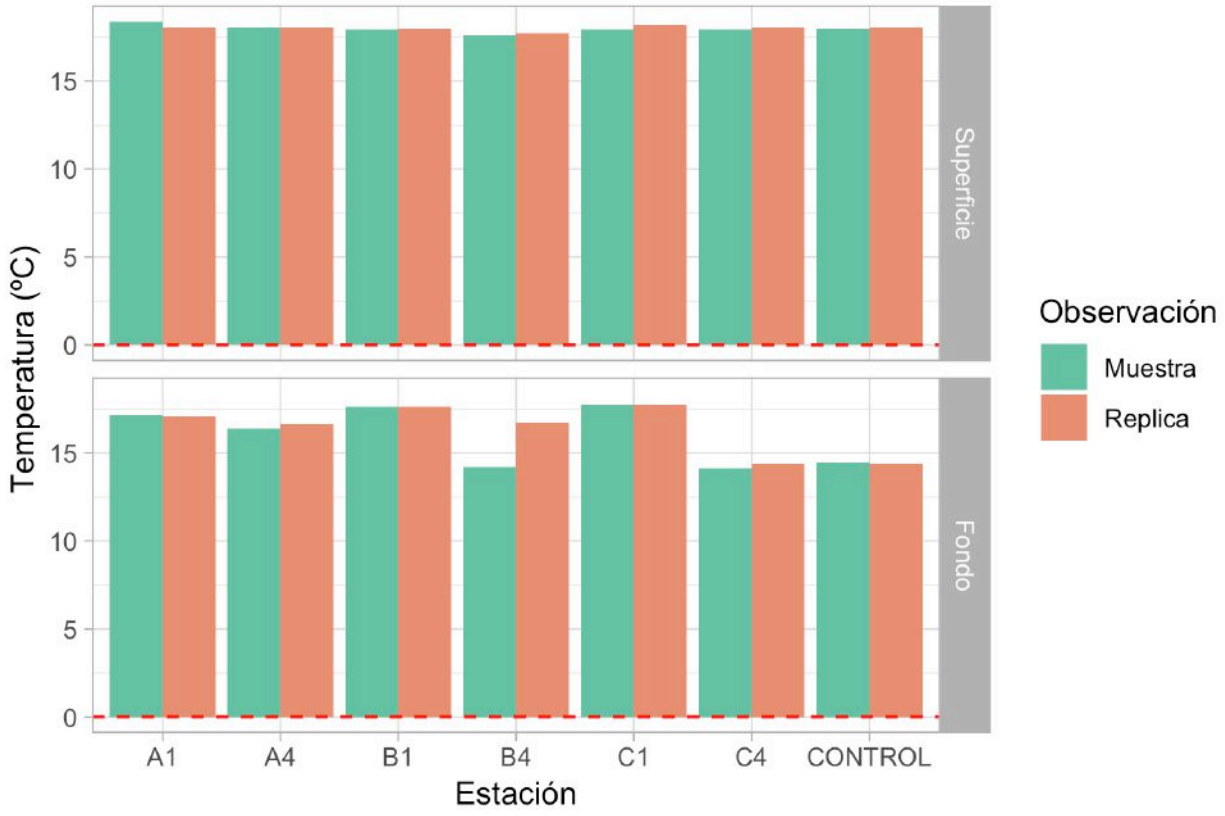


Figura 111. Niveles de temperatura para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

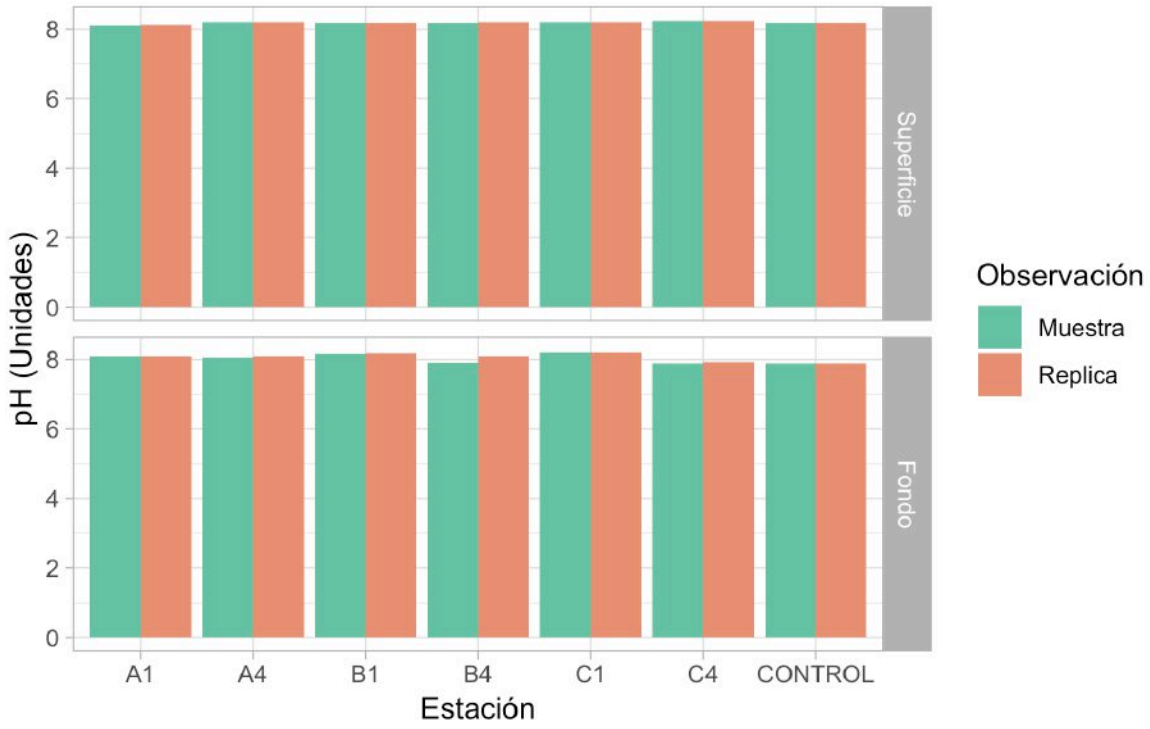


Figura 112. Niveles de pH para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019.

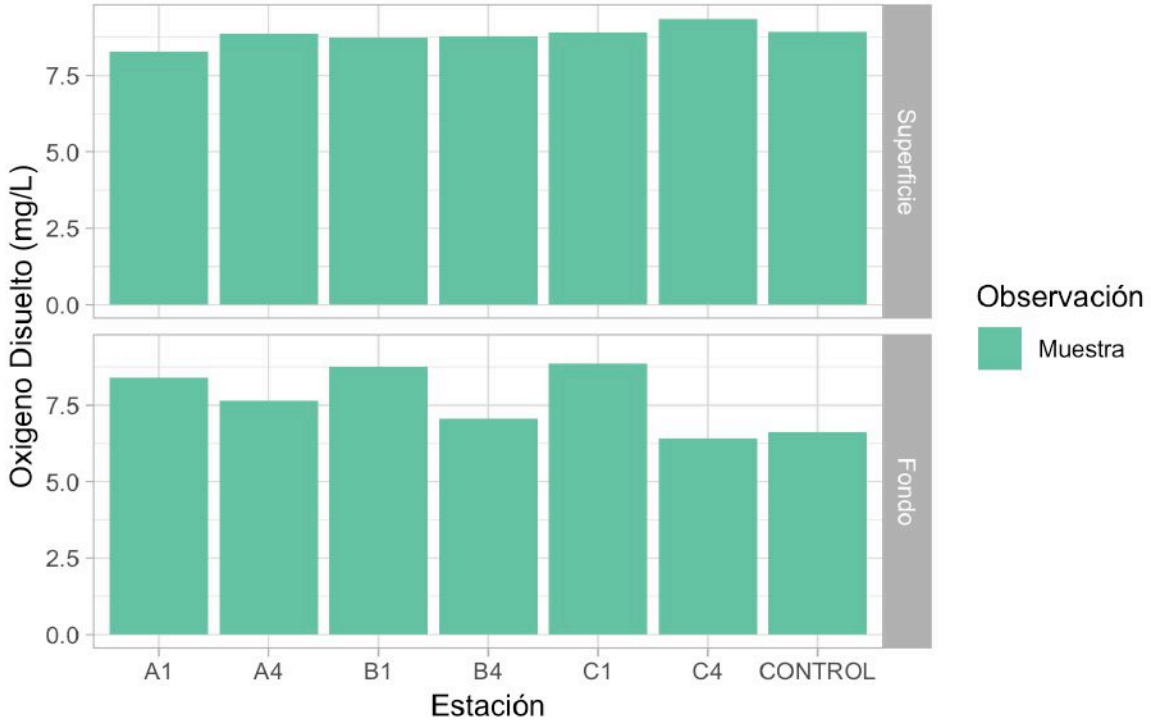


Figura 113. Oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019.

5.2.9.4.2 Calidad de agua

Se analizaron los parámetros sólidos disueltos, sólidos suspendidos e hidrocarburos aromáticos totales. Los sólidos disueltos fluctuaron entre 36,6 mg/L y 38,0 mg/L, con una media de 37,1 mg/L y un coeficiente de variación del 1%. Los parámetros sólidos suspendidos e hidrocarburos aromáticos totales estuvieron siempre bajo los límites de detección. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 51**).

Tabla 51. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Soldis	mg/L	14	36,62	38	37,05	0,33	1%	0,8372	0,0150	0%
SolSus	mg/L	14	2	2	-	-	-	-	-	100%
HAT	ug/L	14	2,7	2,7	-	-	-	-	-	100%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.9.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 51**.

En las **Figuras 114 a 116** se entregan el análisis de los parámetros sólidos disueltos, sólidos suspendidos e hidrocarburos aromáticos totales. Para sólidos disueltos, las concentraciones mostraron valores similares, tanto en superficie como en fondo, con niveles sobre el límite de detección (LD=10 mg/L), y una escasa variabilidad entre estaciones, tendiendo la estación control a niveles levemente mayores que el resto de las estaciones. Finalmente, y como se indicó en la **Tabla 49**, los parámetros sólidos suspendidos e hidrocarburos totales estuvieron en todos los casos bajo los límites de detección (LD=2,7 mg/L y LD=2 ug/L, respectivamente).

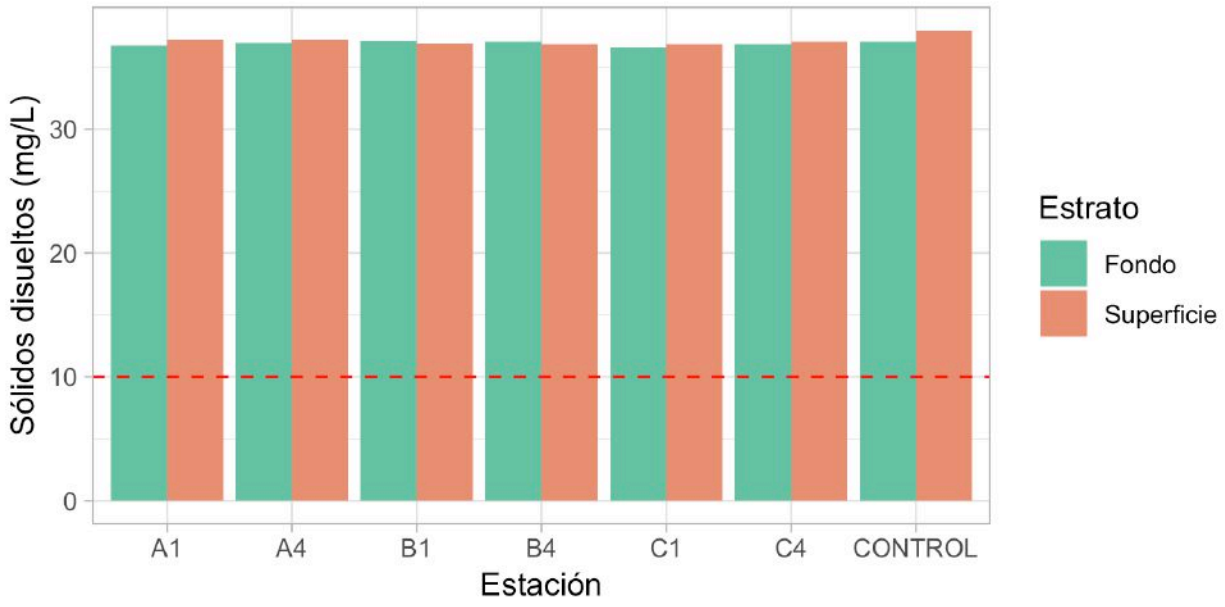


Figura 114. Sólidos disueltos para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

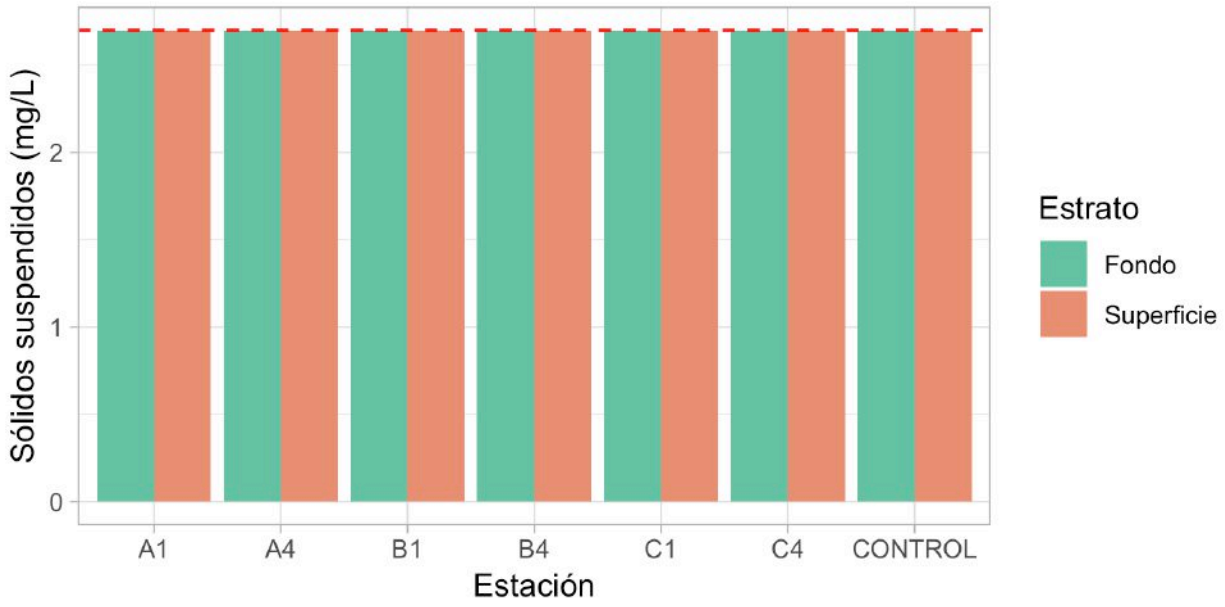


Figura 115. Sólidos suspendidos para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

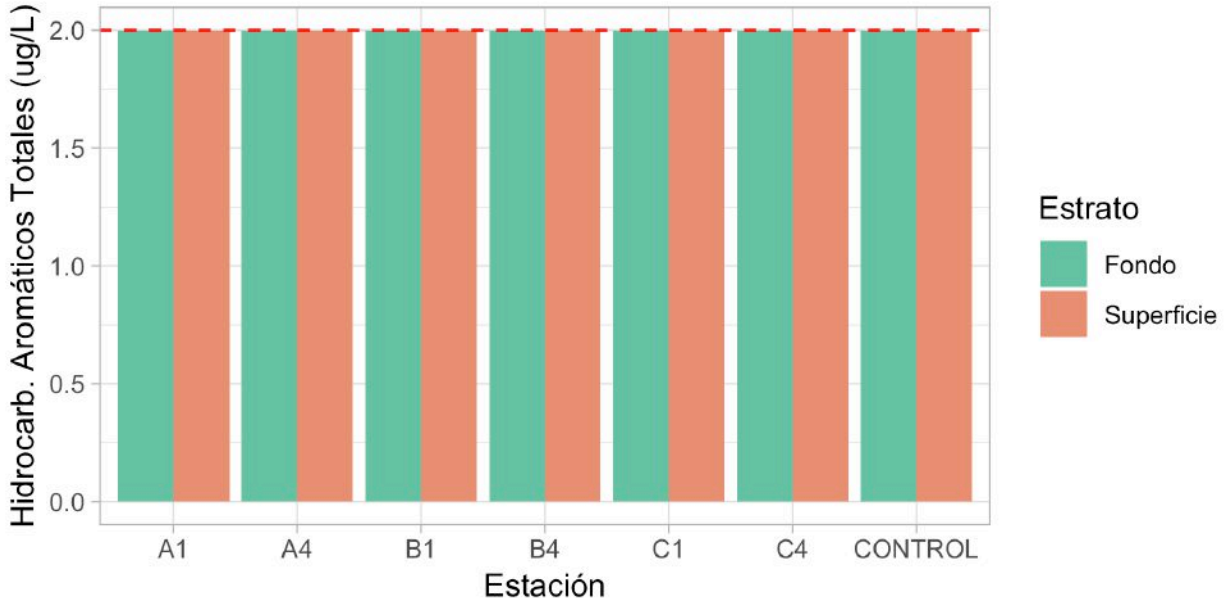


Figura 116. Hidrocarburos aromáticos totales para las estaciones submareales de UF Planta GASMAR S.A. Quintero, año 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.9.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales. En términos generales, los parámetros medidos presentan una alta variabilidad, exceptuando arenas medias (AM), arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF), cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100% (**Tabla 52**).

Tabla 52. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizado.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
CMF	%	7	0,07	5,06	0,87	1,85	213%	0,5013	0,0000	-
AMG	%	7	0,54	22,91	3,86	8,40	217%	0,4664	0,0000	-
AG	%	7	0,93	36,44	7,21	12,91	179%	0,5133	0,0000	-
AM	%	7	2,53	26,9	12,30	10,29	84%	0,8353	0,0897	-
AF	%	7	7,97	70,28	55,43	21,73	39%	0,6937	0,0032	-
AMF	%	7	0,71	31,6	19,20	9,56	50%	0,8882	0,2654	-
LA	%	7	0,02	6,97	1,13	2,58	229%	0,4874	0,0000	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.9.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 52**.

En las **Figura 117** se entrega la composición de los sedimentos submareales, para la única campaña efectuada a la fecha (febrero de 2019). Se observa una predominancia de arenas finas (AF) en la mayoría de las estaciones, excepto la estación Control que presenta una composición dominada por arenas medias gruesas (AMG), arenas gruesas (AG) y arenas medias (AM).

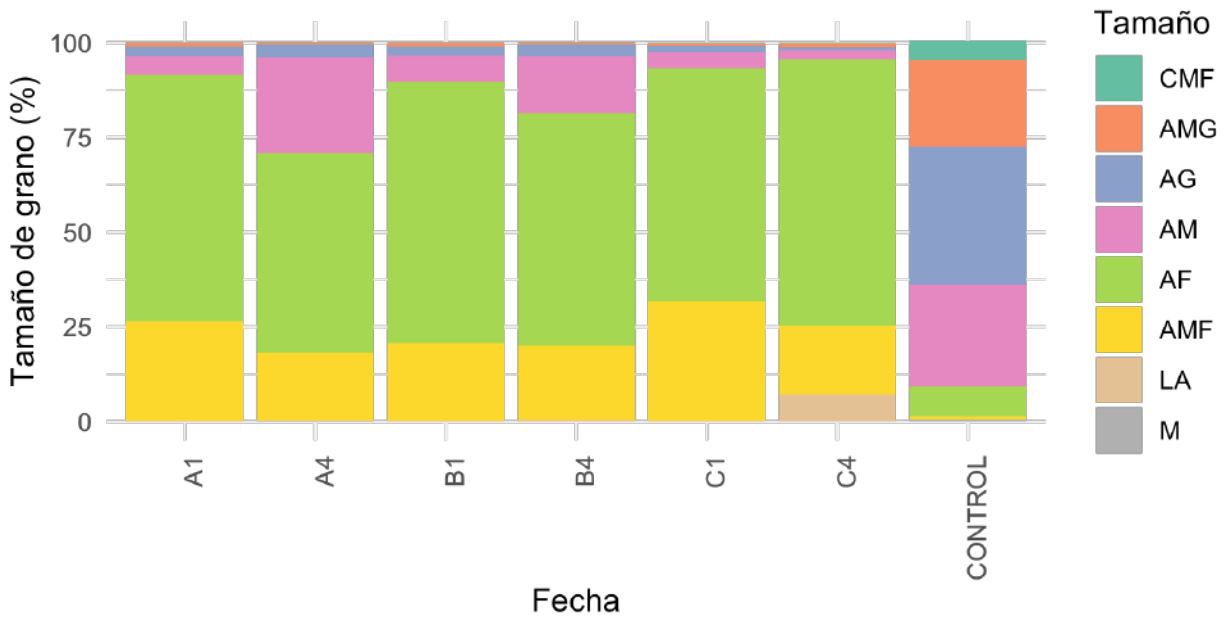


Figura 117. Fracción granulométrica por estación submareal campaña febrero de 2019.

5.2.9.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal, donde la abundancia observada osciló entre 1 y 193 ind/m^2; con una media de 7,7 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,01 y 13,28 g/m^2, con una media de 0,119 g/m^2. Cabe destacar que, ambos parámetros presentaron una escasa variabilidad, con coeficientes de variación de 2,6% y 7,5%. Finalmente, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 53**).

Tabla 53. Estadística descriptiva de los parámetros de macrofauna submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
N	ind/m2	305	1	193	7,725	20,179	2,612	0,353	1,89E-31
B	g/m2	305	0,01	13,28	0,119	0,889	7,473	0,094	1,33E-35

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.9.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 53**.

Para el caso de bentos submareal, la revisión de las bases de datos arrojó la presencia de problemas graves en términos de identificación taxonómica, al igual que lo observado en la Unidad 4 de Termoeléctrica Ventanas. Por este motivo, en el análisis que se presenta en este informe no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica para bentos submareal, y en la sección de análisis espaciales y temporales se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.9.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.9.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 54** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación) y estrato de muestreo (Estrato). Se observaron diferencias significativas para la mayoría de las fuentes de variación consideradas, exceptuando el efecto estación para pH y oxígeno disuelto. Para todos los casos, el estrato corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=43,17%, 37,47% y 38,71%, respectivamente.

Tabla 54. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto para la campaña de febrero de 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
Temp			27		3,22		
	Estación	6	21	0,82	2,40	0,0120	25,51
	Estrato	1	20	1,39	1,01	0,0000	**43,17**
pH			27		0,05		
	Estación	6	21	0,01	0,03	0,0626	23,4
	Estrato	1	20	0,02	0,02	0,0000	**37,47**
Odis			13		1,45		
	Estación	6	7	0,27	1,17	0,8473	18,91
	Estrato	1	6	0,56	0,61	0,0191	**38,71**

Un análisis de la principal fuente de variación (**Figura 118**) indica que, para todos los parámetros, los mayores niveles se registran en el estrato superficial, mientras que los menores niveles se registran en el estrato de fondo. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 7.a**.

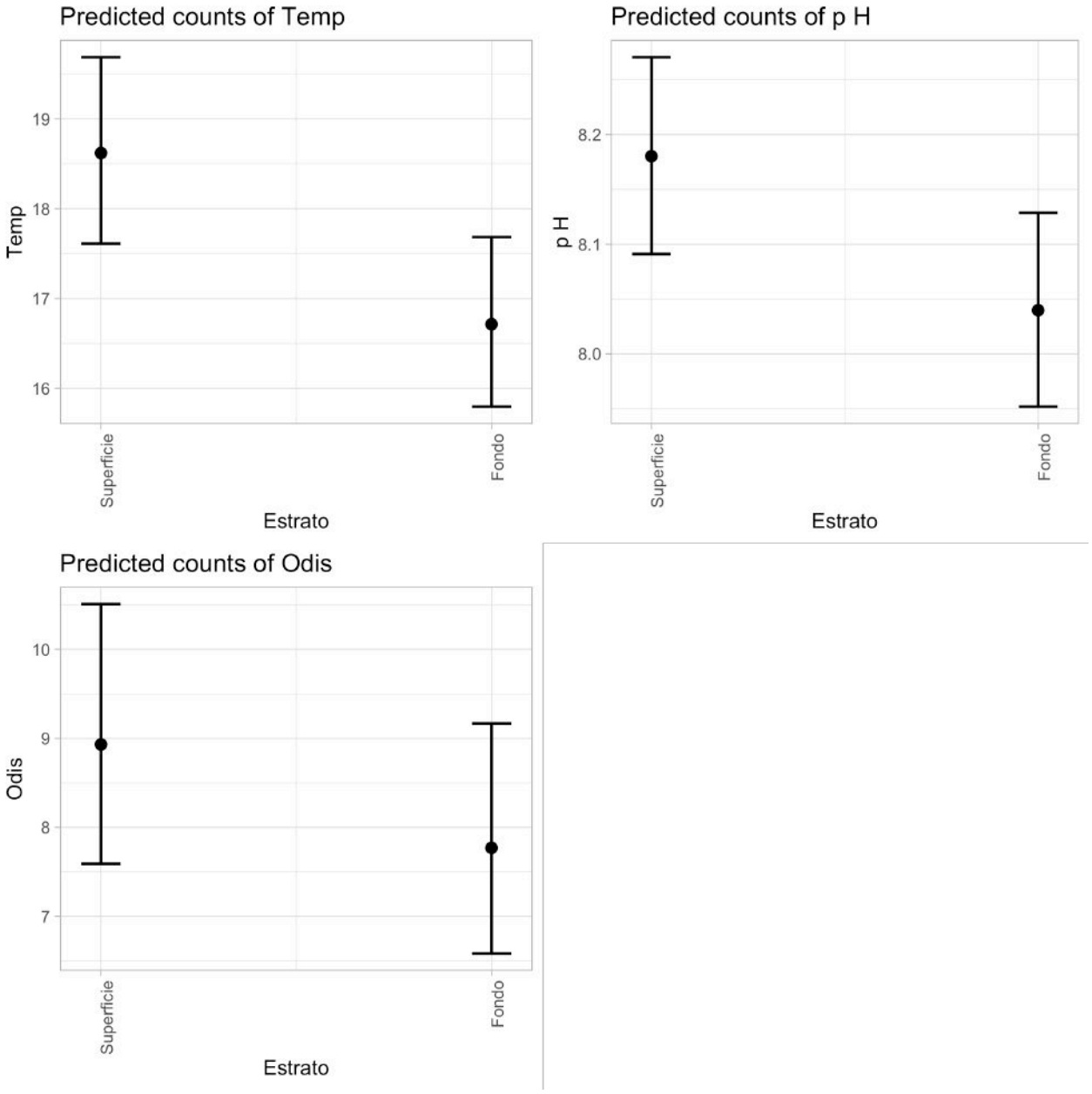


Figura 118. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Hidrografía.

5.2.9.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 55** se entrega un análisis GLM, para el parámetro sólidos disueltos, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación) y estrato de muestreo (Estrato). En ninguno de los casos, se observaron diferencias significativas para las fuentes de variación consideradas, y la estación corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=52,95%.

Tabla 55. Resultados de MLG para el parámetro sólidos disueltos para la campaña de febrero de 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
Soldis			13		3,22		
	Estación	6	7	0,02	0,02	0,1201	**52,95**
	Estrato	1	6	0,01	0,01	0,0841	15,63

Un análisis de la principal fuente de variación en el parámetro de calidad de agua (**Figura 119**), indica que los niveles de sólidos disueltos presentaron una alta variabilidad entre estaciones, con mínimos para la estación C1 y máximos para la estación Control. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 7.b**.

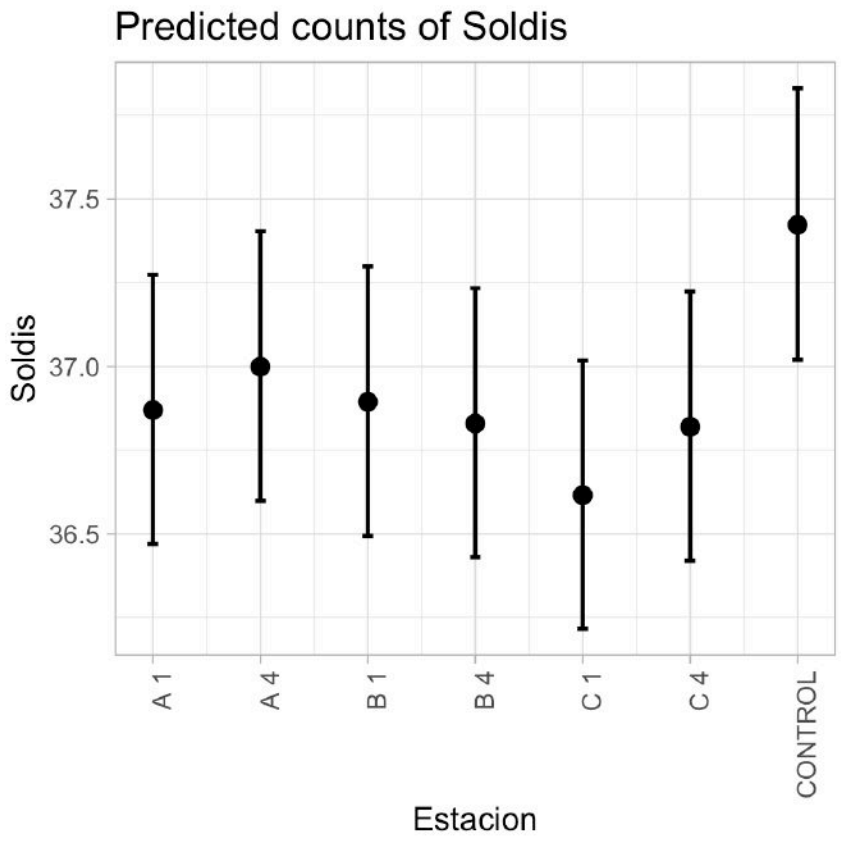


Figura 119. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.9.5.3 Calidad de sedimento

En la **Figura 120** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en las distintas estaciones de muestreo. Dado que este programa contempla sólo 1 campaña de muestreo, el análisis es solamente descriptivo observándose que la estación control presenta mayor cantidad de cascajo muy fino (CMF), arenas muy gruesas (AMG) y arenas gruesas (AG) en la estación Control, limo y arcilla (LA) en la estación C4; y arenas muy finas en las estaciones C1, A1 y B1.

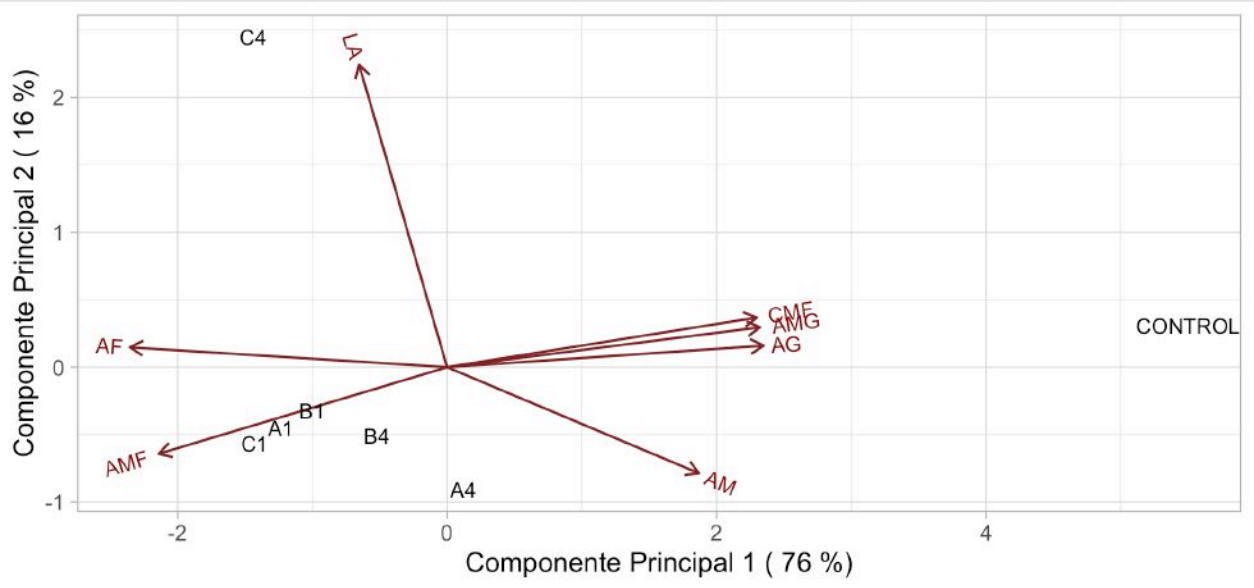


Figura 120. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.9.5.4 Comunidades

En la **Figura 121** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada, presentó alta variabilidad entre estaciones fluctuando mayormente entre 5 y 40 especies. Se destacan las estaciones A4 y B4 por presentar el mayor numero de especies (S>40). Por otro lado, las estaciones A1 y B1 presentaron niveles de riqueza bajos e inferiores a 10 especies. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon presenta diversidades moderadas a altas y altamente variables, observándose valores

que oscilan mayormente entre 0,7 y 2,2. En términos generales, las estaciones B4, C4 y Control presentaron los mayores niveles de diversidad, mientras que la estaciones A1, B2 y C1 presentaron los niveles más bajos de diversidad.

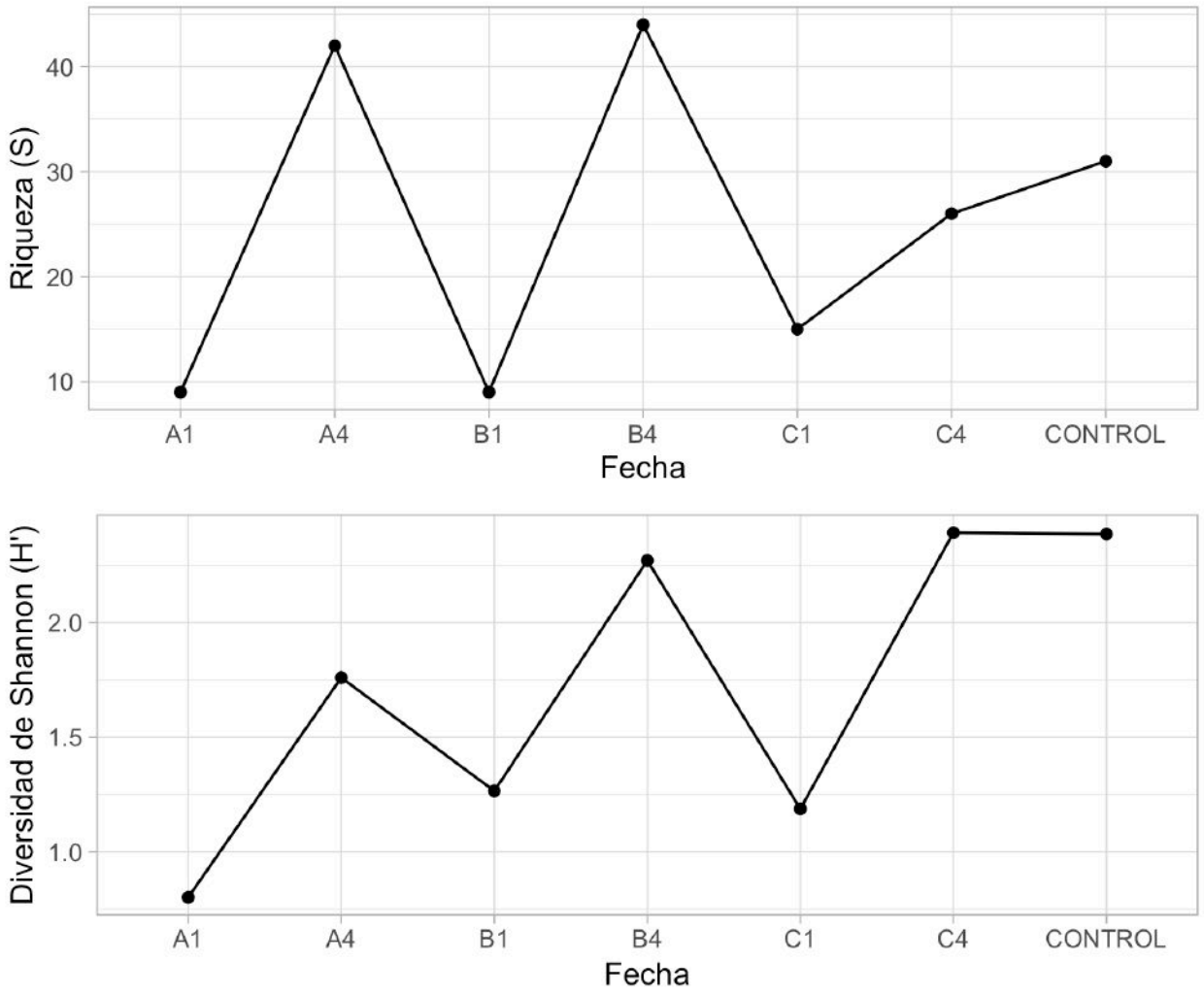


Figura 121. Riqueza y Diversidad para la macrofauna submareal por estación.

5.2.9.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

La totalidad de los parámetros medidos en hidrografía, presentaron diferencias significativas entre estratos de profundidad, donde la temperatura, pH y oxígeno disuelto fueron mayores en superficie que en fondo. Adicionalmente los sólidos disueltos medidos en calidad de agua, presentaron también diferencias significativas entre estratos de profundidad, no obstante, no fue el principal efecto que explicó la variabilidad de los datos.

Diferencias entre años

Dado que para esta UF, los datos disponibles corresponden a una sola campaña de monitoreo, no es posible constatar diferencias significativas temporales, ni tendencias de corto y mediano plazo.

Estacionalidad

Dado que para esta UF, los datos disponibles corresponden a una sola campaña de monitoreo, no es posible constatar diferencias significativas temporales, ni tendencias de corto y mediano plazo.

Diferencias espaciales

Los sólidos disueltos presentaron diferencias significativas entre estaciones, donde la estación Control presentó concentraciones mayores de solidos disueltos, con niveles cercanos a 37,5 mg/L; mientras que el resto de las estaciones presentó en promedio niveles inferiores a 37 mg/L. Cabe destacar que, la estación control se encuentra al norte de la Planta GASMAR y frente a TM VENTANAS, distante del resto de las estaciones, lo cual podría estar explicando las diferencias significativas observadas en este parámetro (**Figura 110**).

5.2.10 Terminal Marítimo OXIQUIM S.A.

5.2.10.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 122** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo Terminal Marítimo OXIQUIM S.A. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar 4 estaciones de monitoreo submareal, de las cuales 1 corresponde a un punto de control. No obstante, todas las estaciones se ubican muy cerca de la costa (profundidad cercana los 10 m). Este programa comprende, además 2 estaciones intermareales, para las cuales no estuvo disponible su ubicación geográfica.

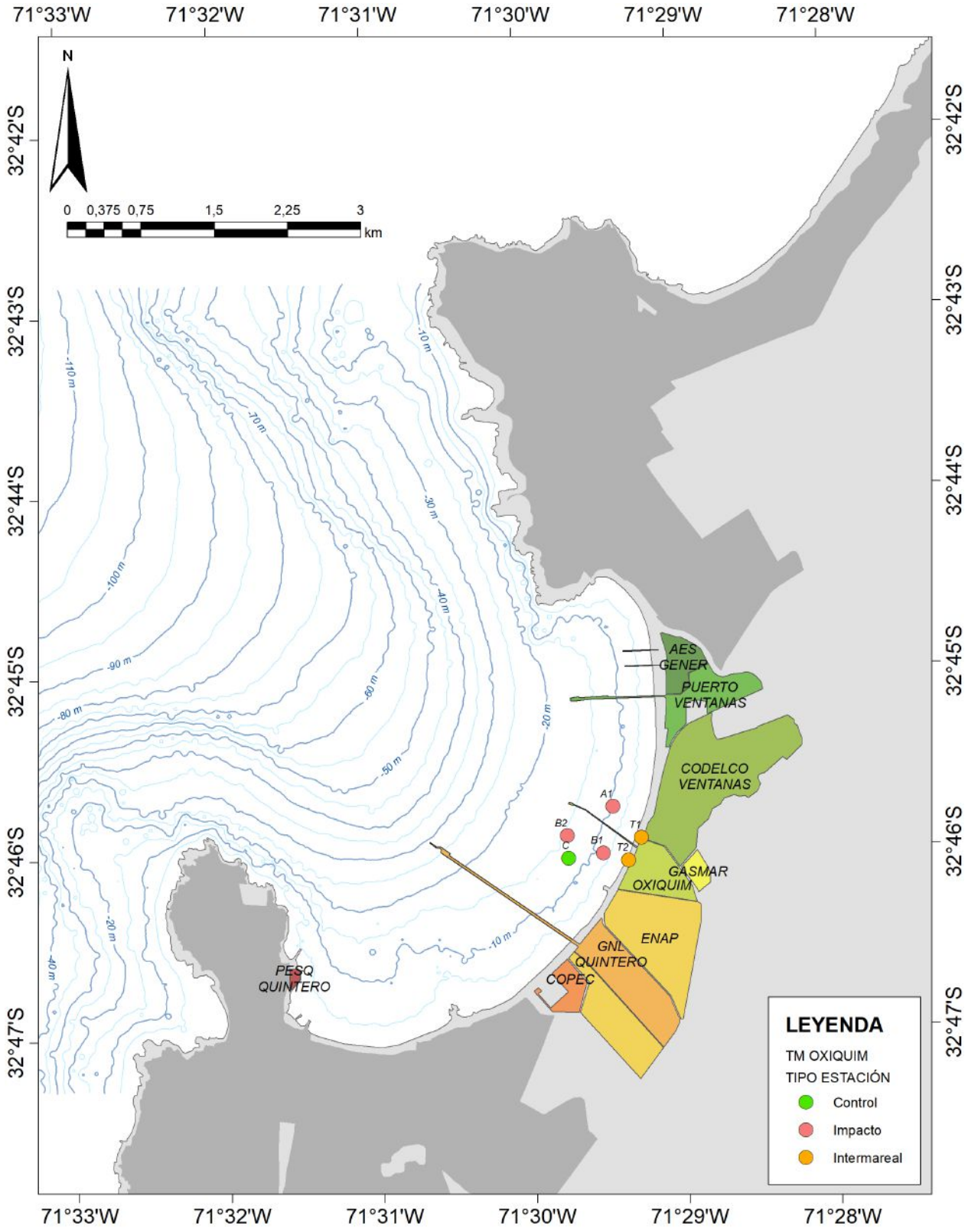


Figura 122. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo OXIQUIM S.A.

5.2.10.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, agua submareal, sedimento submareal, y macrofauna submareal e intermareal (**Tabla 56**).

Tabla 56. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo OXIQUIM S.A.

ESTACIÓN	TIPO	Y	X	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA
A1	Impacto	6372273	266682	X	X	X	X
B1	Impacto	6371796	266585	X	X	X	X
B2	Impacto	6371972	266217	X	X	X	X
C	Control	6371740	266232	X	X	X	X
T1	Intermareal	s.i.	s.i.				X
T2	Intermareal	s.i.	s.i.				X

5.2.10.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 57** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Para hidrografía se monitorea la temperatura pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos, y los datos son informados por estratos de profundidad, lo cual no permite hacer perfiles de en ninguno de los parámetros. Para agua se monitorea compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos totales, y transparencia, profundidad y capa fótica. En el sedimento submareal junto con los parámetros asociados a la granulometría se mide Materia Orgánica y Sulfuros. En las comunidades del submareal se contabiliza la abundancia y biomasa. Finalmente, se contabiliza la macrofauna submareal e intermareal informándose la abundancia y biomasa.

Tabla 57. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo OXIQUIM S.A

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	Oxigeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	pH	unidad	pH
Hidrografía	Solidos disuelto	mg/L	SolDis
Calidad agua	Transparencia	m	Trans
Calidad agua	Profundidad	m	Prof
Calidad agua	Capa fótica	m	Cfotica
Calidad agua	Compuestos Fenólicos	mg/L	IF
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos totales	mg/L	HAT
Calidad sedimentos	Materia orgánica	%	MO
Calidad sedimentos	Sulfuros	mg/kg	S2
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena mediana	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Fango	%	Fango
Calidad sedimentos	Promedio gráfico	phi	M2
Calidad sedimentos	Promedio	mm	M
Calidad sedimentos	Desviación estándar grafica inclusiva	-	DEGI
Calidad sedimentos	Sesgo grafico inclusivo	-	Ski
Calidad sedimentos	Tipología del promedio gráfico	Descriptivo	PromTip
Calidad sedimentos	Grado de clasificación	phi	Clasificación
Calidad sedimentos	Tipología del grado de clasificación	Descriptivo	ClasTip
Calidad sedimentos	Grado de simetría	phi	Simetría
Calidad sedimentos	Tipología del grado de simetría	Descriptivo	SimTip
Macrofauna submareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna submareal	Biomasa	g/m2	B
Macrofauna intermareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna intermareal	Biomasa	g/m2	B

5.2.10.4 Estadística descriptiva

5.2.10.4.1 Hidrografía

La temperatura osciló entre 11,12ºC y 19,52ºC, con una media de 14,00ºC, y un coeficiente de variación del 12%. El pH osciló entre 6,21 y 8,78, con una media de 7,87, y un coeficiente de variación del 5%. El oxígeno disuelto osciló entre 1,81 y 12,03 mg/L, con una media de 7,84 mg/L, y un coeficiente de variación del 18%. Finalmente, los sólidos disueltos oscilaron entre 28.630 y 51,150 mg/L, con una media de 35.412,6 mg/L y un coeficiente de variación del 9%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 58**).

Tabla 58. Resumen de estadística descriptiva el parámetro hidrográfico analizado.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	564	11,12	19,52	14,01	1,64	12%	0,9406	0,0000
pH	unidad	568	6,21	8,78	7,87	0,37	5%	0,9831	0,0000
Odis	mg/L	564	1,81	12,03	7,84	1,42	18%	0,9496	0,0000
Sdis	mg/L	567	28630	51150	35.412,59	3.132,31	9%	0,8506	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.10.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 58**.

En las **Figuras 123 a 126** se muestra la tendencia de estos parámetros, entre los años 1995 y 2019. La temperatura presentó una alta variabilidad, con tendencias similares entre estaciones y entre estratos de profundidad, fluctuando entre 11,5ºC y 19,5ºC en superficie, y entre 11ºC y 18,5ºC en el fondo (**Figura 123**). El pH fue variable entre estratos, con mínimos bajo 2 para la estación C y máximos superiores a 5 para la estación B1 (**Figura 124**). El patrón de oxígeno disuelto fue similar entre estratos y con una alta variabilidad, con valores promedio de 7,8 mg/L (**Figura 125**). Finalmente, los sólidos disueltos presentaron una alta variabilidad entre años, con tendencias similares entre estratos, exceptuando la estación B1 en la capa de fondo, con valores máximos superiores a 40.000 mg/L entre los años 2009 y 2010 (**Figura 126**).

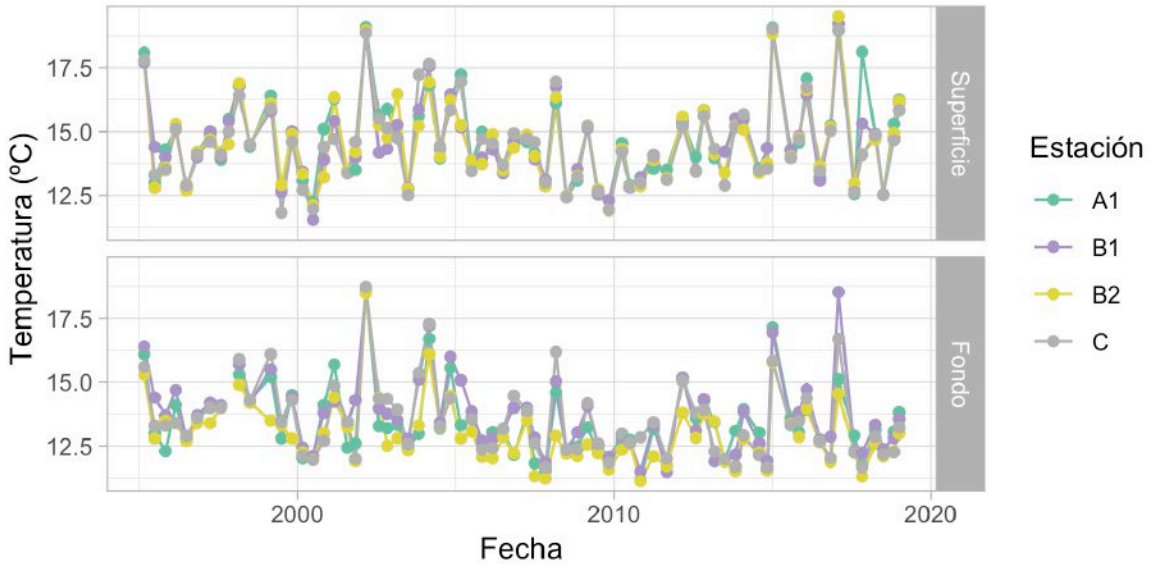


Figura 123. Niveles de temperatura, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019.

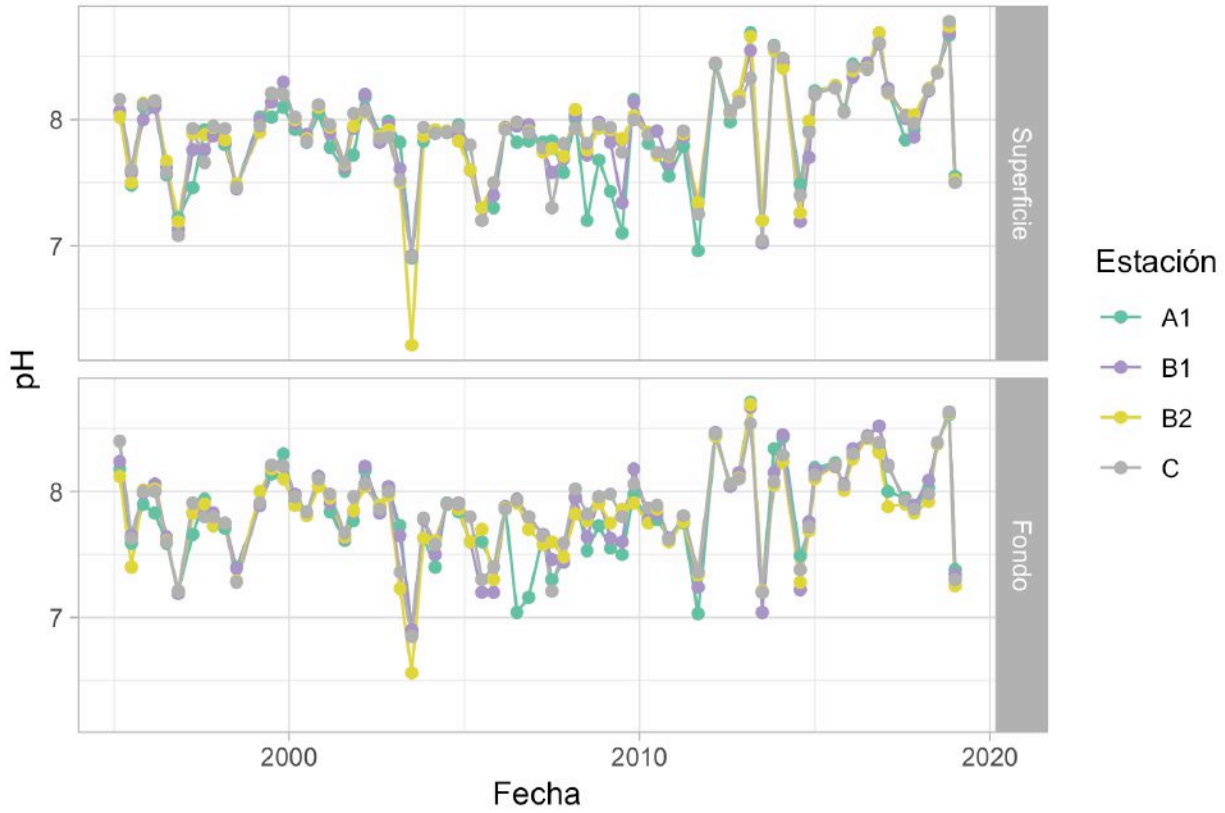


Figura 124. Niveles de pH, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019.

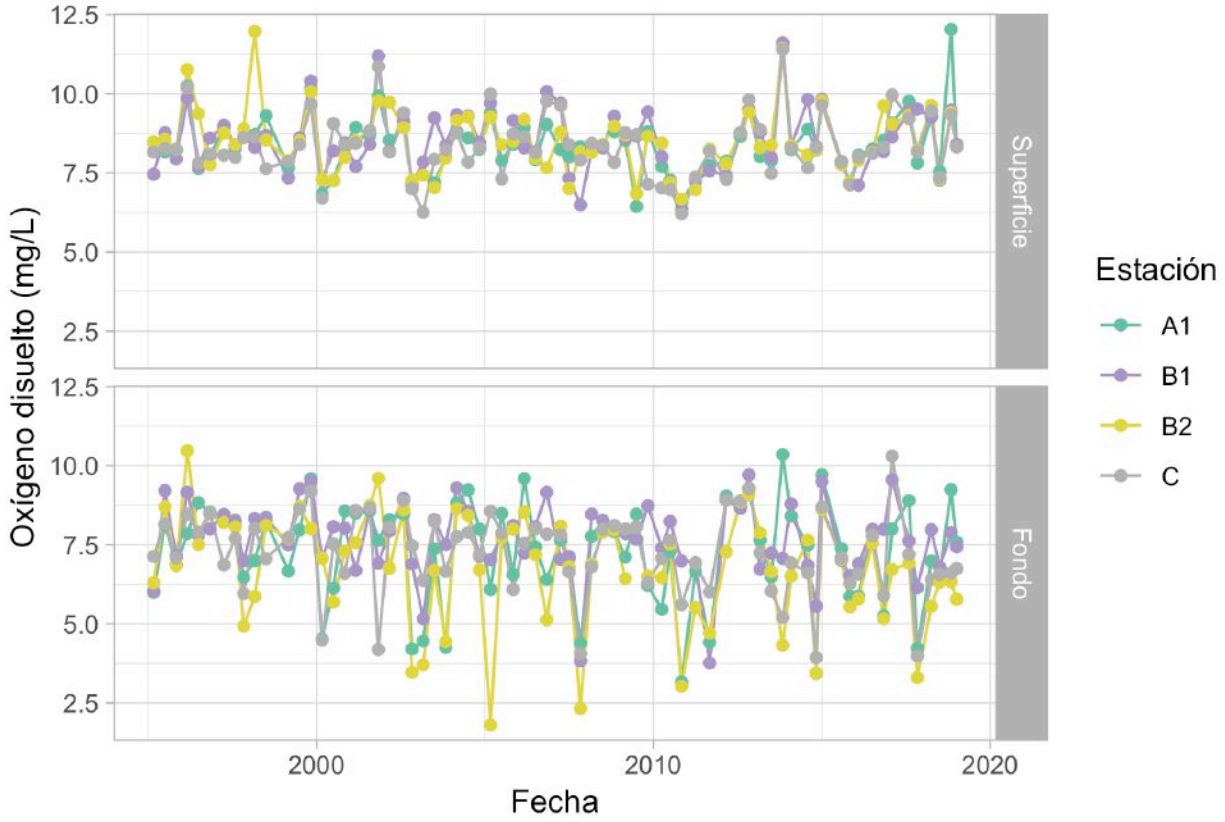


Figura 125. Niveles de oxígeno disuelto, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019.

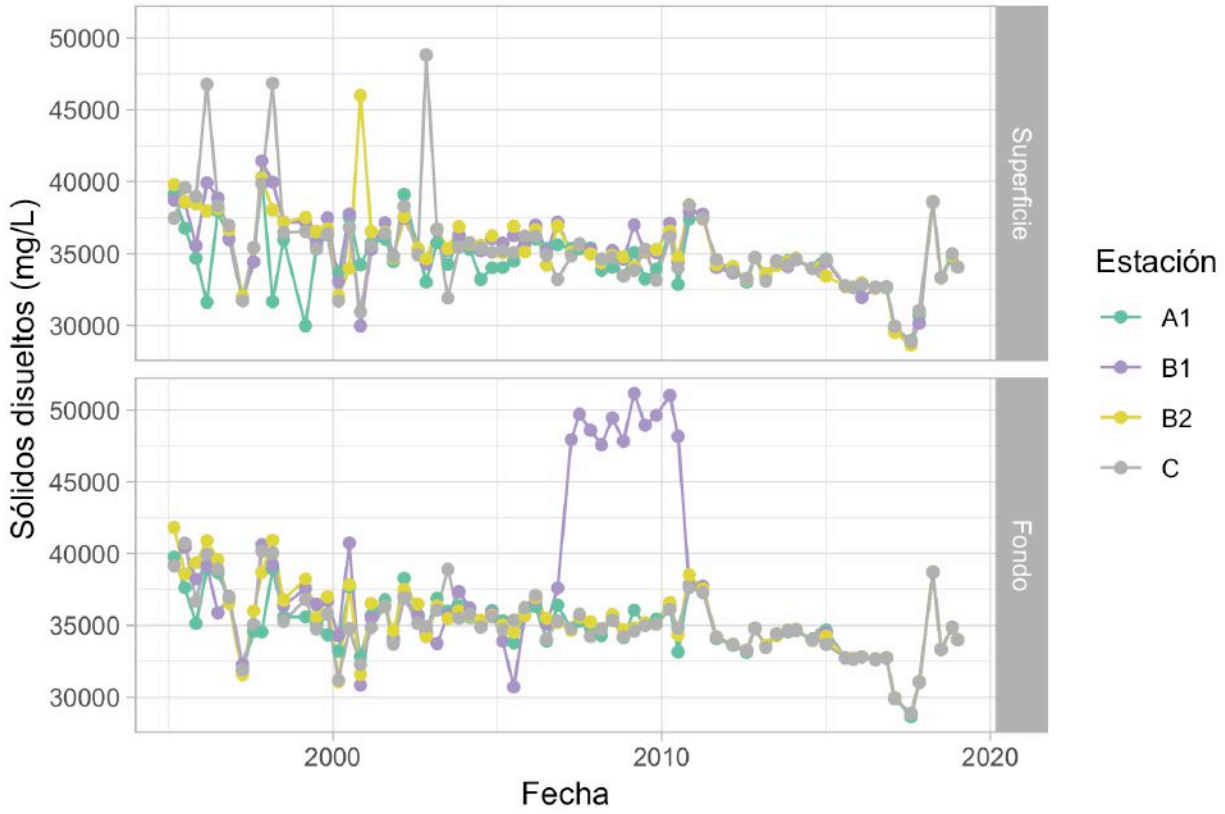


Figura 126. Niveles de sólidos disueltos, por estación, para los estratos superficie y fondo, entre los años 1995 y 2019.

5.2.10.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de compuestos fenólicos (IF), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), transparencia (Trans) profundidad (Prof) y capa fótica (Cfótica), medidos en agua submareal (**Tabla 59**). Los compuestos fenólicos oscilaron entre 0,0 y 0,13 mg/L, con una media de 0,01 mg/L y un coeficiente de variación de 245%. Finalmente, los hidrocarburos aromáticos totales oscilaron entre 0,001 y 38,8 mg/L, con una media de 1,93 mg/L y un coeficiente de variación de 177%. La transparencia osciló entre 1,75 y 5,5 m, con una media de 3,18 m y un coeficiente de variación del 26%. La profundidad osciló entre 4,38 y 11,8 m, con una media de 7,86 m y un coeficiente de variación del 25%. Finalmente, la capa fótica osciló entre 5,9 y 19,1 m, con una media de 11,7 m y un coeficiente de variación del 30%. Cabe destacar que, tanto los compuestos fenólicos como los hidrocarburos aromáticos totales presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación fueron superiores a 100%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 59. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
IF	mg/L	232	0,00	0,13	0,01	0,02	246%	0,3710	0,0000	84%
HAT	mg/L	227	0,001	38,8	2,00	3,44	172%	0,4910	0,0000	44%
Trans	m	60	1,75	5,5	3,18	0,81	26%	0,9486	0,0134	-
Prof	m	60	4,38	13,8	7,86	2,00	25%	0,9379	0,0044	-
Cfotica	m	60	5,9	19,1	11,66	3,51	30%	0,9460	0,0101	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.10.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 58**.

En las **Figuras 127 a 131** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 1995 y 2019.

Los compuestos fenólicos (**Figura 127**) presentaron una alta variabilidad entre años de muestreo, donde destacan dos máximos, superior a 0,1 mg/L en la estación C y superior a 0,15 mg/L en la estación A1. Finalmente, los hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 128**) mostraron tendencias similares entre estaciones, fluctuando entre 0,001 y 5 mg/L, destacando un peak con niveles máximos que oscilaron entre 10 y 40 mg/L, durante el año 2010. La transparencia (**Figura 129**) fue variable entre años y estaciones de muestreo, con máximos superiores a 5 m para la estación B1 y mínimos inferiores a 2 m en la estación C. La profundidad (**Figura 130**) también fue altamente variable entre estaciones, con máximos en la estación B1 (~14 m) y mínimos en la estación C (~4m). Finalmente, la capa fótica (**Figura 131**) presentó tendencias altamente variables entre estaciones, destacando máximos en la estación B2, con valores superiores a 15 m y mínimos en la estación B1 con valores cercanos a 6 m.

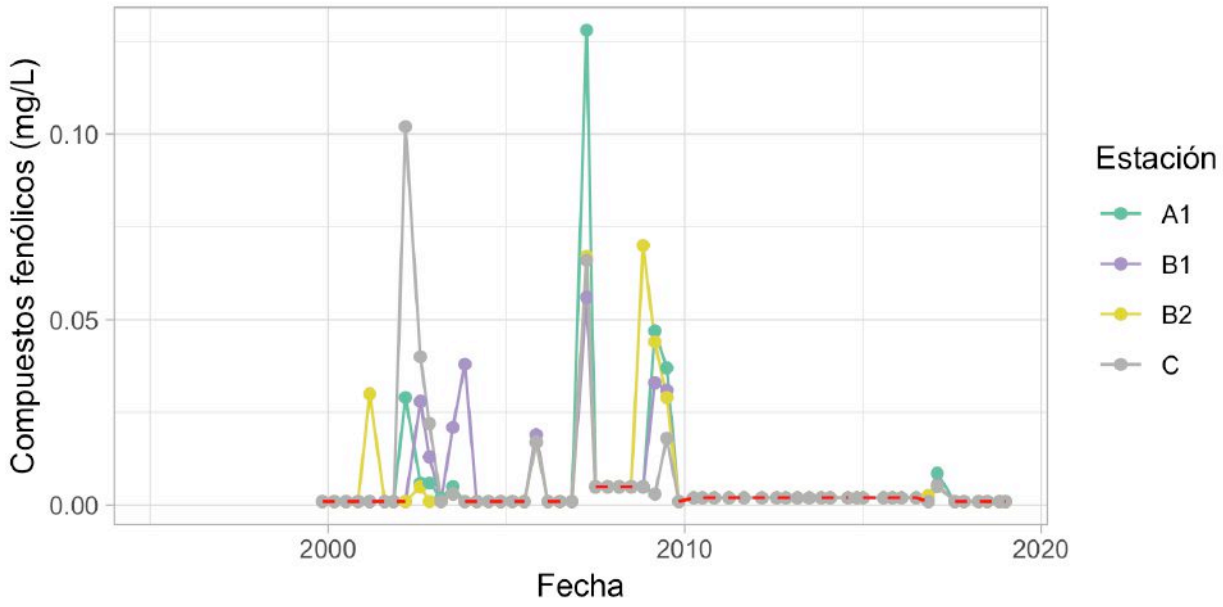


Figura 127. Niveles de compuestos fenólicos (mg/L), entre los años 1999 y 2019.

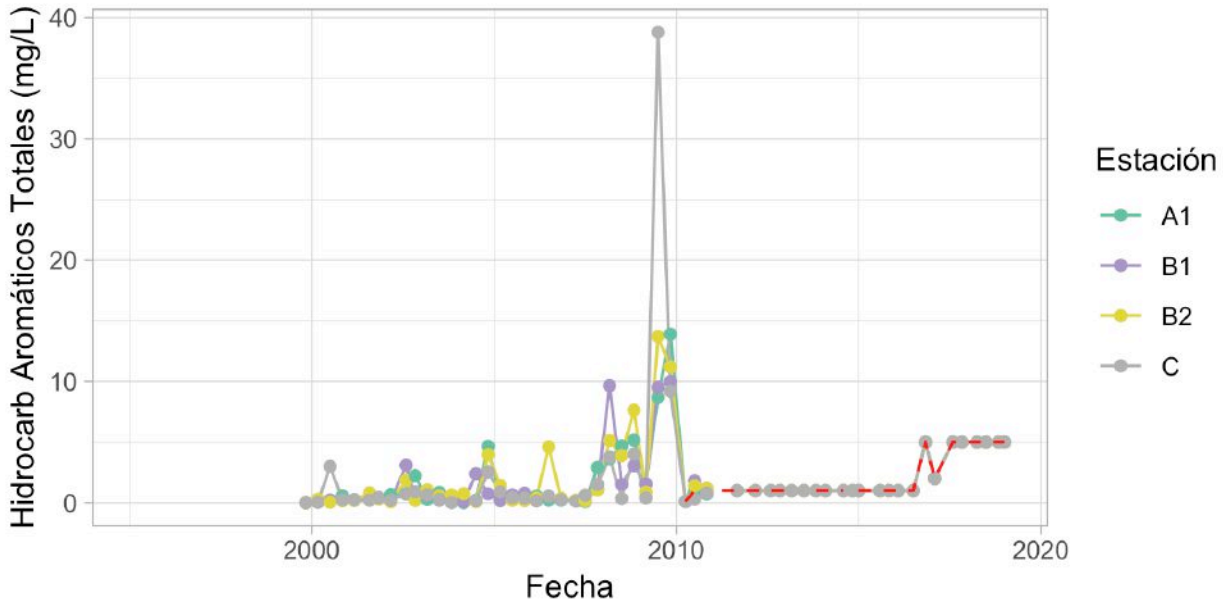


Figura 128. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/L), entre los años 1999 y 2019.

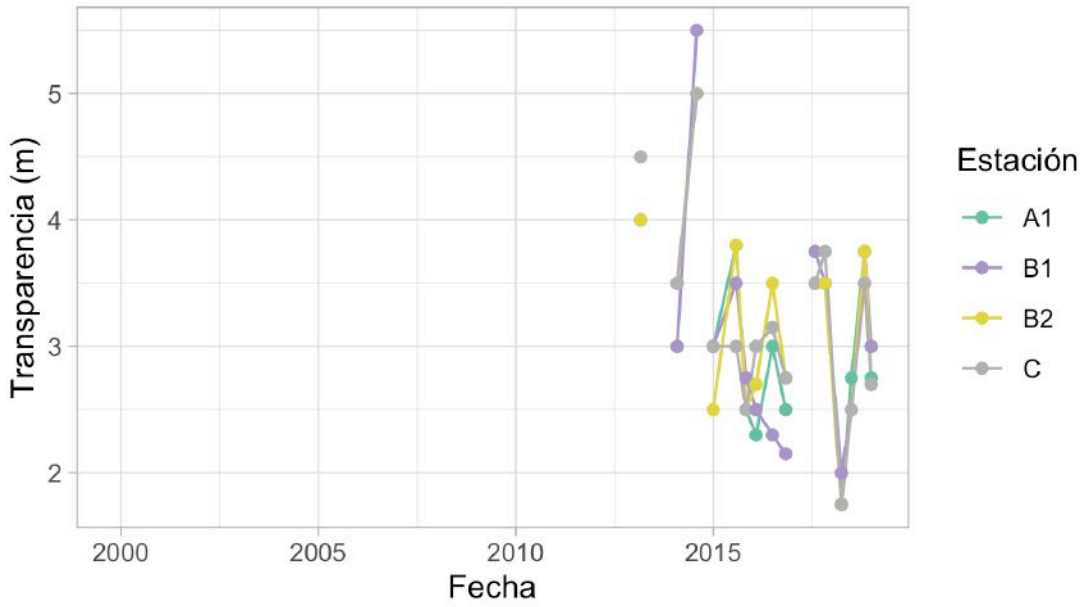


Figura 129. Niveles de transparencia (m), entre los años 2013 y 2019.

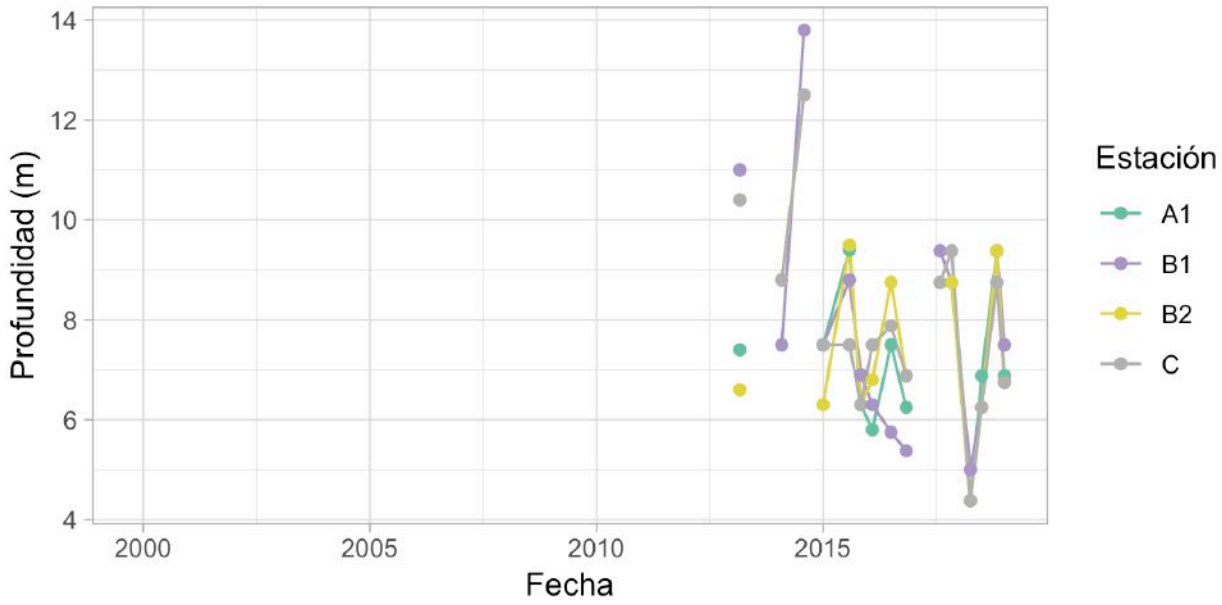


Figura 130. Niveles de profundidad (m), entre los años 2013 y 2019.

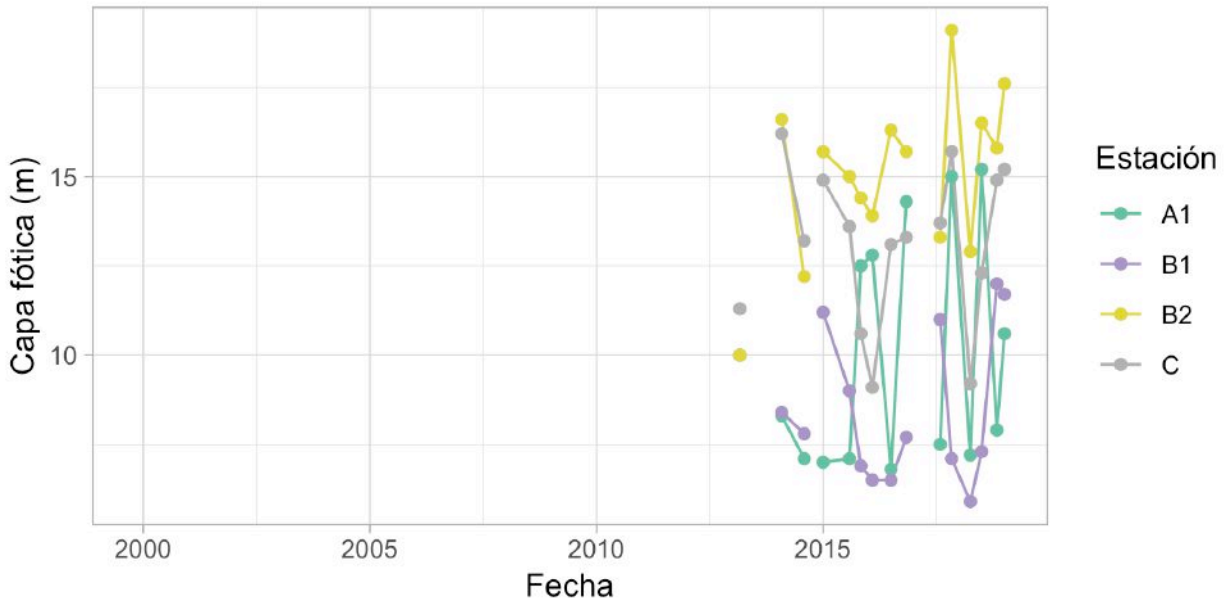


Figura 131. Niveles de capa fótica (m), entre los años 2013 y 2019.

5.2.10.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 60**). En términos generales los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando los parámetros cascajo muy finos (CMF) y arena muy gruesa (AMG), cuyos coeficientes de variación fueron mayores a 200% (405% y 288%, respectivamente), mientras que el parámetro con menor variabilidad corresponde a arenas finas (AF), con un coeficiente de variación de 37%.

Tabla 60. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
MO	%	92	0,1	3,96	1,45	0,96	66%	0,9502	0,0015	12%
S	mg/kg	160	0,05	12,1	0,96	1,26	131%	0,5200	0,0000	58%
CMF	%	60	0	25	0,80	3,23	405%	0,2169	0,0000	-
AMG	%	60	0	30,04	1,36	3,91	288%	0,2847	0,0000	-
AG	%	60	0,08	14,4	2,67	3,43	129%	0,6809	0,0000	-
AM	%	60	0,93	48,41	10,14	9,93	98%	0,7426	0,0000	-
AF	%	60	14,88	84,94	46,42	17,36	37%	0,9287	0,0017	-
AMF	%	60	2,82	69,14	33,85	18,66	55%	0,9557	0,0290	-
Fango	%	60	0,3	22,27	4,77	5,19	109%	0,7885	0,0000	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.10.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 60**.

En la **Figura 132** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el submareal. Se puede observar que, en todas las estaciones de muestreo se registra una mayor dominancia de arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF), exceptuando la campaña de agosto de 2014, con mayor dominancia de arenas medianas (AM) en la estación A1. Durante la campaña de agosto de 2015, se registró mayor presencia de cascajos muy finos (CMF) y arenas muy gruesas (AMG) en la estación A1.

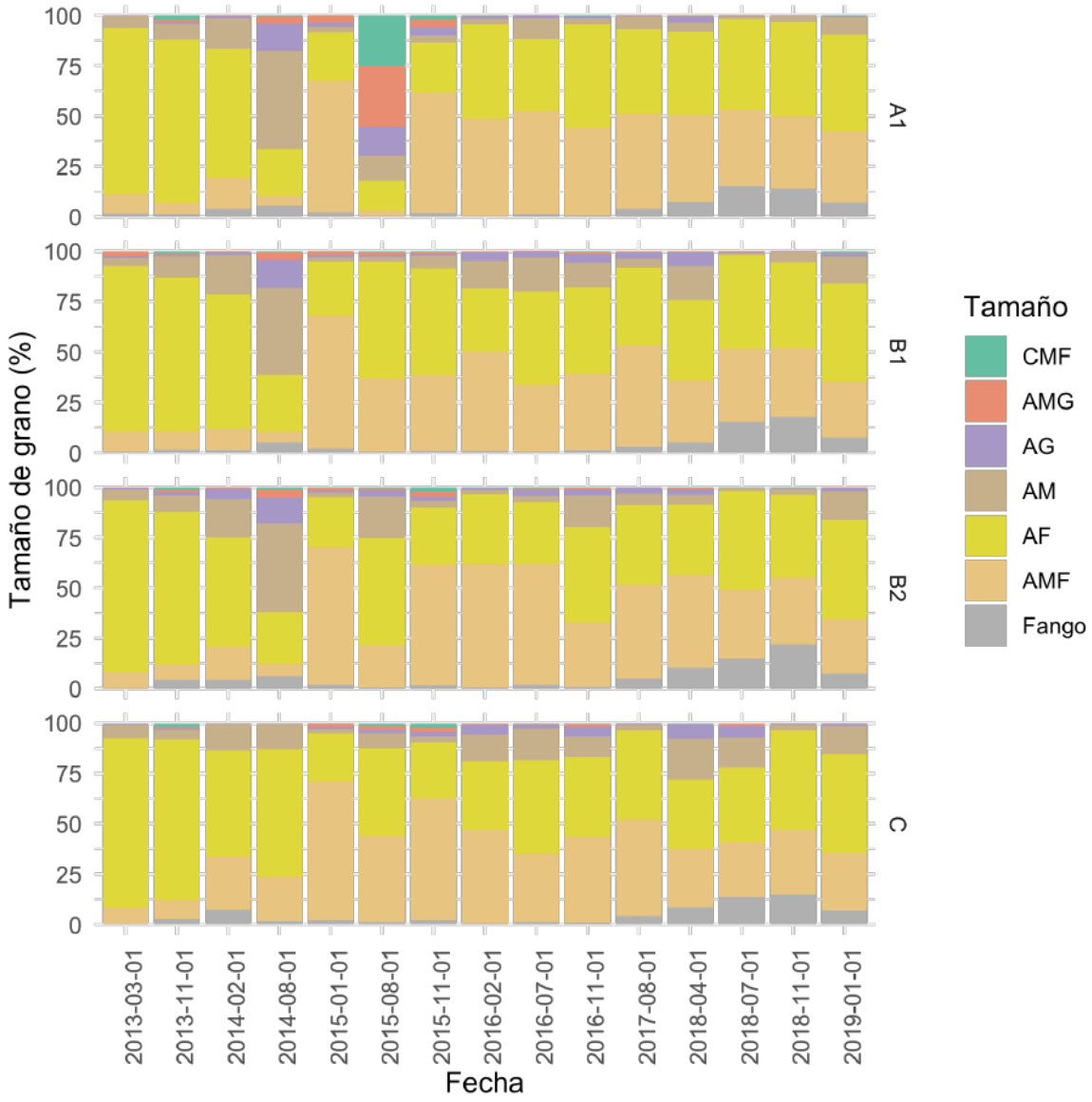


Figura 132. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2013 y 2019.

En las **Figuras 133 y 134** se entrega la tendencia de los parámetros materia orgánica total (MOT) y sulfuros (S), para sedimentos submareales, para cada una de las estaciones entre los años 2013 y 2019. La materia orgánica total (**Figura 133**) mostró diferencias entre estaciones, con una alta variabilidad, alcanzando máximos superiores a 3% en la estación C y mínimos de 0,1% en todas las estaciones de muestreo. Por otro lado, los sulfuros se mantuvieron bajo los límites de detección (1 mg/kg hasta julio 2018; 2 mg/kg entre noviembre 2018 y enero 2019) para toda la serie analizada (**Figura 134**).

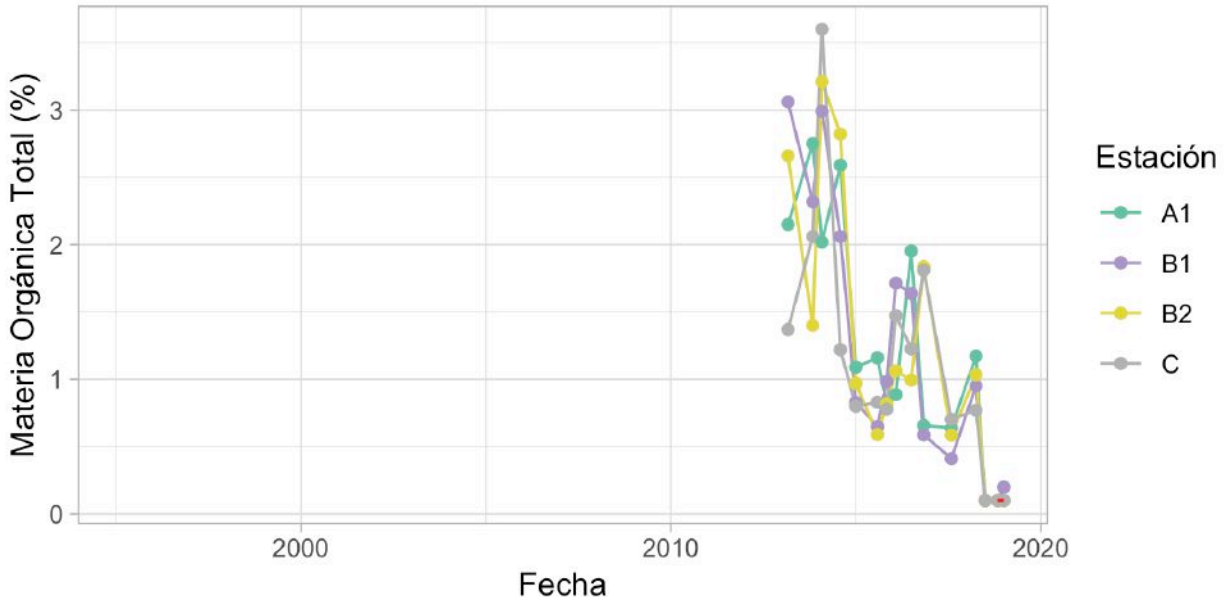


Figura 133. Niveles de materia orgánica total (%) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019.

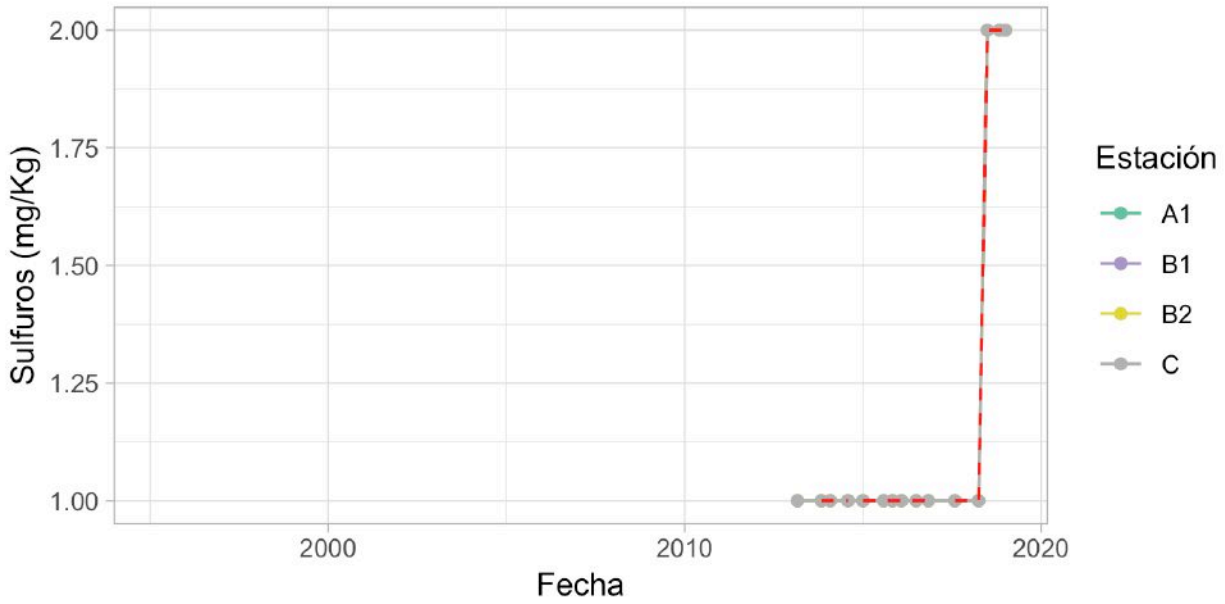


Figura 134. Niveles de sulfuros (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.10.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos intermareal y submareal (**Tabla 61**). Para el bentos intermareal, la abundancia osciló entre 0 y 3.578 ind/m^2; con una media de 73,39 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0 y 303,39 g/m^2, con una media de 7,06 g/m^2. Para el bentos submareal, la abundancia osciló entre 0 y 4.920 ind/m^2; con una media de 40,86 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0 y 240,33 g/m^2, con una media de 0,60 g/m^2. Cabe destacar que, la totalidad de parámetros evaluados, presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 350%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 61. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Tipo	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	1024	0	3.578	73,39	257,91	351%	0,3064	0,0000
intermareal	Biomasa	g/m2	1024	0	303,39	7,06	29,00	410%	0,2652	0,0000
Bentos	Abundancia	ind/m2	2088	0	4.920	40,86	208,34	510%	0,1694	0,0000
submareal	Biomasa	g/m2	2088	0	240,33	0,60	7,00	1174%	0,0537	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.10.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 61**.

En la **Figura 135** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de macrofauna intermareal entre los años 2013 y 2019, observándose una amplia dominancia de *Excirolana brasilensis*, para ambas transectas, en la mayoría de las estaciones, exceptuando la estación C4 (transecta 1) y C6 (transecta 2), durante la campaña de noviembre de 2015, donde se donde se observa una dominancia de la especie *Exoedicropsis chiltoni.* Cabe destacar que, las estaciones C1 y C2, presentaron un número muy bajo de individuos en ambas transectas.

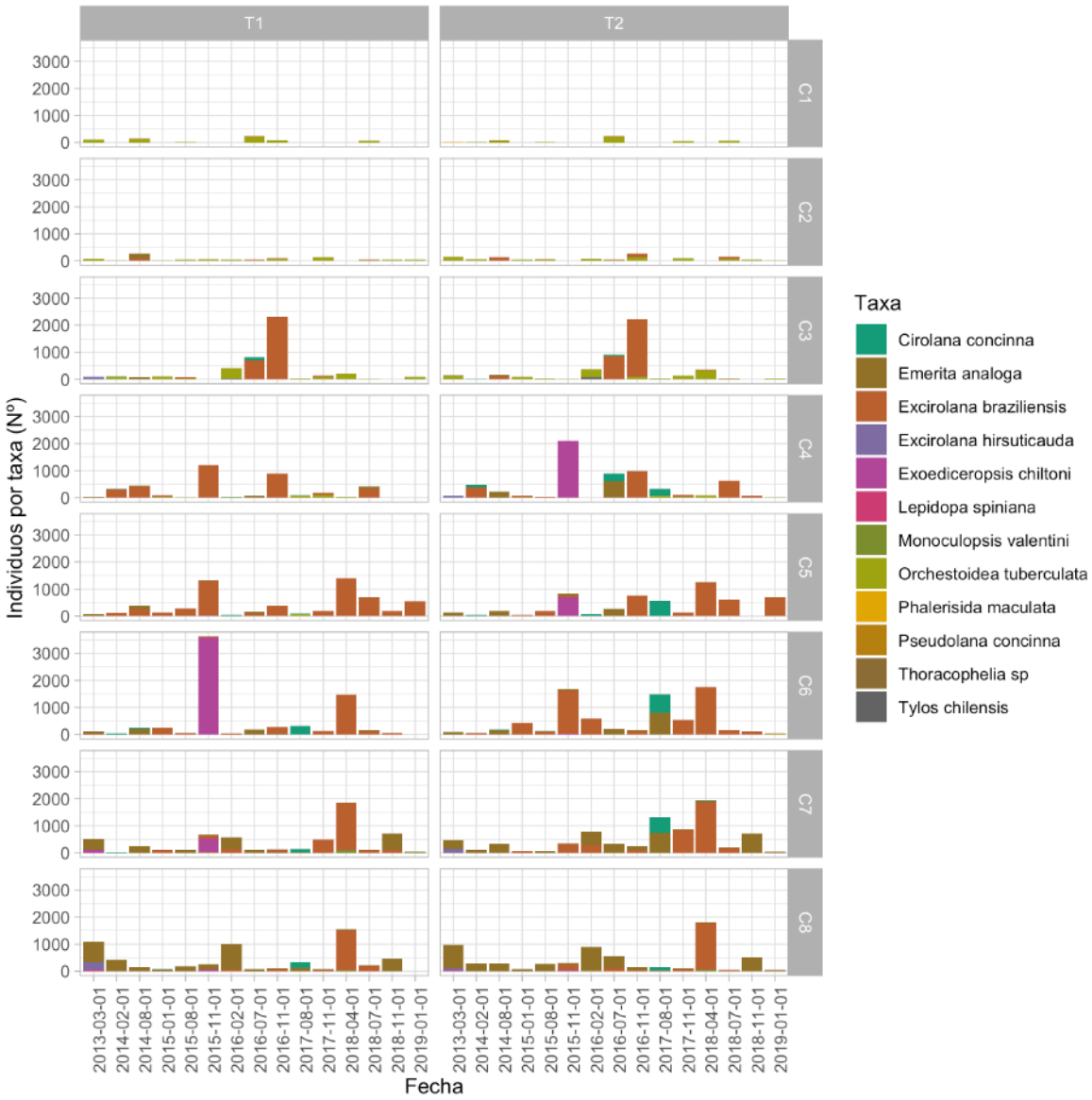


Figura 135. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2013 y 2019.

Al igual que lo reportado en Ventanas Unidad 3 y 4, la revisión de las bases de datos del bentos submareal arrojó problemas en identificación taxonómica, por lo que no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.10.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.10.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 62** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La mayoría de los parámetros presentó diferencias significativas en todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando el pH en para el efecto Estación y sólidos disueltos para el efecto Trimestre. Para la temperatura, el efecto Trimestre correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=28,96%), mientras que, para el pH y sólidos disueltos, el efecto Año correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=50,42% y 37,39%, respectivamente). Finalmente, para el oxígeno disuelto, el efecto Estrato correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=16,98%).

Tabla 62. Resultados de MLG para el parámetro temperatura, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos en agua entre 1995 y 2019. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			563		104,52		
Temp	Estación	3	560	0,84	103,67	0,0027	0,81
	Estrato	1	559	14,49	89,18	0,0000	13,86
	Año	24	535	27,24	61,94	0,0000	26,06
	Trimestre	3	532	30,40	31,54	0,0000	**29,09**
			567		10,17		
pH	Estación	3	564	0,03	10,15	0,3151	0,25
	Estrato	1	563	0,05	10,09	0,0061	0,52
	Año	24	539	5,13	4,97	0,0000	**50,42**
	Trimestre	3	536	1,13	3,84	0,0000	11,1
			563		157,05		
Odis	Estación	3	560	2,06	154,99	0,0095	1,31
	Estrato	1	559	26,67	128,32	0,0000	**16,98**
	Año	24	535	23,73	104,59	0,0000	15,11
	Trimestre	3	532	3,73	100,86	0,0001	2,38
			566		149.912,5		
Sdis	Estación	3	563	4.852,9	145.059,6	0,0000	3,24
	Estrato	1	562	1.241,9	143.817,7	0,0068	0,83
	Año	24	538	56.052,1	87.765,7	0,0000	**37,39**
	Trimestre	3	535	1.164,7	86.601,0	0,0758	0,78

En la **Figura 136** se presenta un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada para los parámetros de hidrografía. Se observa que, los niveles de temperatura fueron variables, con máximos durante el primer trimestre (enero-marzo) y mínimos durante el tercer trimestre (julio-septiembre). Los niveles de pH fueron altamente variables entre años, con máximos durante los años 2016 y 2018, y mínimos en el año 2019. El oxígeno disuelto presentó valores mínimos en la capa de fondo, mientras que en la capa superficial se registraron niveles mayores. Finalmente, los niveles de sólidos disueltos fueron variables entre años, con mínimos en el año 2017 y máximos en los años 1995, 1996 y 1998. El análisis de los residuales se presenta en el **Anexo 8a.**

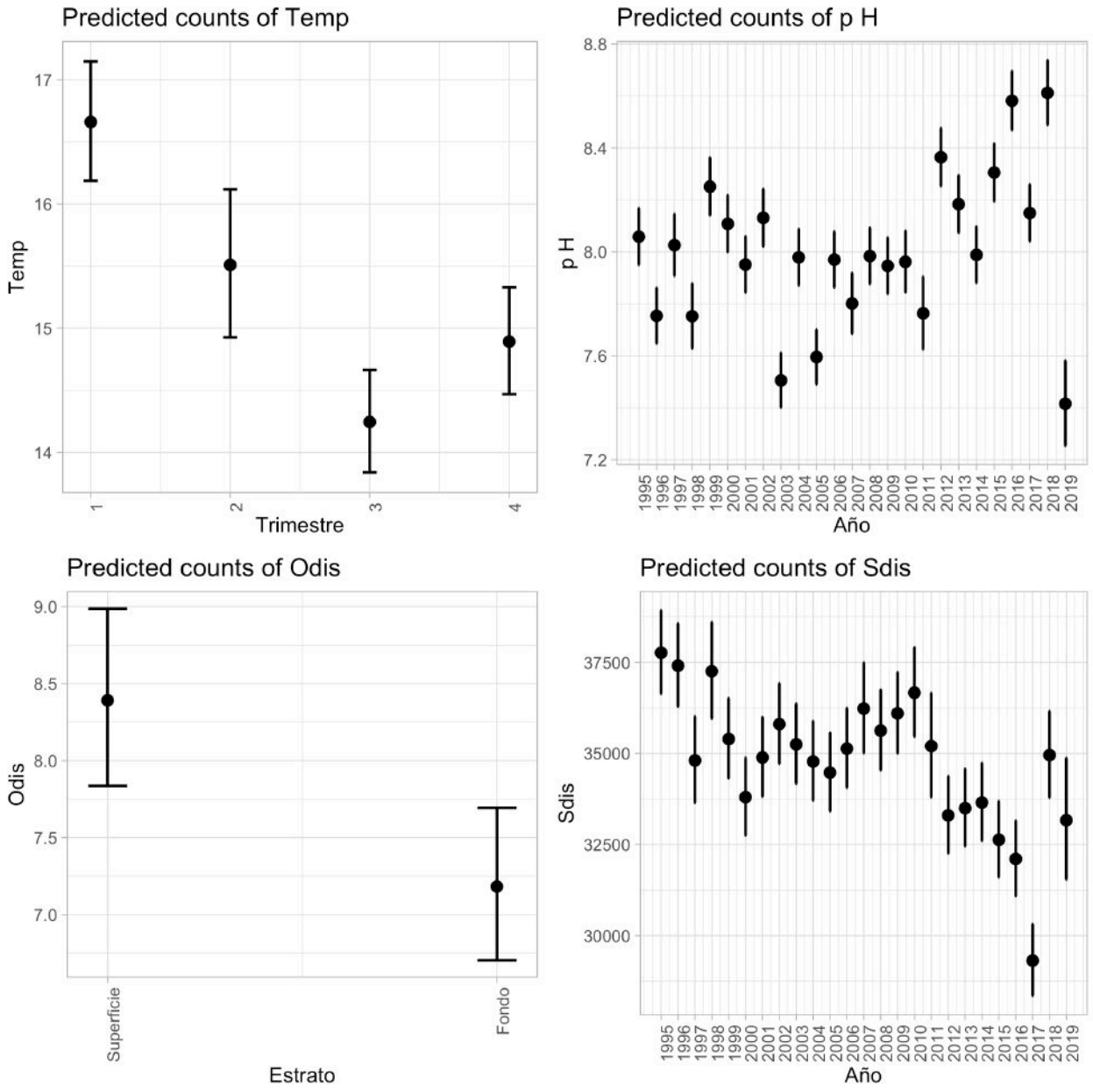


Figura 136. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.10.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 63** se entrega un análisis GLM, para los parámetros compuestos fenólicos (IF), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), transparencia (Trans), profundidad (Prof), y capa fótica (Cfótica), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentaron diferencias significativas para todas las fuentes de variación Año y Trimestre, exceptuando la capa fótica, con diferencias

significativas para el efecto Estación. En la mayoría de los parámetros analizados el efecto Año fue el que presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=52,72%, 68,5%, 51,4%, y 45,34%, respectivamente), excepto para la capa fótica, donde el efecto Estación fue el que presentó mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=51,28%.

Tabla 63. Resultados de MLG para los parámetros compuestos fenólicos (IF), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), transparencia (Trans), profundidad (Prof), y capa fótica (Cfótica), en agua de mar, entre 1995 y 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			231		3,47		
IF	Estación	3	228	0,00	3,47	0,9631	0,07
	Año	20	208	1,83	1,64	0,0000	**52,72**
	Trimestre	3	205	0,43	1,21	0,0000	12,24
			226		687,29		
HAT	Estación	3	223	2,55	684,74	0,4797	0,37
	Año	20	203	470,79	213,95	0,0000	**68,5**
	Trimestre	3	200	39,37	174,57	0,0000	5,73
			59		12,0		
Trans	Estación	3	56	0,0	11,9	0,9845	0,08
	Año	6	50	6,1	5,8	0,0000	**51,4**
	Trimestre	3	47	2,7	3,1	0,0000	22,7
			59		29,0		
Prof	Estación	3	56	0,1	29,0	0,9515	0,23
	Año	6	50	13,17	15,81	0,0000	**45,34**
	Trimestre	3	47	6,71	9,10	0,0000	23,11
			59		64,11		
Cfótica	Estación	3	56	32,88	31,23	0,0000	**51,28**
	Año	6	50	3,28	27,96	0,3431	5,11
	Trimestre	3	47	5,24	22,72	0,0128	8,17

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 137**), indica que, los niveles promedio de transparencia fueron variables entre años, con máximos entre los años 2013 y 2014 y mínimos en el año 2016. La profundidad presentó un patrón similar. La capa fótica registró altos niveles en la estación B2, mientras que los niveles más bajos fueron registrados en la estación B1. Los compuestos fenólicos presentaron niveles promedio altamente variables entre años, con máximos en los años 2002 y 2009 y mínimos en los años 2011 y 2018. Finalmente, para los hidrocarburos aromáticos totales se observa un patrón similar en la mayoría

de los años de muestreo, exceptuando los años 2008 y 2009, y entre los años 2017 y 2019, donde se observan mayores niveles promedio, con una alta variabilidad. El análisis de los residuales se presenta en el **Anexo 8b.**

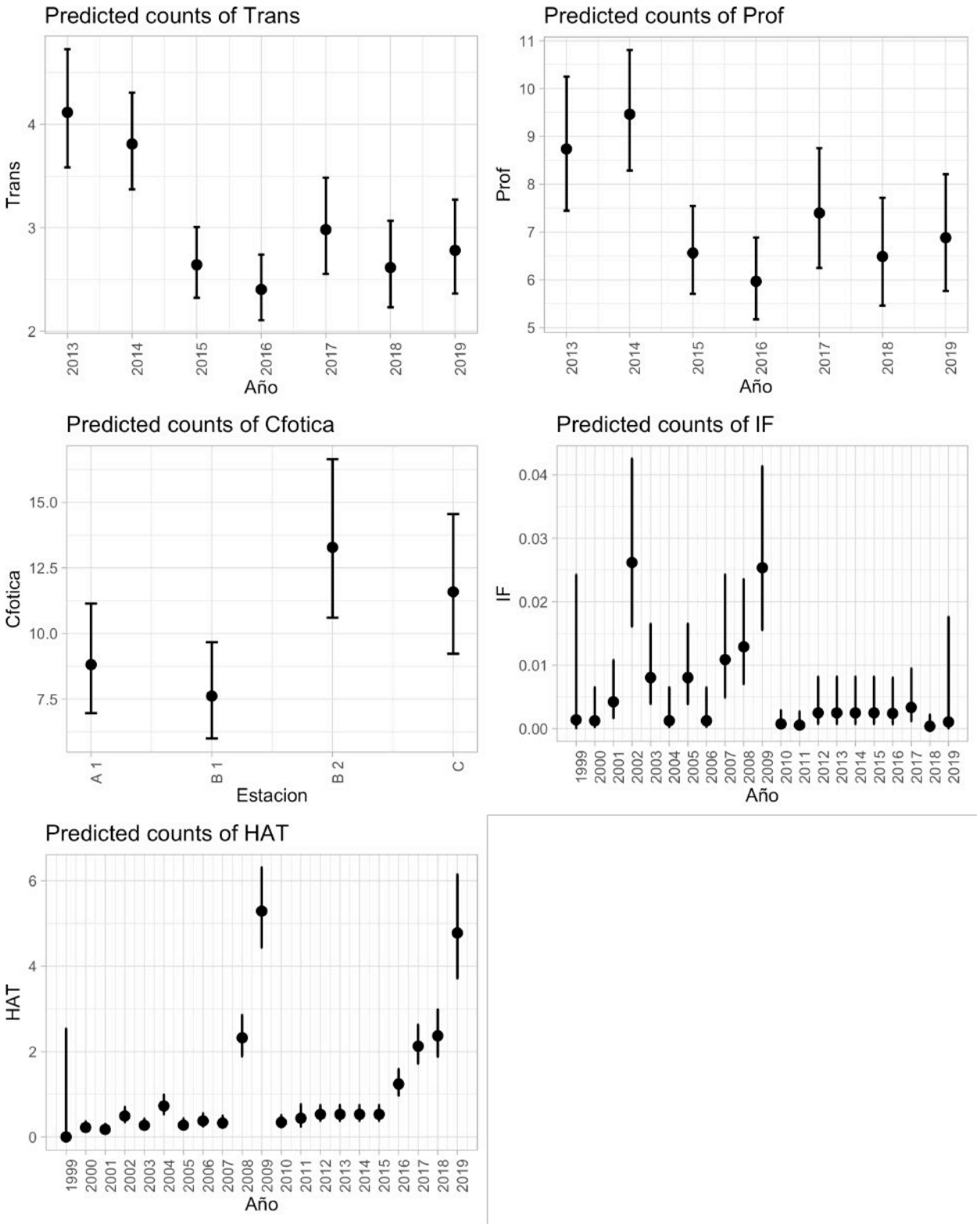


Figura 137. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.10.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Figura 138** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en los distintos años de muestreo.

El análisis arrojó diferencias significativas en la composición de sedimento entre años (PERMANOVA R^2=0,51; P<0,001), destacando una mayor dominancia de arenas finas (AF), en el año 2013, mientras que para el año 21014 se destaca una mayor dominancia de arenas finas (AF), materia orgánica (MO) y arenas medias (AM). Por otro lado, durante los años 2015 y 2016 los sedimentos presentaron mayor presencia de arena gruesa (AG), arena muy gruesa (AMG), cascajo muy fino (CMF) y arenas medias (AM). Finalmente, durante los años 2017 a 2019, la composición del sedimento presentó mayor presencia de arenas muy finas (AMF) y fango (Fango).

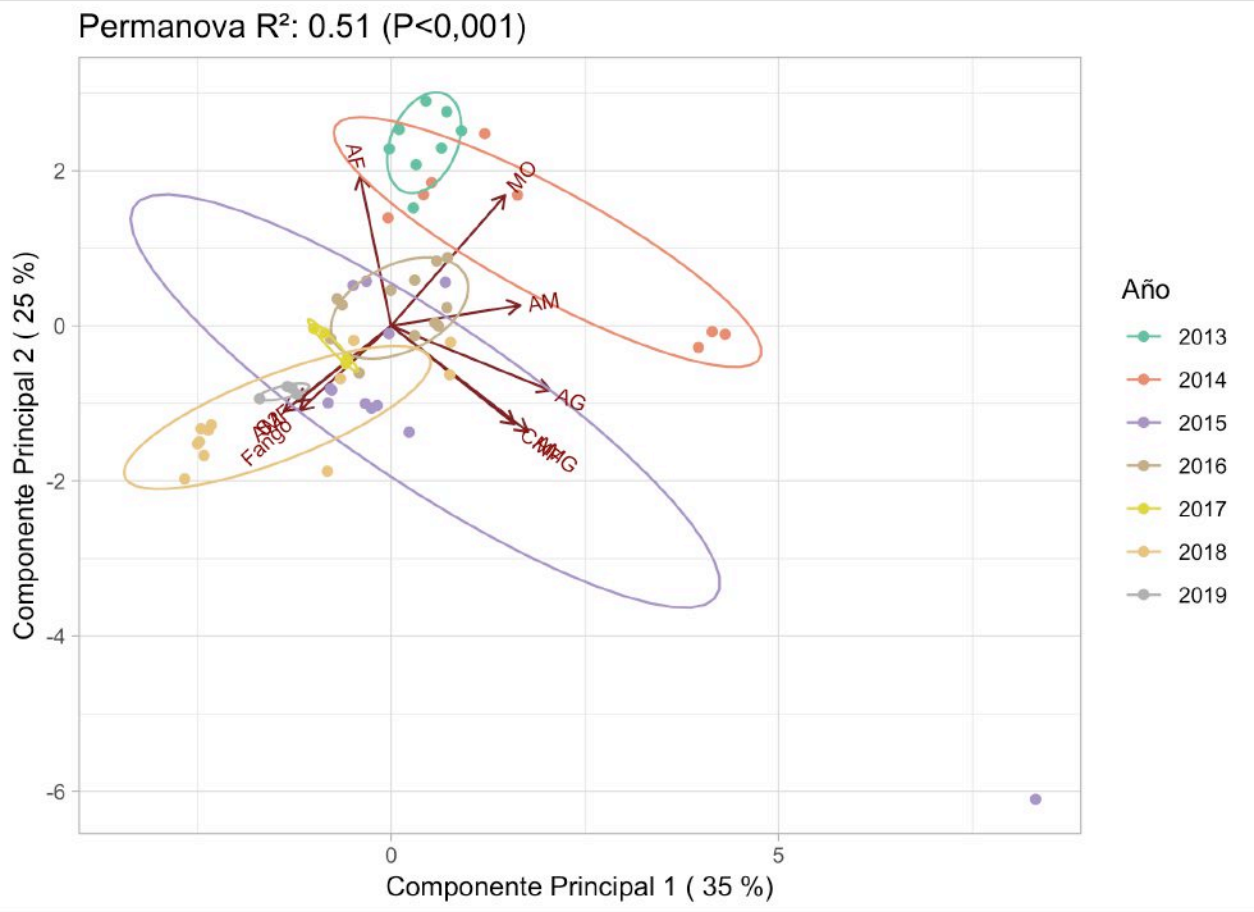


Figura 138. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.10.5.4 Comunidades

En la **Figura 139** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna intermareal. La riqueza presentó un patrón similar entre transectas, caracterizado con alta variabilidad entre estaciones de muestreo, fluctuando entre mínimos de 1 especie y máximos de 4 especies en la estación C7 (T1) y de 3 especies en las estaciones C6 y C8 (T2).

Por otro lado, el resultado del análisis de diversidad de Shannon muestra diversidades bajas, y altamente variables entre estaciones, con una tendencia similar entre transectas, donde las mayores diversidades fueron registradas en las estaciones C7 y C8 (H'>0,75) para la transecta 1, y en la estación C8 (H'=0,75) para la transecta 2.

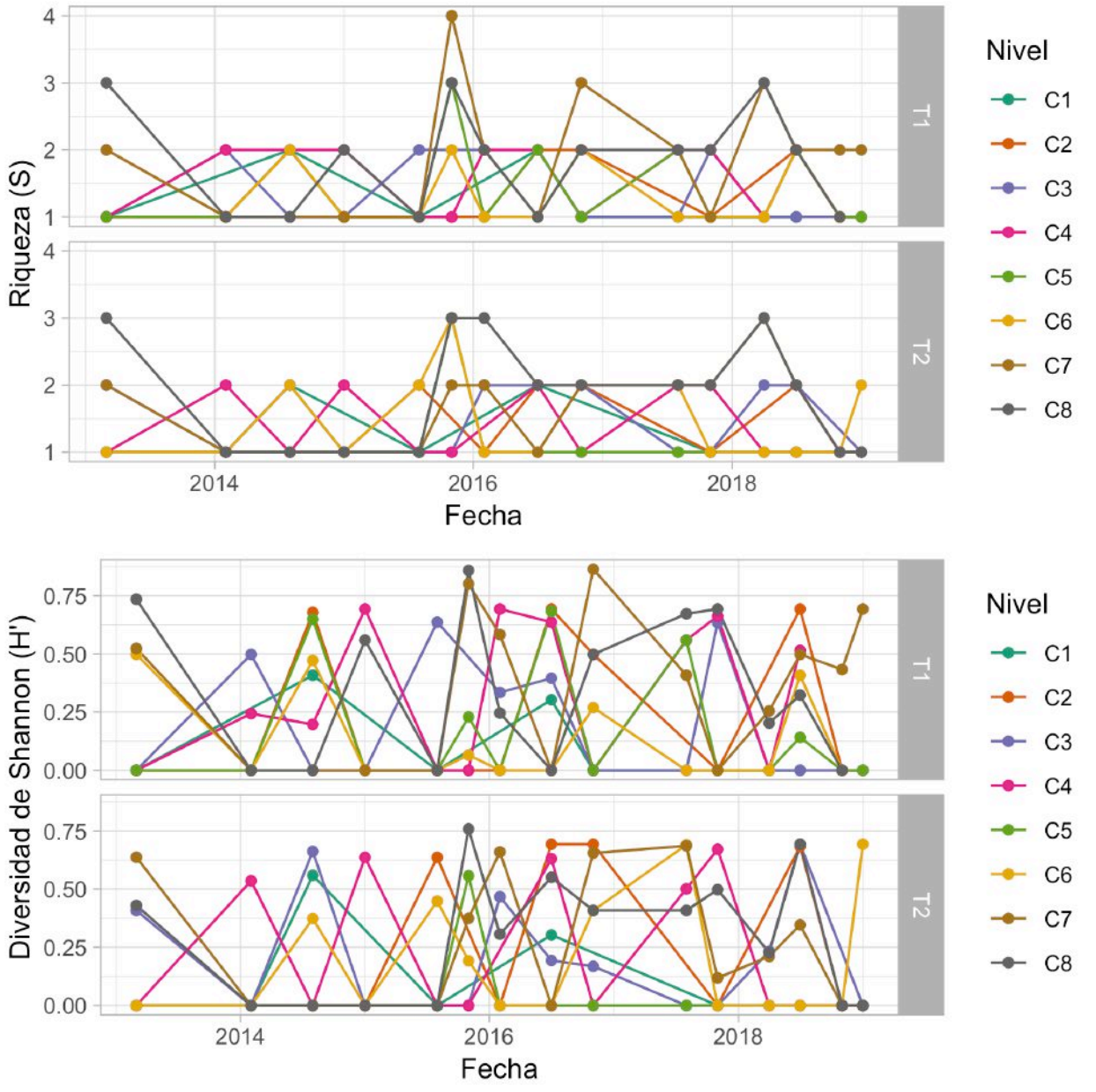


Figura 139. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación y transecta de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

El análisis NMDS efectuado para macrofauna intermareal (**Figura 140**), muestra la existencia de un patrón asociado a la diferenciación entre estaciones de muestreo. Las estaciones C1, C2 y C3 tienden a diferenciarse, debido a la mayor presencia de las especies *Excirolana hirsuticauda, Orchestoidea tuberculata, Phalerisida maculata;* las estaciones C4, C5 y C6 tienden a diferenciarse, debido a una mayor presencia de las especies *Exoediceropsis chiltoni, Monoculopsis valentini, Tharacophelia sp y Excirolana braziliensis.* Finalmente, las estaciones C7 y C8, tienen a segregarse dada la presencia de la especie *Emerita analoga.* Esto resultado corroboran que la estructura de las comunidades del intermareal obedece a un cambio en el patrón de las estaciones, más que a una diferenciación entre transectas de muestreo, resultado estadísticamente significativo (PERMANOVA R^2=0,33; P<0,001).

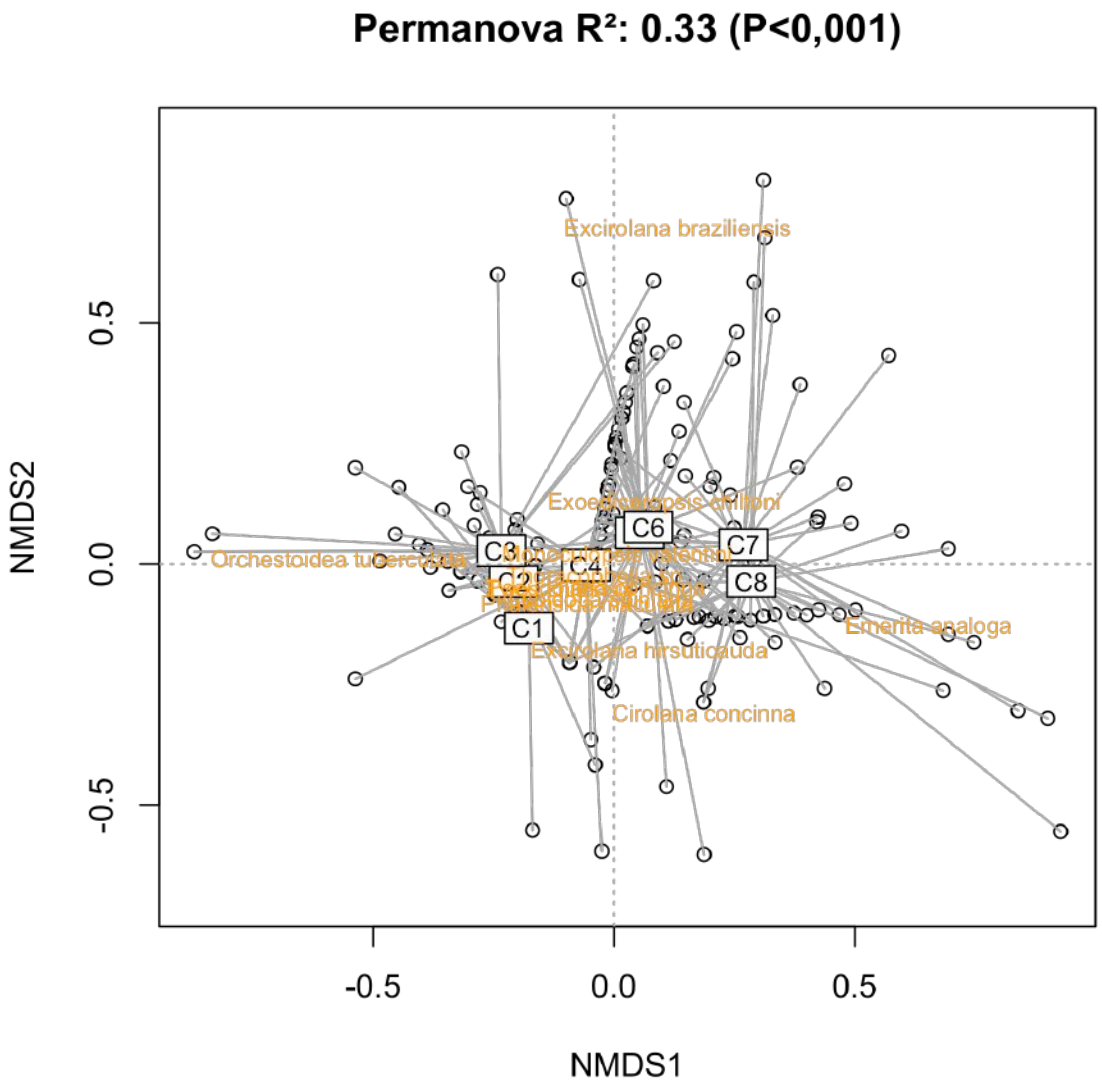


Figura 140. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal.

En la **Figura 141** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza (**Figura 141**, panel superior) presentó un patrón similar entre estaciones, registrando mínimos inferiores a 5 especies y máximos de 35 especies, en las estaciones B1 y B2. Por otro lado, el resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 141**, panel inferior) muestra diversidades moderadas, y variables entre estaciones, registrando mínimos en la estación B1 (H'=0,5) y máximos en las estaciones A y C (H'>2,5).

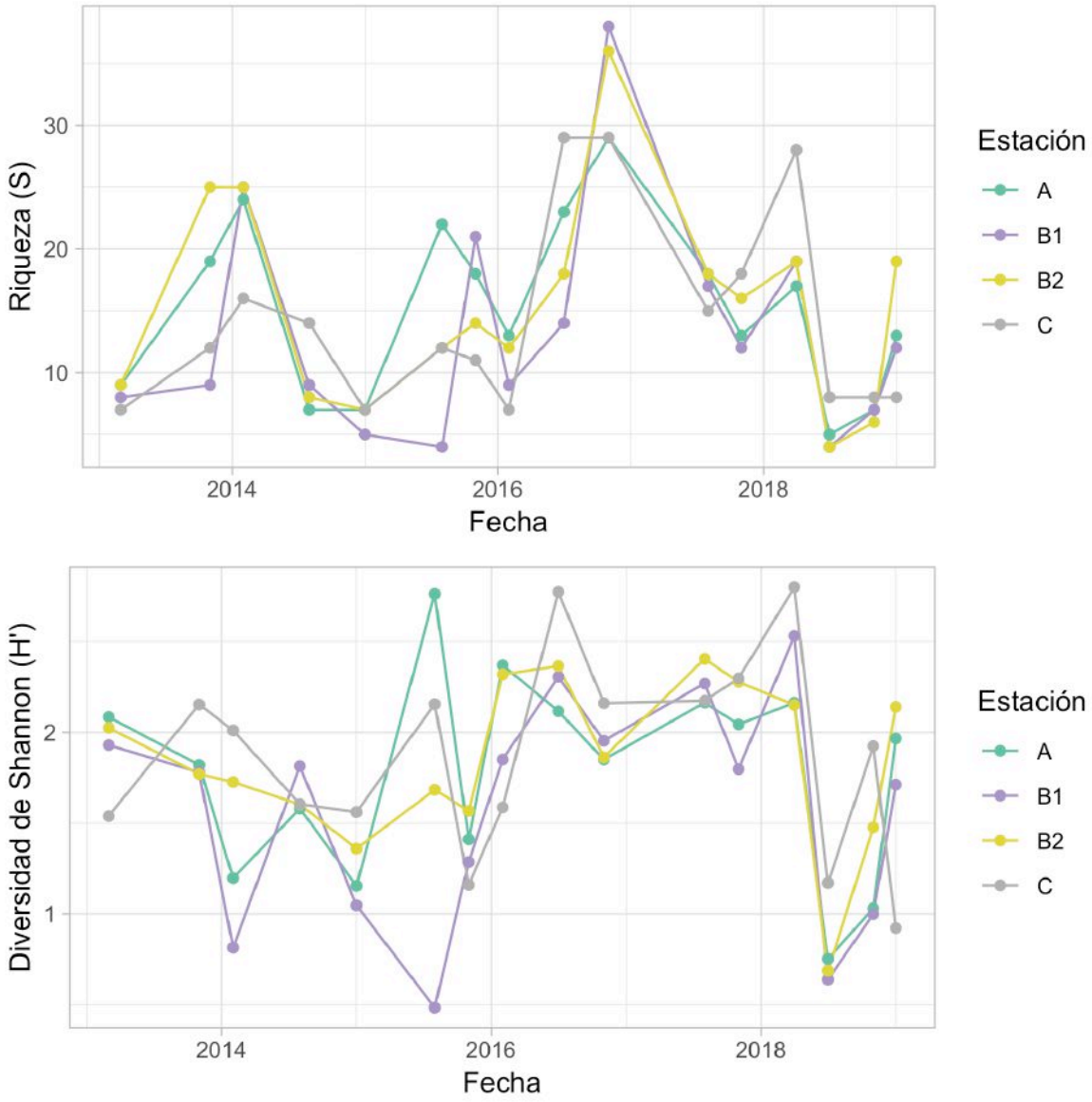


Figura 141. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

5.2.10.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para hidrografía, si bien, todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre estratos de profundidad, solamente para el oxígeno disuelto el estrato correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad en los datos, observándose en superficie mayores concentraciones de oxígeno que en las capas de fondo.

Diferencias entre años

Para hidrografía pH y sólidos disueltos mostraron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo este efecto el principal efecto que explica la variabilidad observada en los datos. En el caso del pH se observó alta variabilidad interanual con una tendencia ascendente hasta el año 2017, que luego cae a sus niveles más bajos durante el 2019. En el caso de los solidos disueltos, se observa una tendencia descendente hasta el año 2017, no obstante, en las ultimas campañas se observó un leve aumento en las concentraciones de este parámetro.

Para calidad de agua, todos los parámetros salvo capa fótica presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. Los parámetros transparencia y fenol presentaron tendencias descendentes hacia los últimos años de la serie analizada; mientras que los HAT presentan una tendencia ascendente a partir del año 2015.

Estacionalidad

Para hidrografía los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto, presentaron diferencias significativas entre épocas del año, de estos parámetros, sólo para temperatura la época del año fue el efecto que explicó mayormente la variabilidad de los datos, observándose mayores temperaturas durante el primer trimestre (verano), mientras que las temperaturas más bajas se observaron en el tercer trimestre (invierno).

Diferencias espaciales

Para los parámetros medidos en hidrografía, temperatura, oxígeno disuelto y solidos disueltos presentaron diferencias significativas entre estaciones de monitoreo. No obstante, las diferencias espaciales (entre estaciones de monitoreo) no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

En calidad de agua, sólo el parámetro capa fótica presentó diferencias significativas entre estaciones, pese a que todas las estaciones tanto de impacto y control se ubican en una zona muy costera y frente a la planta. Cabe destacar que las estaciones B2 y C que presentan las capas fóticas más profundas, son las más alejadas de la línea de costa (**Figura 122**).

5.2.11 ENAP Refinerías S.A.

5.2.11.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 142** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo de ENAP Refinerías S.A. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar 8 estaciones de monitoreo submareal, de las cuales 3 corresponde a puntos de control. Las 5 estaciones de impacto, se ubican cerca de la costa y próximos a los emisarios submarinos del sector. Sin embargo, el punto de control se ubica al norte de la bahía, y lejos del área de influencia directa de la planta.

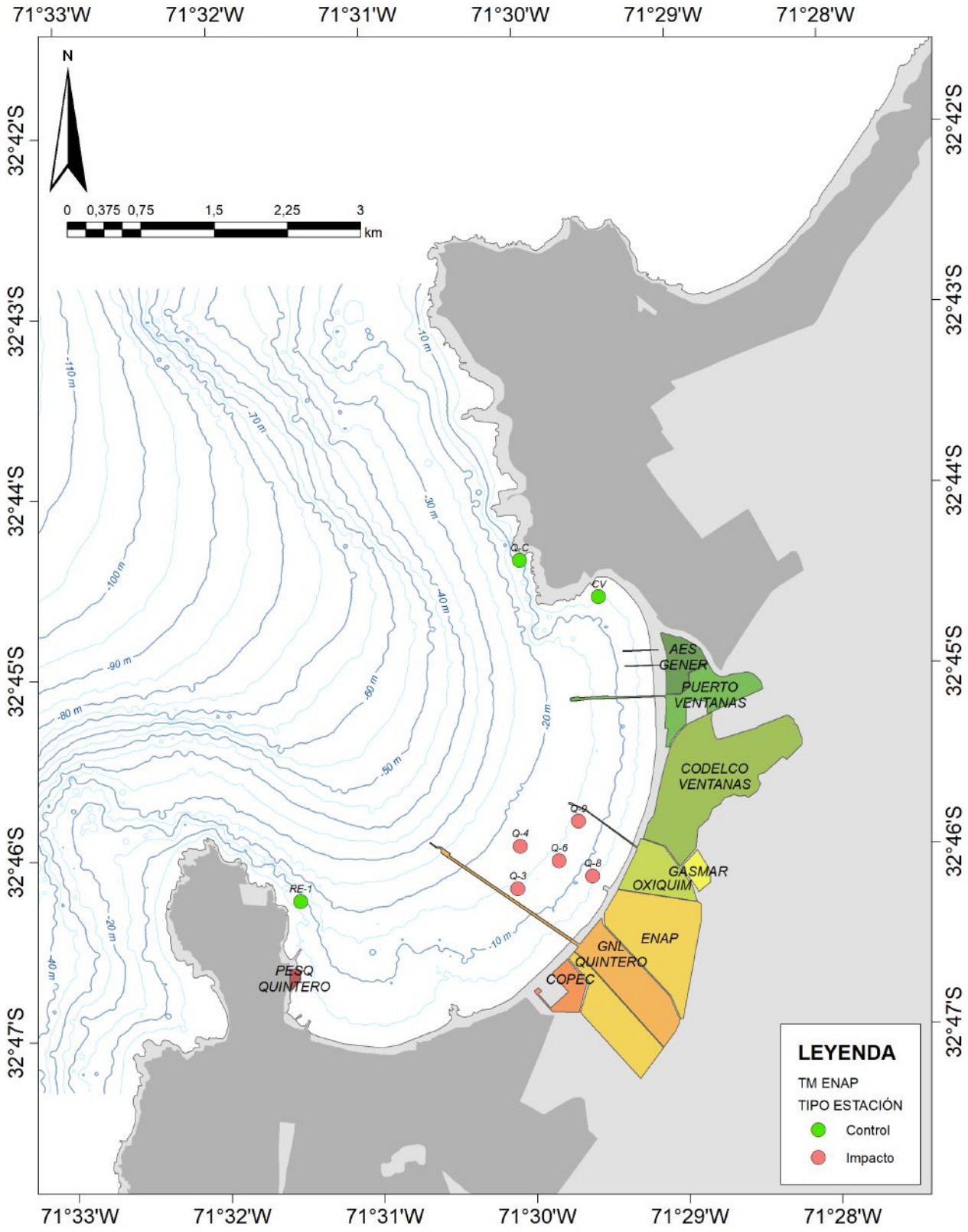


Figura 142. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF ENAP Refinerías S.A.

5.2.11.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, agua submareal, sedimento submareal, y macrofauna submareal (**Tabla 64**).

Tabla 64. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ ENAP Refinerías S.A.

ESTACIÓN	TIPO	Y	X	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA
Q-3	Impacto	6371428	265709	X	X	X	X
Q-4	Impacto	6371864	265737	X	X	X	X
Q-6	Impacto	6371717	266132	X	X	X	X
Q-8	Impacto	6371559	266475	X	X	X	X
Q-9	Impacto	6372120	266331	X	X	X	X
Q-C	Control	6374792	265728	X	X	X	X
RE-1	Control	6371296	263485	X	X	X	X
CV	Control	6374420	266537	X	X	X	X

5.2.11.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 65** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 6 variables a saber: oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH, salinidad, temperatura y transparencia. Sin embargo, los datos son informados por estratos (superficie, medio y fondo) lo cual no permite efectuar perfiles hidrográficos En calidad de agua los parámetros monitoreados corresponden a Coliformes fecales, aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, e hidrocarburos totales. En sedimentos submareales solamente se miden hidrocarburos aromáticos policíclicos e hidrocarburos totales, y la información referida a la granulometría, no se presenta en forma cuantitativa, lo cual no permitió efectuar análisis de la composición de los sedimentos. Finalmente, en comunidades del submareal se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón.

Tabla 65. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ ENAP Refinerías S.A.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Saturacion de oxígeno	%	Osat
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	pH	Unidad	pH
Hidrografía	Salinidad	‰	Sal
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	Transparencia	m	Transp
Calidad agua	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	NMP/100ml	ColFec
Calidad agua	Grasas y Aceites (mg/l)	mg/L	AyG
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/L	HAP
Calidad agua	Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT
Calidad sedimentos	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/kg	HAP
Calidad sedimentos	Hidrocarburos Totales	mg/kg	HCT
Calidad sedimentos	Tipo sedimento	Descriptivo	Tipo
Calidad sedimentos	Tamaño Promedio	mm	M
Calidad sedimentos	Desviación Estándar Inclusiva	s1	DEGI
Calidad sedimentos	Asimetría (SK1)	-	SK1
Calidad sedimentos	Curtosis (kg.)	kg	Curt
Macrofauna	Abundcia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B

5.2.11.4 Estadística descriptiva

5.2.11.4.1 Hidrografía

Se analizaron las variables temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y transparencia (**Tabla 66**). La temperatura osciló entre 10,68ºC y 17,70ºC, con una media de 14,35ºC, y un coeficiente de variación del 15%. El pH fluctuó entre 5,56 y 8,74 con una media de 8,07 y un coeficiente de variación del 4%. La salinidad osciló entre 33,1 PSU y 36,71 PSU, con una media de 34,71 PSU, y un coeficiente de variación del 2%. El oxígeno disuelto osciló entre 5,29 mg/L y 8,97 mg/L, con una media de 6,99 mg/L, y un coeficiente de variación del 12%. La saturación de oxígeno fluctuó entre 72,79% y 112,35%, con una media de 93,28% y un coeficiente de variación del 8%. Finalmente, la transparencia fluctuó 1,5 y 11,5 con una media de 5,72 y un coeficiente de variación del 37%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 66**).

Tabla 66. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	324	10,68	17,7	14,35	2,16	15%	0,87239	0,0000
pH	Unidad	306	5,56	8,74	8,07	0,29	4%	0,85906	0,0000
Sal	‰	324	33,1	36,71	34,71	0,79	2%	0,86595	0,0000
Odis	mg/L	324	5,29	8,97	6,99	0,82	12%	0,98043	0,0002
Osat	%	324	72,79	112,35	93,28	7,78	8%	0,98789	0,0083
Transp	m	110	1,5	11,5	5,72	2,13	37%	0,96279	0,0037

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.11.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 66**.

En las **Figuras 143 a 148** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2010 y 2018. La temperatura presentó tendencias similares entre estratos, destacando una alta variabilidad interanual en todas las estaciones de muestreo, con mínimos cercanos a 12ºC y máximos cercanos a 18ºC. El pH presentó tendencias similares entre estratos, fluctuando entre 7,5 y 8, destacando valores mínimos cercanos a 5 en la estación Q-9 en la capa de fondo. La salinidad también registró tendencias similares entre estratos, destacando máximos superiores a 36 PSU y mínimos bajo 34 PSU. El oxígeno disuelto fue altamente variable entre años, con tendencias similares entre estratos, destacando valores más bajos en el estrato de fondo. La saturación de oxígeno disuelto presentó valores máximos, superiores a 110% en la capa superficial y mínimos de 70% en el estrato de fondo. Finalmente, la transparencia presentó tendencias ascendentes y altamente variables entre estaciones, destacando mínimos inferiores a 3 m para todas las estaciones, durante el año 2010; y máximos de 10 m para la estación Q-C (año 2015).

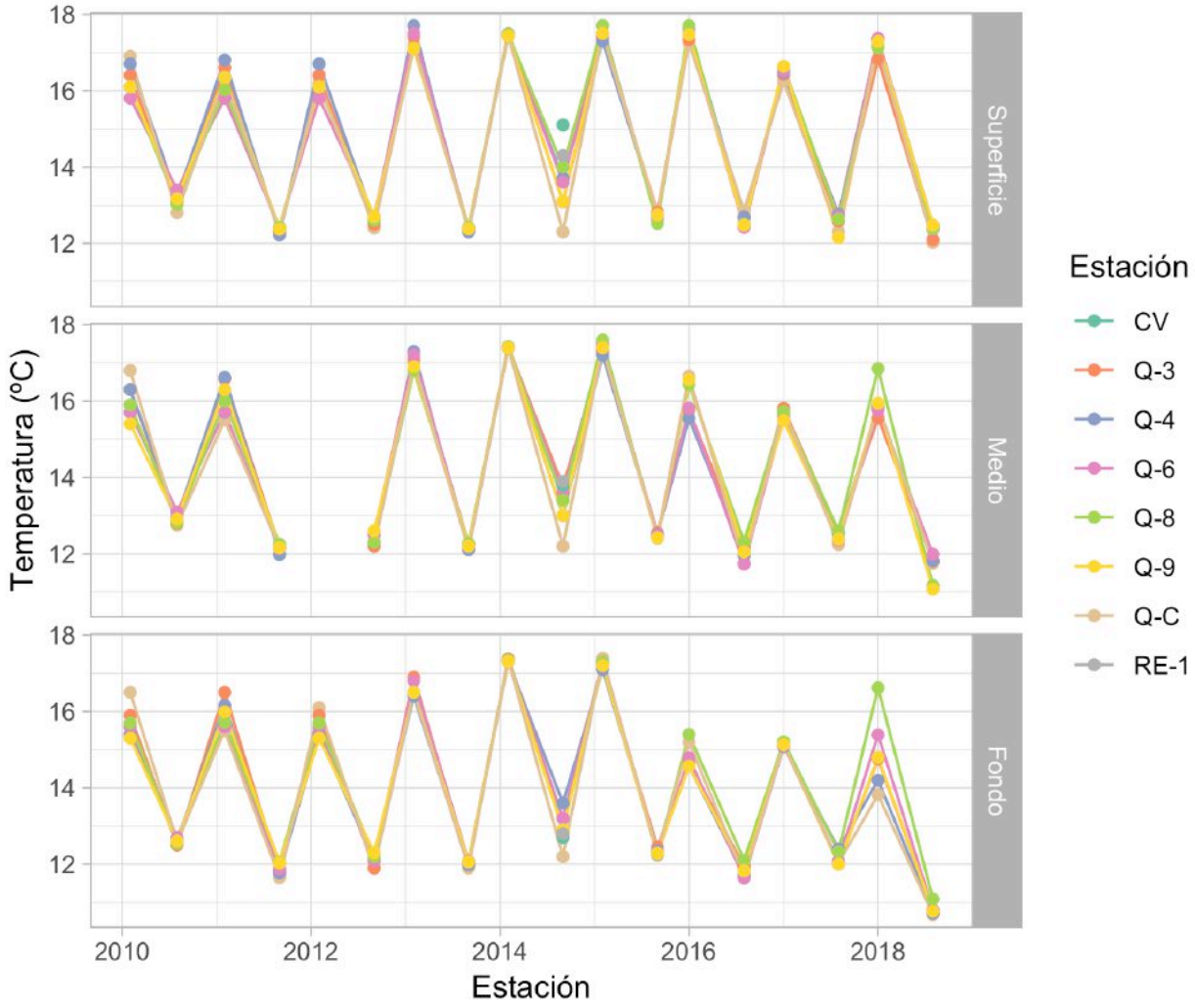


Figura 143. Niveles de temperatura (ºC) entre los años 2010 y 2018.

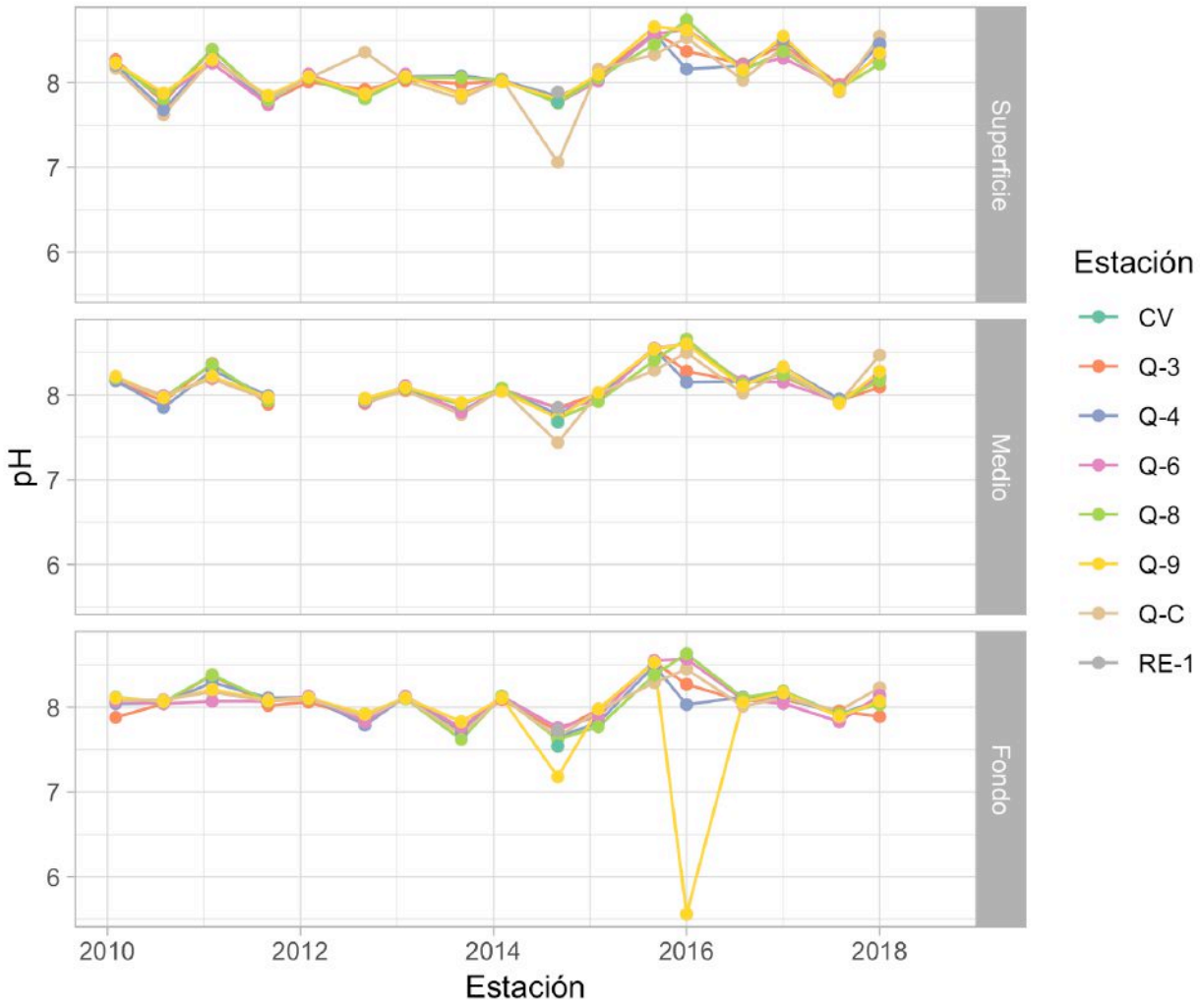


Figura 144. Niveles de pH entre los años 2010 y 2018.

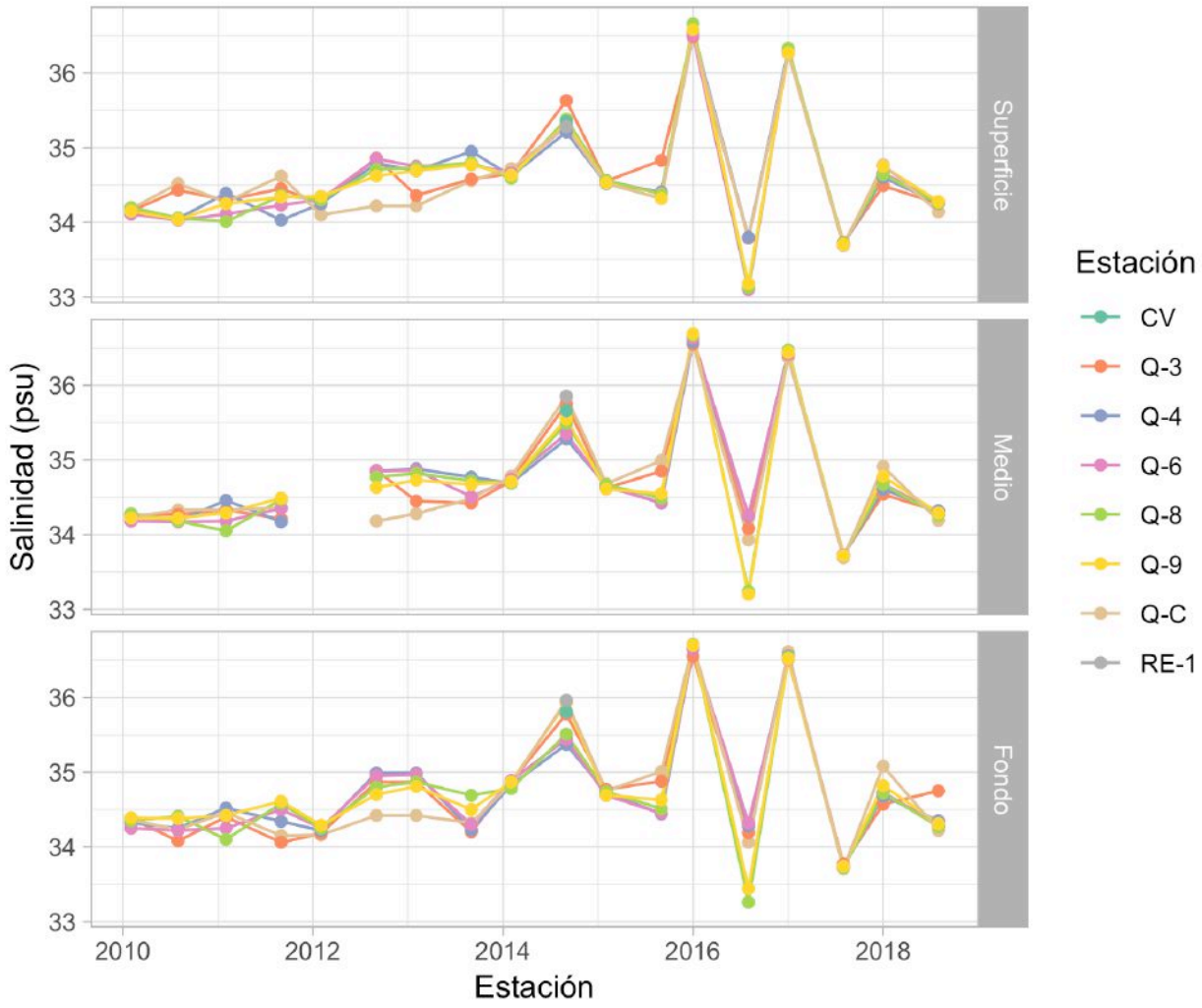


Figura 145. Niveles de salinidad (PSU) entre los años 2010 y 2018.

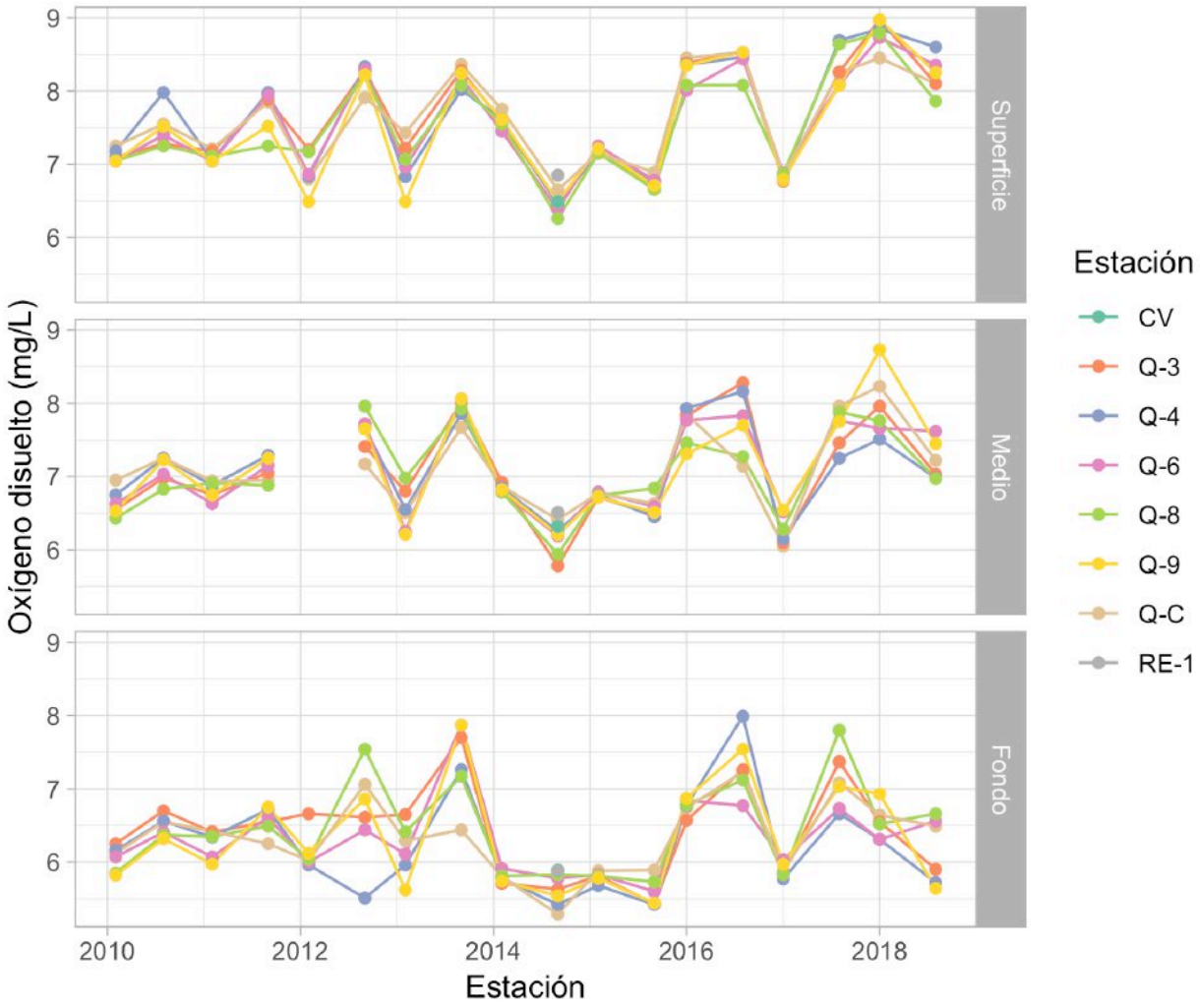


Figura 146. Niveles de oxígeno disuelto (mg/L) entre los años 2010 y 2018.

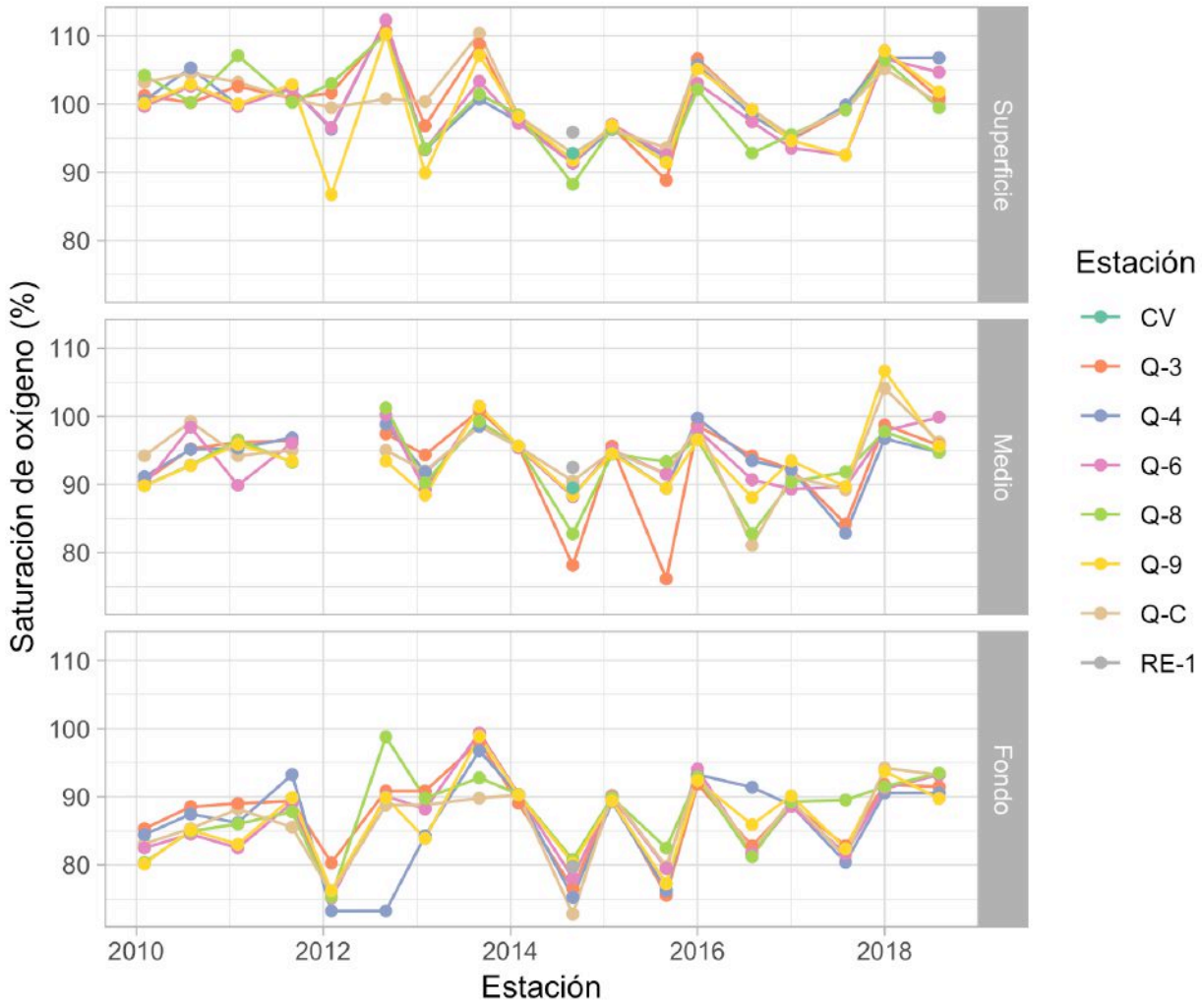


Figura 147. Niveles de saturación de oxígeno disuelto (%) entre los años 2010 y 2018.

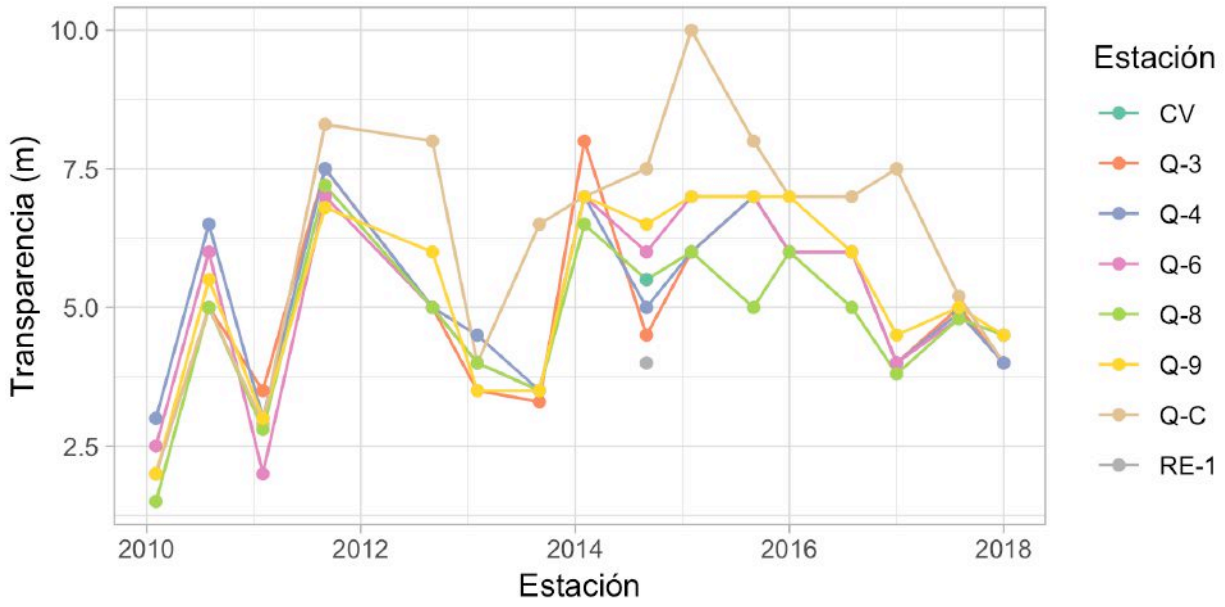


Figura 148. Niveles de transparencia (m) entre los años 2010 y 2018.

5.2.11.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de coliformes fecales (ColFec), aceites y grasas (AyG), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) e hidrocarburos totales (HCT) medidos en agua submareal (**Tabla 67**). Se observa que, a lo largo de la columna de agua, los registros de coliformes fecales fueron variables, con mínimos de 1,8 NMP/100ml y máximos de16.000 NMP/100ml, con una media de 119,57 NMP/100ml, y un coeficiente de variación de 1.139%. Los aceites y grasas oscilaron entre 1 y 5 mg/L, con una media de 1,22 mg/L y un coeficiente de variación de 75%. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentaron una alta variabilidad, con valores mínimos de 0,0002 mg/L y máximos de 0,024 mg/L, con una media de 0,002 mg/L, y un coeficiente de variación de 266%. Finalmente, los hidrocarburos totales fueron notoriamente variables, con mínimos de 0,01 mg/L y máximos de 5 mg/L, registrando una media de 1,15 mg/L y un coeficiente de variación de 177%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 67. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
ColFec([1])	NMP/100ml	138	1,8	16000	119,57	1361,73	1139%	0,06009	0,0000	78%
AyG	mg/L	330	1	5	1,22	0,91	75%	0,23678	0,0000	95%
HAP	mg/L	330	0,0002	0,024	0,002	0,00	266%	0,35641	0,0000	94%
HCT	mg/L	330	0,01	5	1,15	2,03	177%	0,54517	0,0000	98%

([1]) Media logarítmica = 102,23

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.11.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 67**.

En las **Figuras 149 a 152** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2010 y 2018. Para los coliformes fecales (**Figura 149**), se observa un patrón similar, principalmente en el estrato superficial, donde es posible observar que la tendencia se sobrepone entre estaciones, debido a que comparten el mismo valor, con niveles inferiores a 1,8 NMP/100ml, que corresponde al límite de detección, destacando un peak superior a 10.000 NMP/100ml para la estación Q-6. Por otro lado, se observan pocos registros para el estrato medio y de fondo, con niveles que fluctuaron entre 7,8 y <1,8 NMP/100ml. Para los aceites y grasas (**Figura 150**), se observó una tendencia similar en todas las estaciones de muestreo, con valores de 1 mg/L, excepto para la campaña de 2018, con valores de 5 mg/L, todas concentraciones asociadas al cambio en los límites de detección de este parámetro. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 151**) también presentaron tendencias similares en la mayoría de las estaciones y estratos de profundidad, fluctuando entre 0,0002 y 0,006 mg/L, excepto durante la campaña de 2010, que registró valores máximos de 0,024 mg/L, asociado a cambios en los límites de detección de este parámetro. Finalmente, para hidrocarburos totales (**Figura 152**), se observa un patrón similar que fluctuó entre 0,01 y 0,02 mg/L hasta el muestreo de 2015. A partir de la campaña de 2016, se observa un aumento en la tendencia con máximos de 5 mg/L entre los años 2017 y 2018.

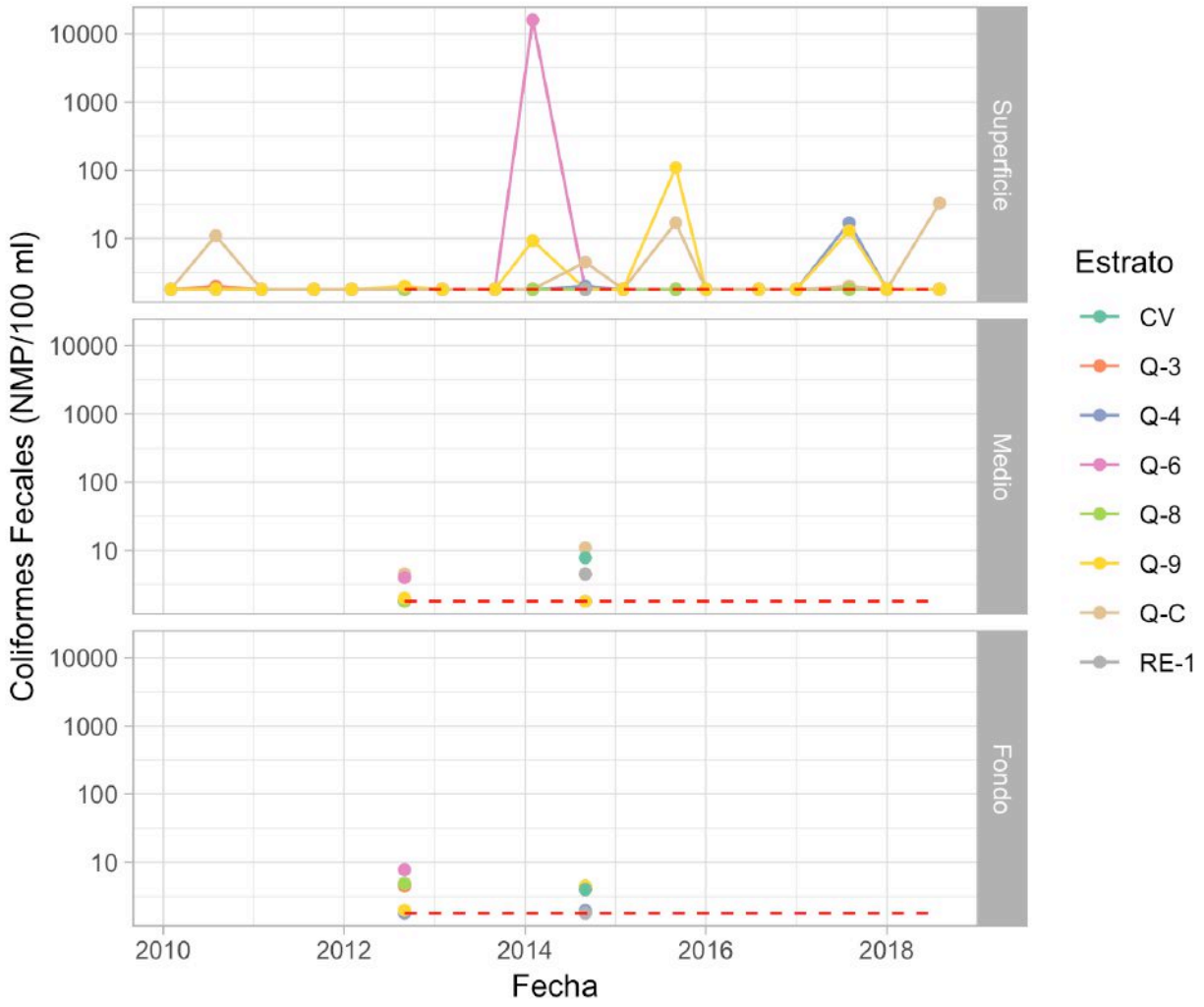


Figura 149. Coliformes fecales (NMP/100 ml), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

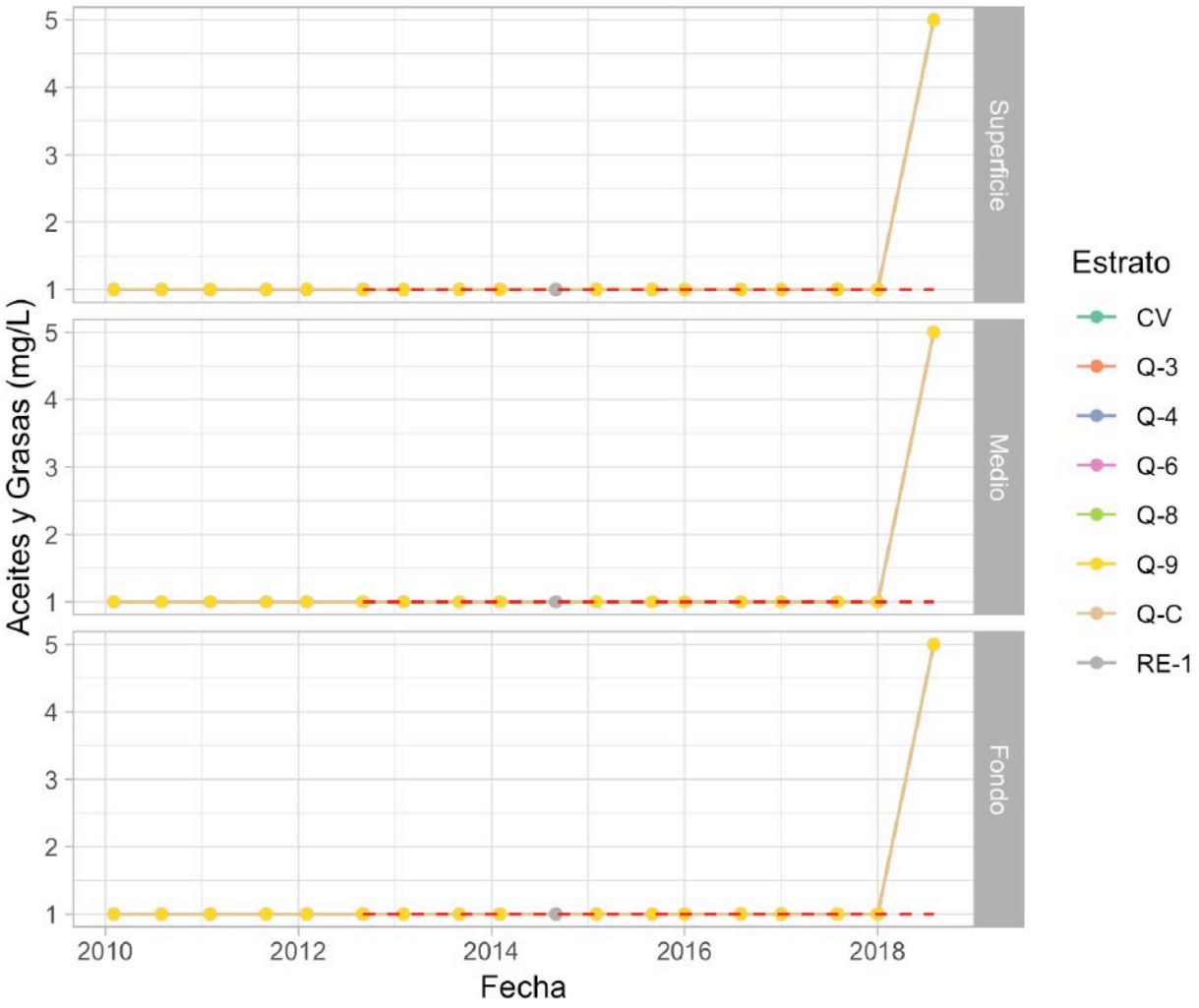


Figura 150. Aceites y grasas (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

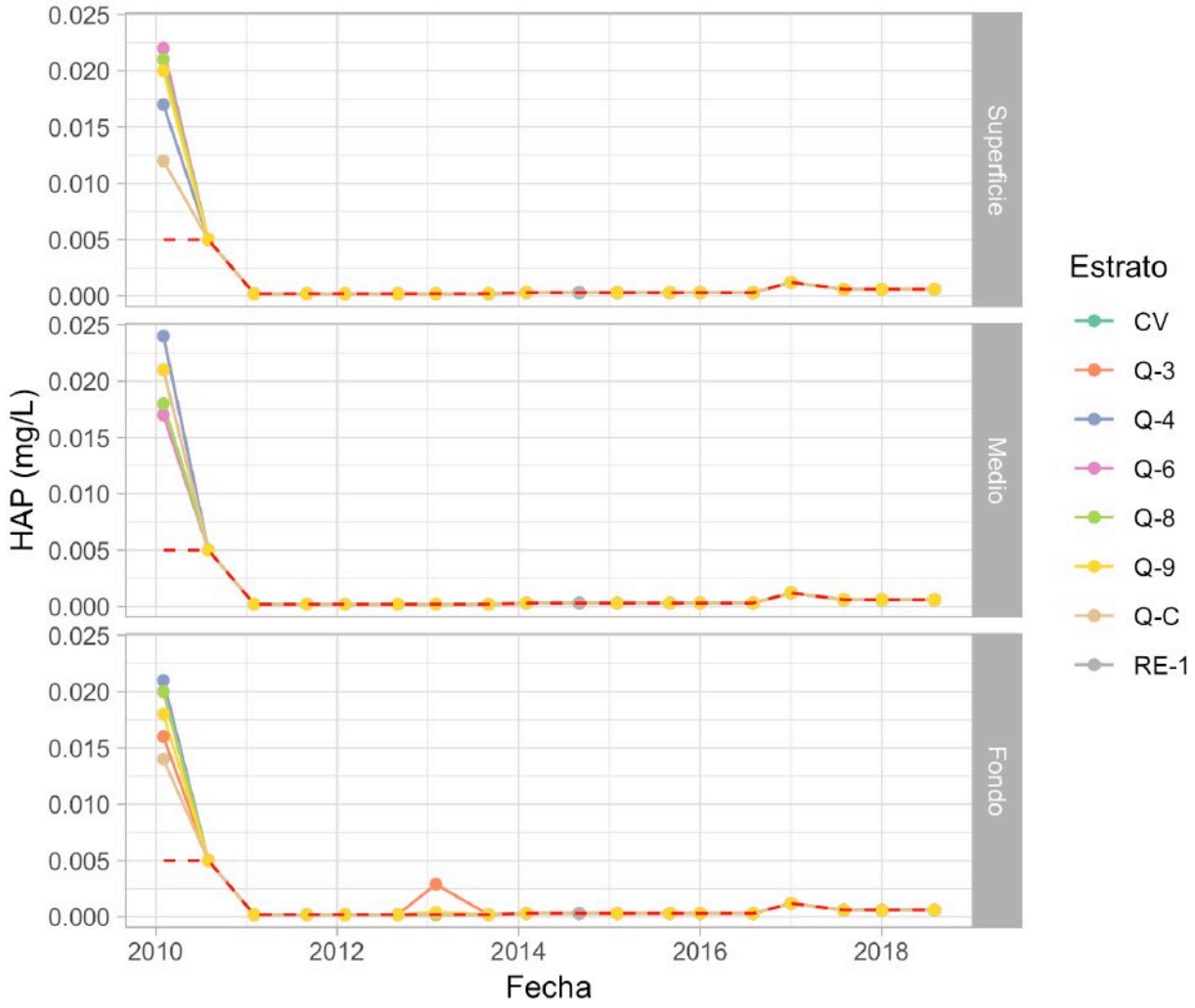


Figura 151. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

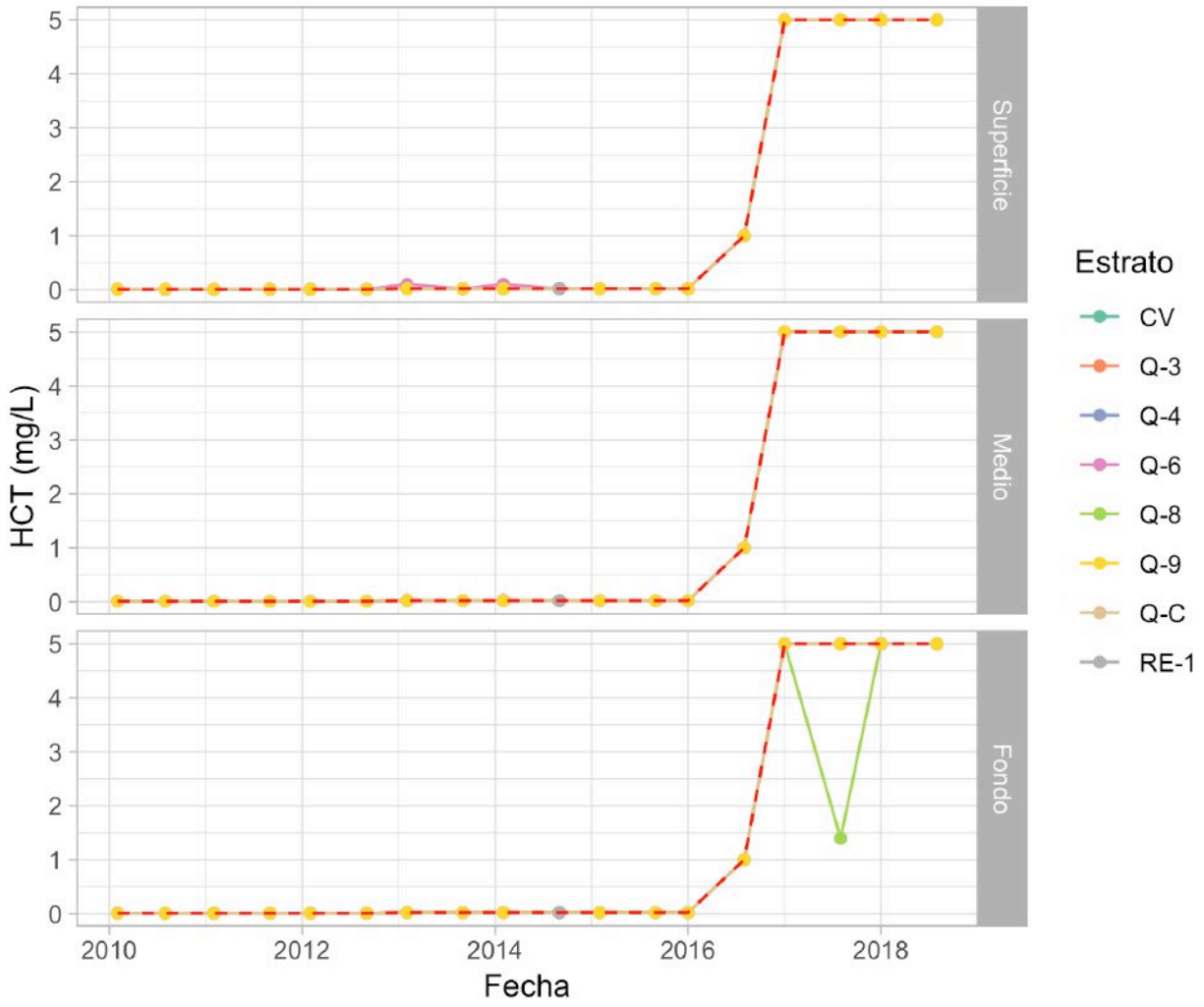


Figura 152. Hidrocarburos totales (mg/L), para los estratos superficie, medio y fondo, entre los años 2010 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.11.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos totales (HCT) y tamaño promedio de grano (M), medidos en sedimentos submareales (**Tabla 68**). Los registros de hidrocarburos aromáticos policíclicos fueron altamente variables, con mínimos de 0,005 mg/kg y máximos de1,0409 mg/kg, con una media de 0,05 mg/kg, y un coeficiente de variación de 231%. Los hidrocarburos totales también presentaron una alta variabilidad, con niveles que fluctuaron entre mínimos de 0,021 mg/kg y máximos de 409 mg/kg, con una media de 13,54 mg/kg y un coeficiente de variación del 350%. Finalmente, el tamaño promedio de grano osciló entre 0 y 0,084 mm, con una media de 0,03 mm y un coeficiente de variación del 64%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 68. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
HAP	mg/kg	108	0,005	1,0409	0,05	0,11	231%	0,31198	0,0000	69%
HCT	mg/kg	84	0,021	409	13,54	47,33	350%	0,25464	0,0000	94%
M	mm	68	0	0,084	0,03	0,02	64%	0,94784	0,0065	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.11.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 68**.

En las **Figuras 153 a 155** se entrega la composición de los sedimentos submareales para cada una de las estaciones analizadas. Se observa que, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 153**) presentaron una alta variabilidad, durante los años 2010 y 2014, con niveles que fluctuaron entre máximos de 1 mg/kg (estación Q-C) y mínimos de 0,005 mg/kg (estación Q-9). Comparativamente, durante los años 2016 a 2018 los niveles de HAP presentaron una menor variabilidad, destacando una tendencia ascendente en los últimos dos años de muestreo. Los hidrocarburos totales (**Figura 154**) también presentaron una alta variabilidad, con mínimos de 0,021 mg/kg (estación Q-9), durante los años 2014 a 2016, y máximos de 409 mg/kg (estación Q-4), durante el año 2017. Finalmente, el tamaño promedio de grano presentó tendencias altamente variables entre estaciones, destacando máximos superiores a 0,08 mm en la estación control CV (**Figura 155**).

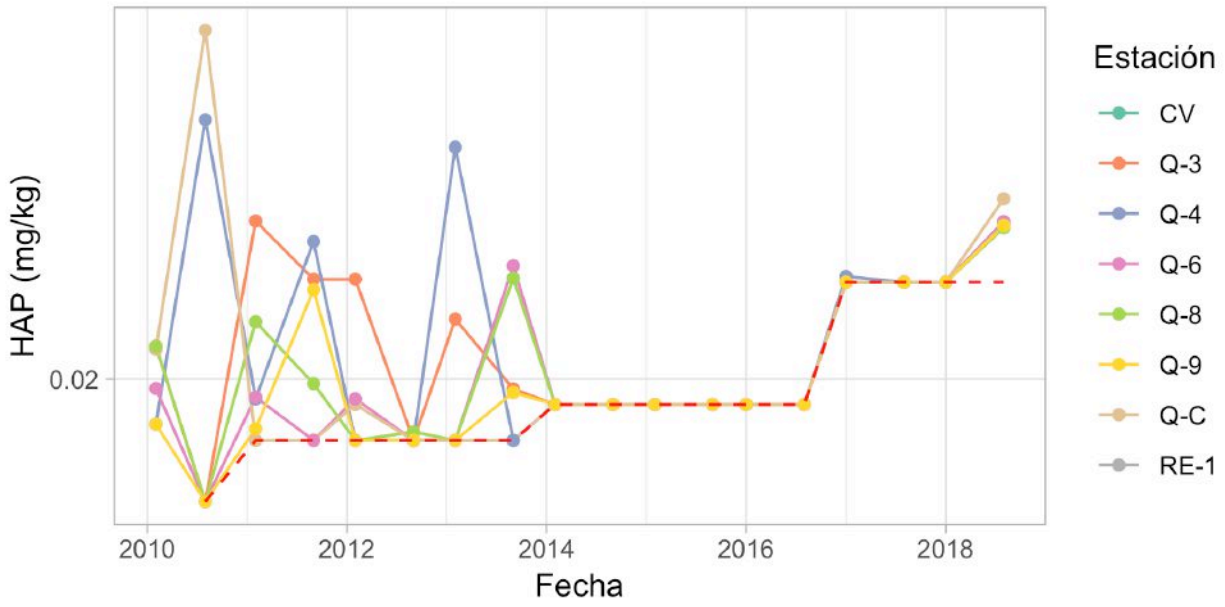


Figura 153. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018.

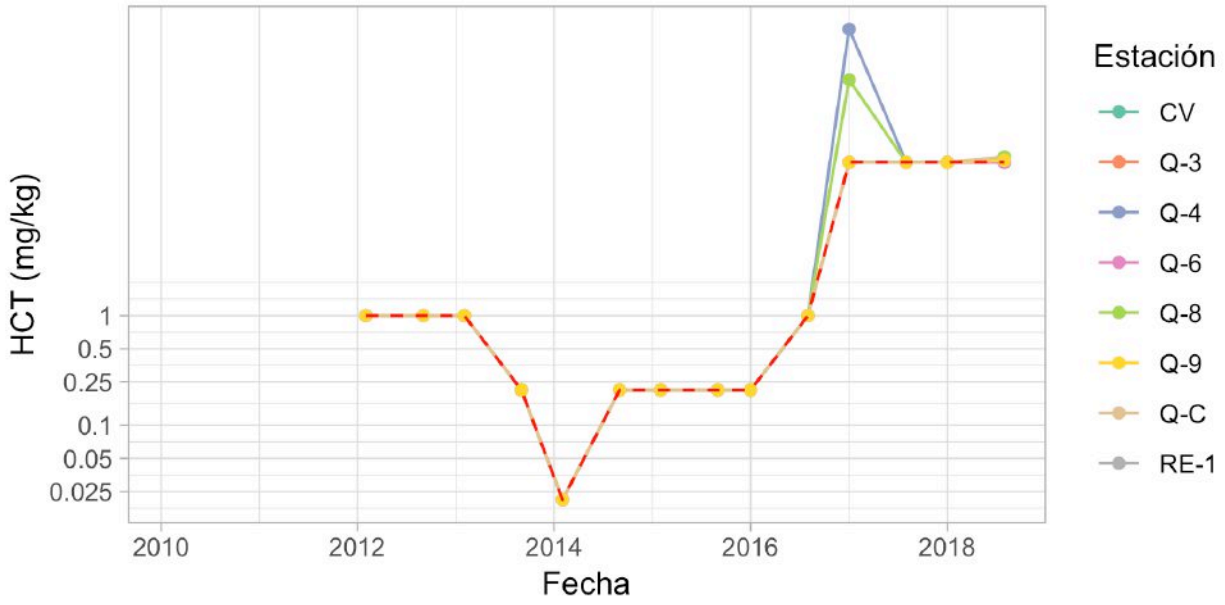


Figura 154. Niveles de hidrocarburos totales (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018.

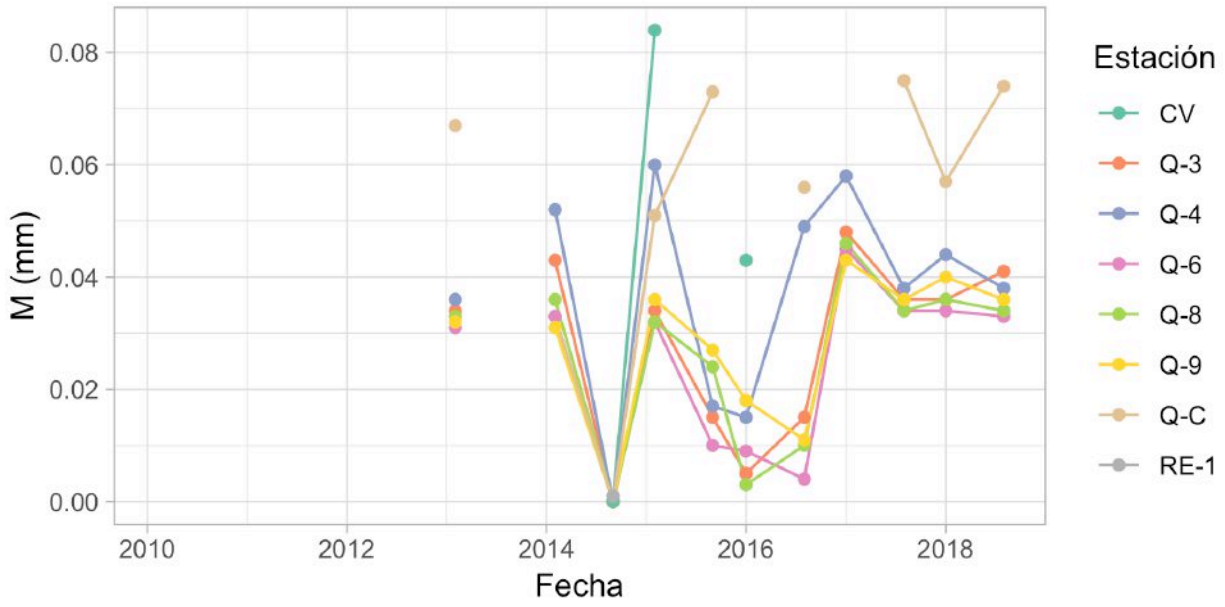


Figura 155. Niveles de tamaño promedio de grano (mm) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2010 a 2018.

5.2.11.4.4 Comunidades

Se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal (**Tabla 69**). La abundancia osciló entre 0,002 y 2.055 ind/m^2; con una media de 43,15 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0 y 147,216 g/m^2, con una media de 0,48 g/m^2.

Cabe destacar que, tanto la abundancia como la biomasa presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 300%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 69. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	969	0,002	2055	43,15	139,71	324%	0,2527	0,0000
submareal	Biomasa	g/m2	968	0,000	147,216	0,48	5,16	1072%	0,0562	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.11.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 68**.

Para el caso de bentos submareal, la revisión de las bases de datos arrojó la presencia de problemas graves en términos de identificación taxonómica, al igual que lo observado en la Unidad 3 y 4 de Termoeléctrica Ventanas. Por este motivo, en el análisis que se presenta en este informe no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica para bentos submareal, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.11.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.11.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 70** se entrega un análisis GLM, para las variables temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre).

La mayoría de las variables presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación Estrato, Año y Trimestre, exceptuando el efecto Estrato para la salinidad y el efecto Trimestre para la saturación de oxígeno. Para el caso de la temperatura, el Trimestre corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=87,87%), mientras que para las variables pH, salinidad y saturación de oxígeno disuelto, el efecto Año presentó mayor porcentaje de devianza explicada (DE=17,2917,79% y 11,95%, respectivamente). Para el oxígeno disuelto, el Estrato fue el efecto que presentó un mayor porcentaje de devianza explicada (DE= 38,96%).

Tabla 70. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, en agua entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			323		104,4229		
Temp	Estación	7	316	0,2213	104,2016	0,0521	0,21
	Estrato	2	314	2,5159	101,6858	0,0000	2,41
	Año	8	306	5,0774	96,6084	0,0000	4,86
	Trimestre	1	305	91,7616	4,8468	0,0000	**87,87**
			305		3,1787		
pH	Estación	7	298	0,0965	3,0821	0,0660	3,04
	Estrato	2	296	0,0525	3,0296	0,0271	1,65
	Año	8	288	0,5498	2,4798	0,0000	**17,3**
	Trimestre	1	287	0,2781	2,2017	0,0000	8,75
			323		5,7331		
Sal	Estación	7	316	0,1583	5,5747	0,0786	2,76
	Estrato	2	314	0,0341	5,5407	0,2539	0,59
	Año	8	306	1,0198	4,5208	0,0000	**17,79**
	Trimestre	1	305	0,7276	3,7932	0,0000	12,69
			323		31,2492		
Odis	Estación	7	316	0,4272	30,8220	0,0627	1,37
	Estrato	2	314	12,1760	18,6460	0,0000	**38,96**
	Año	8	306	7,6746	10,9715	0,0000	24,56
	Trimestre	1	305	1,2596	9,7119	0,0000	4,03
			323		211,6549		
Osat	Estación	7	316	1,8100	209,8449	0,4605	0,86
	Estrato	2	314	100,7496	109,0952	0,0000	47,6
	Año	8	306	25,2895	83,8057	0,0000	**11,95**
	Trimestre	1	305	0,7270	83,0786	0,1008	0,34

Un análisis para la principal fuente de variación en cada una de las variables hidrográficas (**Figura 156**), indica que, para el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno disuelto, los mayores niveles promedio fueron observados en superficie, mientras que los menores niveles fueron observados en la capa de fondo. El pH fluctuó entre 7,9 y 8,2, registrando niveles máximos en el año 2015 y mínimos en el año 2014. Para la salinidad, se observaron variaciones entre años, siendo los años 2014 y 2016 los que presentaron en promedio mayores salinidades (36 PSU), mientras que, en el año 2010 las salinidades promedio fueron menores en torno a 35 PSU. La temperatura, el

trimestre 1 (enero-marzo) presentó las mayores temperaturas promedio, con valores cercanos a 18ºC, mientras que el trimestre 3 (julio-septiembre) presentó las temperaturas promedio más bajas en torno a 13,5ºC. Finalmente, la transparencia presentó una alta variabilidad entre años, registrando los niveles más altos en 2012 y los más bajos en 2013. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 9a.**

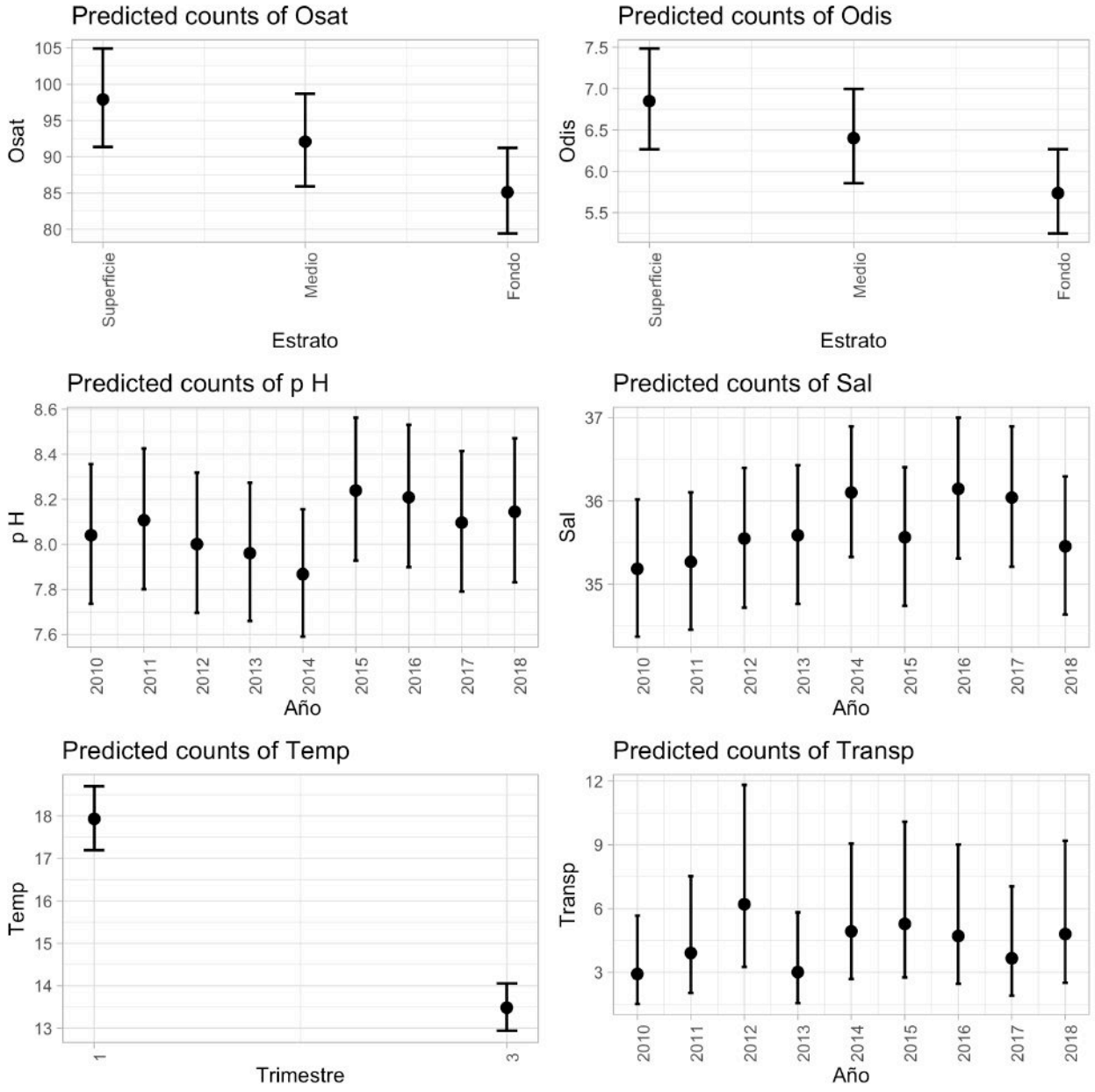


Figura 156. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Variables hidrográficas.

5.2.11.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 71** se entrega un análisis GLM, para los parámetros coliformes fecales (ColFec), ácidos y grasas (AyG), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos totales (HCT), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La mayoría de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando los coliformes fecales, donde no se encontraron diferencias significativas para ninguna fuente de variación. En a mayoría de los casos, el Año corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=59,81%, 88,03% y 96,2% respectivamente, exceptuando los coliformes fecales, donde el efecto Estación presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=33,74%).

Tabla 71. Resultados de MLG para los parámetros coliformes fecales (ColFec), ácidos y grasas (AyG), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) e hidrocarburos totales (HCT), en agua de mar, entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			137		154045,70		
ColFec	Estación	7	130	55052,60	98993,10	0,8461	**35,74**
	Año	8	122	51360,82	47632,28	0,9234	33,34
	Trimestre	1	121	40812,28	6820,00	0,1126	26,49
			329		131,0218		
AyG	Estación	7	322	0,2542	130,7676	0,9477	0,19
	Año	8	314	78,3691	52,3986	0,0000	**59,81**
	Trimestre	1	313	13,1640	39,2346	0,0000	10,05
			329		1,6213		
HAP	Estación	7	322	0,0123	1,6090	0,0000	0,76
	Año	8	314	1,4273	0,1817	0,0000	**88,03**
	Trimestre	1	313	0,1398	0,0419	0,0000	8,62
			329		1007,9327		
HCT	Estación	7	322	12,8006	995,1322	0,0000	1,27
	Año	8	314	969,6486	25,4836	0,0000	**96,2**
	Trimestre	1	313	0,5067	24,9770	0,0043	0,05

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 157**), indica para coliformes fecales presentaron valores similares entre estaciones, excepto durante en la estación Q-6, donde se registran los mayores niveles con una alta variabilidad. Para los

aceites y grasas se mantuvieron constantes en la mayoría las campañas de muestreo, excepto durante el año 2018, con niveles promedio en torno a 2 mg/L. Los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos se mantuvieron relativamente contantes a lo largo de todas las campañas de muestreo, excepto durante el año 2010, donde se registraron niveles máximos. Finalmente, los hidrocarburos totales, se registraron niveles similares entre los años 2010 y 2016, para luego aumentar a niveles promedio máximos, durante los años 2017 y 2018. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 9b.**

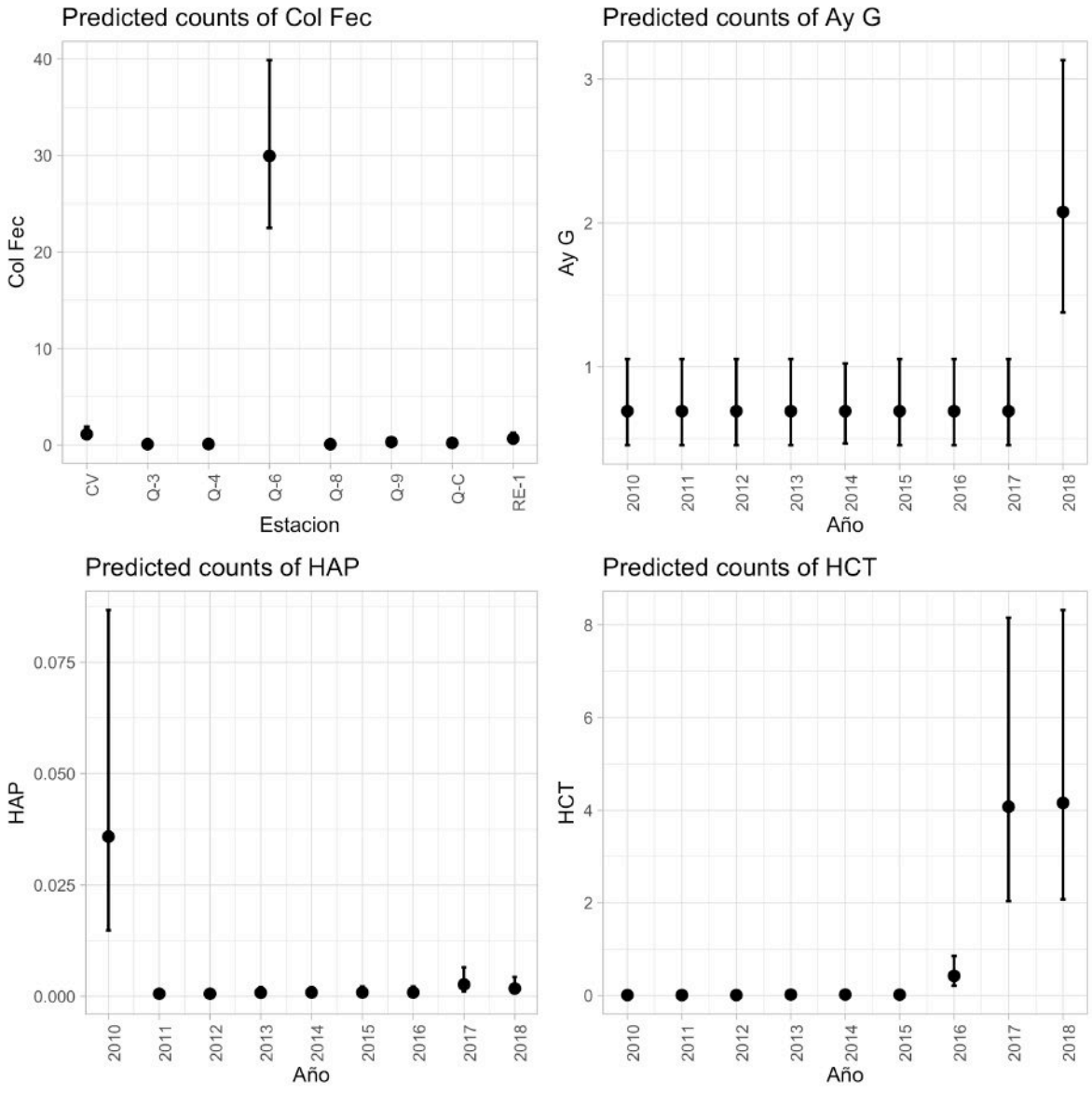


Figura 157. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.11.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Tabla 72** se entrega un análisis GLM, para los parámetros hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos totales (HCT) y el tamaño promedio de grano (M), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentaron diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas y en todos los casos, el Año corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=33,85%, 69,42% y 26,81% respectivamente.

Tabla 72. Resultados de MLG para los parámetros hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos totales y tamaño promedio de grano, en sedimento submareal, entre 2010 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			107		9,0342		
HAP	Estación	5	102	1,0030	8,0312	0,0049	11,1
	Año	8	94	3,0585	4,9727	0,0000	**33,85**
	Trimestre	1	93	0,4390	4,5337	0,0067	4,86
			83		3.967,0954		
HCT	Estación	5	78	509,2885	3.457,8069	0,0000	12,84
	Año	6	72	2.754,0414	703,7655	0,0000	**69,42**
	Trimestre	1	71	219,8829	483,8825	0,0000	5,54
			67		1,1017		
M	Estación	7	60	0,2320	0,8697	0,0002	21,06
	Año	5	55	0,2954	0,5743	0,0000	**26,81**
	Trimestre	1	54	0,0690	0,5053	0,0037	6,26

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de sedimentos submareales (**Figura 158**), indica que en hidrocarburos aromáticos policíclicos se observa una alta variabilidad entre años, con niveles máximos en los años 2010 y 2018 y mínimos en los años 2013, 2014, 2015 y 2016. Para los hidrocarburos totales, los niveles se mantuvieron relativamente constantes, esto debido a que la mayoría de los datos se encontraron bajo los límites de detección, exceptuando los años 2017 y 2018 cuyos niveles promedio son más altos. Finalmente, el tamaño promedio de grano presentó una alta variabilidad entre años, con niveles mínimos en los años 2014 y 2016 y máximos en el año 2017. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 9c.**

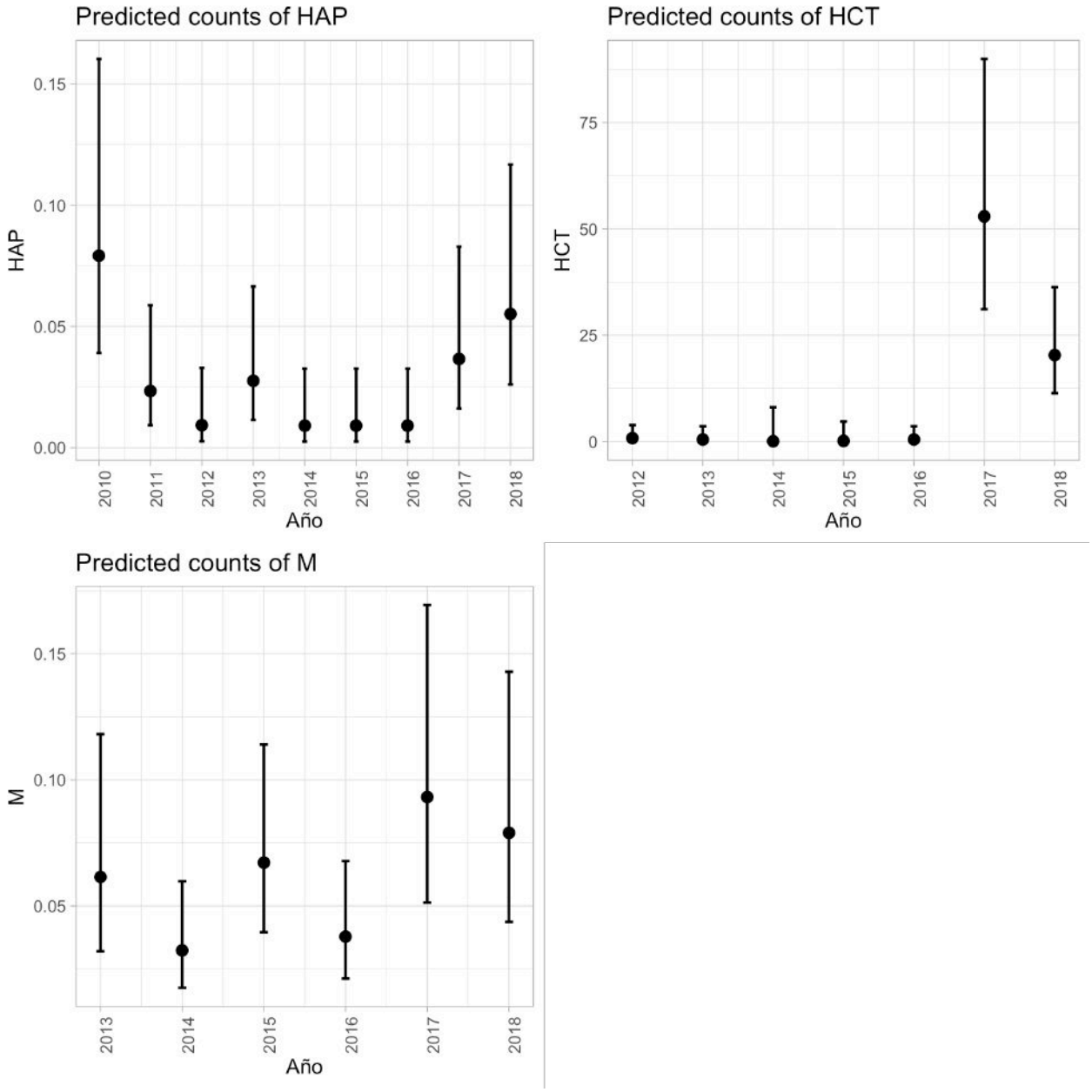


Figura 158. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de sedimentos submareales.

En la **Figura 159** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en los distintos años de muestreo.

El análisis arrojó diferencias significativas en la composición de sedimento entre años (PERMANOVA R^2=0,34; P<0,001), donde se observa una homogeneidad en la composición de

los sedimentos, con mayor dominancia de hidrocarburos aromáticos policíclicos, excepto para el año 2017, con mayor dominancia de hidrocarburos totales.

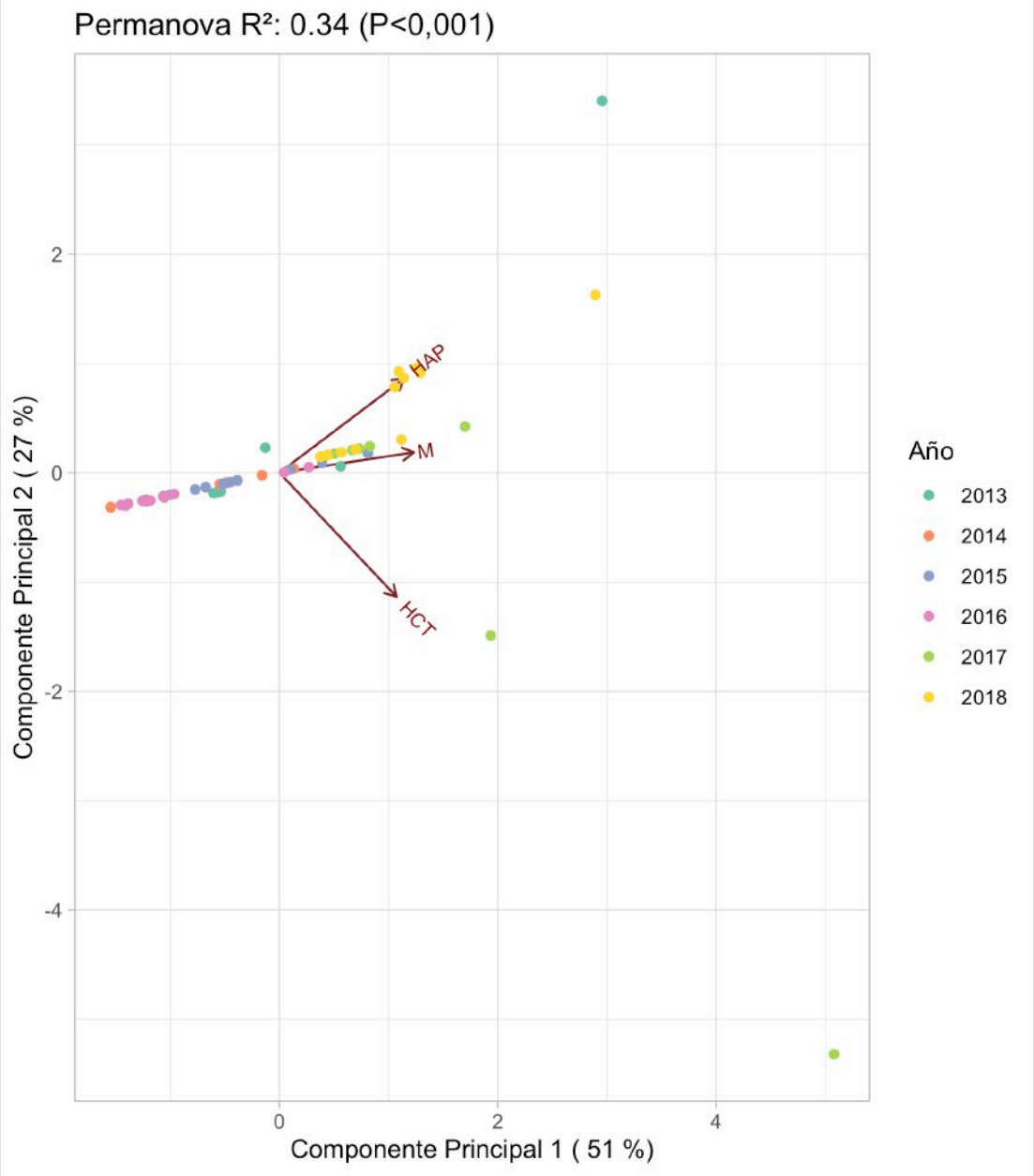


Figura 159. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.11.5.4 Comunidades

En la **Figura 160** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada para cada una de las estaciones de muestreo, durante los años 2012 a 2018 (**Figura 160**, panel superior) osciló entre 1 y 26 especies, siendo la estación Q-9 la que presentó una mayor riqueza (S=26). Por otro lado, el resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 160**, panel inferior) muestra que las estaciones de muestreo presentaron diversidades moderadas, y altamente variables fluctuando entre 0 y 3. En general, para la mayoría de las estaciones de muestreo, tanto la riqueza, como la diversidad presentaron una tendencia ascendente hasta el año 2017, para luego registrar una tendencia descendente hasta el año 2018.

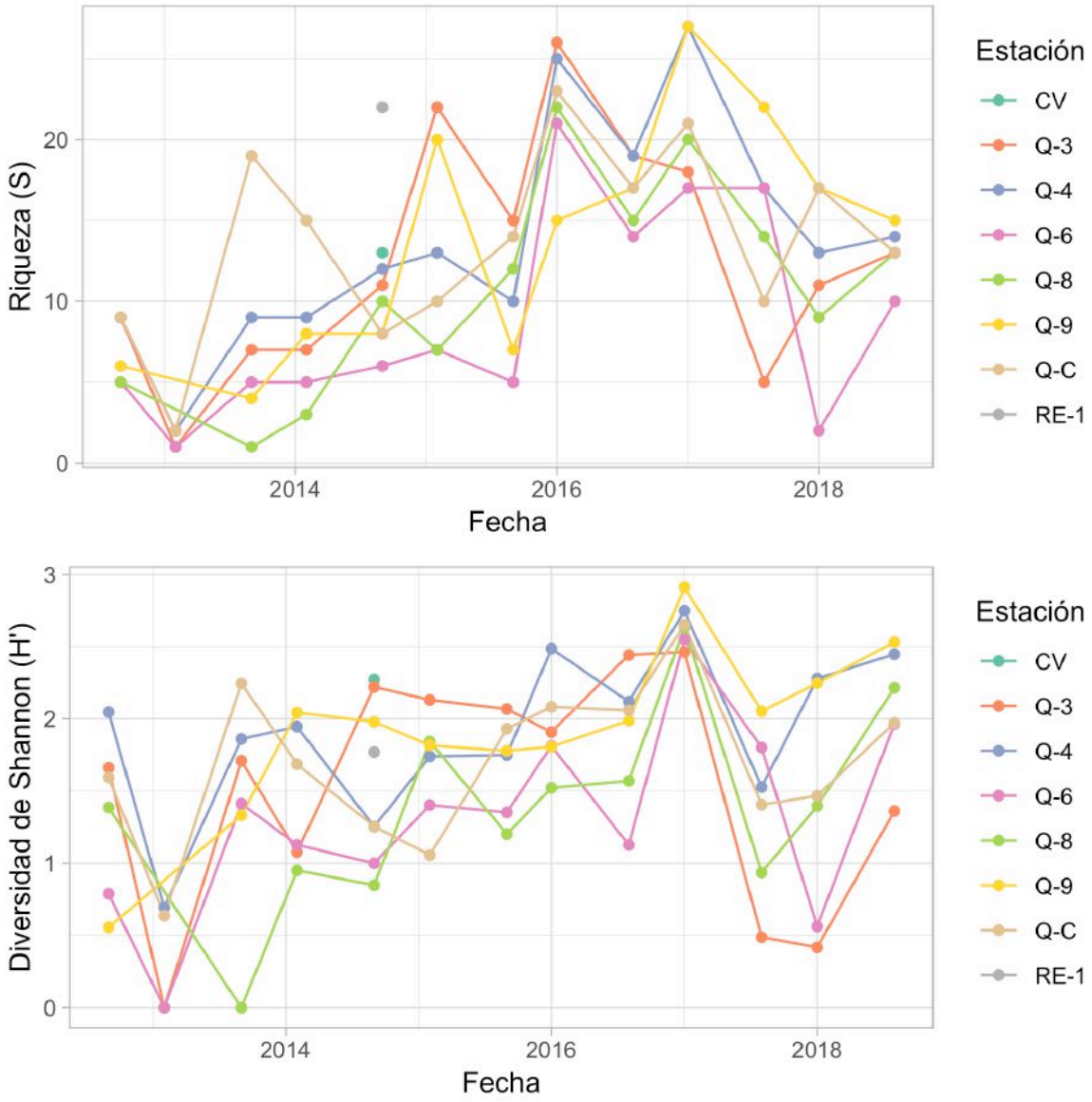


Figura 160. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

5.2.11.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para hidrografía, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH y temperatura mostraron diferencias significativas entre estratos de profundidad. No obstante, solamente para el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno el estrato correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad en los datos, observándose en superficie mayores concentraciones de oxígeno que en las capas de fondo.

Diferencias entre años

Para hidrografía todos los mostraron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo para pH, salinidad y transparencia el efecto que explica mayormente la variabilidad observada en los datos. En todos estos casos, si bien se observa variabilidad entre años, no se aprecian tendencias ascendentes y/o descendentes en la serie de datos analizados.

Para calidad de agua, todos los parámetros salvo coliformes fecales presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. No obstante, en todos los casos, las variaciones observadas se producen debido a los cambios en los límites de detección de las técnicas de laboratorio.

En el caso de los sedimentos submareales todos los parámetros presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año, el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. Si bien para HAP y HCT se observa una tendencia ascendente hacia los últimos años de la serie, estos cambios se producen debido a cambios en los límites de detección de las técnicas de laboratorio. En el caso del tamaño medio del grano, se observa variabilidad entre años, sin observarse tendencias ascendentes y/o descendentes.

Estacionalidad

Para hidrografía todos los parámetros, presentaron diferencias significativas entre épocas del año, de estos parámetros, siendo para la temperatura el efecto que explicó mayormente la variabilidad de los datos, observándose mayores temperaturas durante el primer trimestre (verano), mientras que las temperaturas más bajas se observaron en el tercer trimestre (invierno).

En el caso de calidad de agua y sedimentos, todos los parámetros, salvo coliformes fecales en agua, mostraron diferencias significativas entre épocas del año. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

En calidad de agua, sólo los parámetros HAP y HCT presentaron diferencias significativas entre estaciones. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

En sedimentos, la totalidad de parámetros analizados, presentaron diferencias significativas entre estaciones. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

5.2.12 Terminal Marítimo GNL Quintero

5.2.12.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 161** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo Terminal Marítimo GNL Quintero. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar 10 estaciones de monitoreo submareal, alrededor del muelle de la misma planta, con al menos 6 estaciones cercanas a los 10 m de profundidad. De acuerdo a la información proporcionada no se identifican estaciones de control. Este programa comprende, además, 4 estaciones de muestreo en los pilotes del muelle.

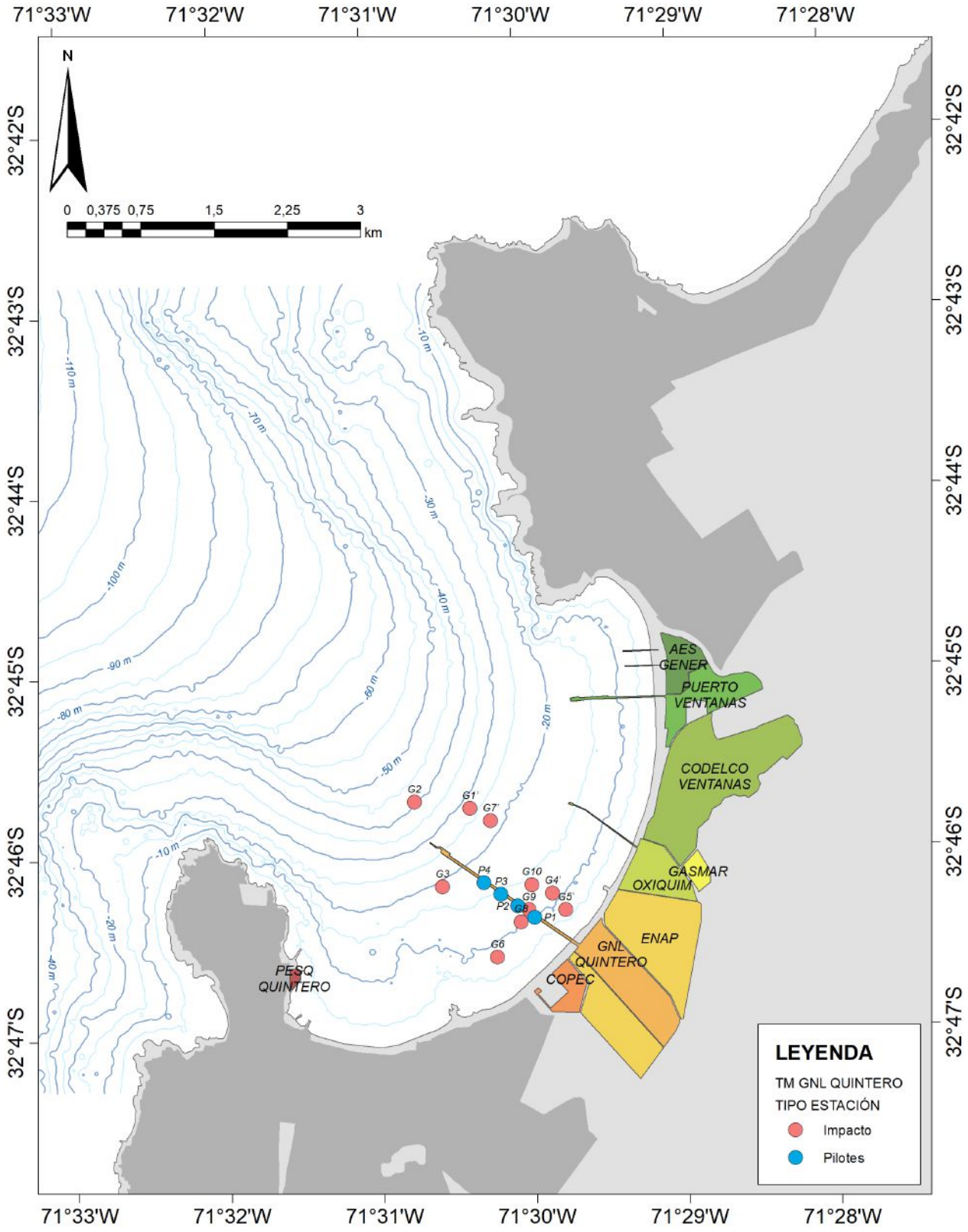


Figura 161. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Terminal Marítimo GNL Quintero.

5.2.12.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, agua submareal, sedimento submareal, macrofauna submareal, fitoplancton, zooplancton y bioensayos (**Tabla 73**). La información de bioensayos no es analizada en el presente informe, debido a problemas en la identificación de estaciones en las bases de datos. Del mismo modo, los datos de megafauna tampoco son analizados debido a que esta información es cualitativa, no analizable estadísticamente.

Tabla 73. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Terminal Marítimo Terminal Marítimo GNL Quintero.

ESTACIÓN	TIPO	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA	FITOPLANCTON	ZOOPLANCTON	MEGAFAUNA	BIOENSAYOS
G1’	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G2	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G3	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G4’	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G5’	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G6	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G7’	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G8	Impacto	X	X	X	X	X	X		X
G9	Impacto	X	X	X		X	X		
G10	Impacto	X	X	X		X	X		
P1	Pilotes							X	
P2	Pilotes							X	
P3	Pilotes							X	
P4	Pilotes							X	

5.2.12.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 74** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Para hidrografía se monitorea temperatura, pH, oxígeno disuelto, y salinidad, sin embargo, los datos son informados por estratos de profundidad, lo cual no permite hacer perfiles de temperatura. Para agua se monitorea Transparencia, Zona fótica, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos, Cloro libre residual, Hidrocarburos parafínicos e Hidrocarburos totales. En el caso de los sedimentos junto con los parámetros asociados a la granulometría se mide Materia Orgánica e Hidrocarburos Totales. En las comunidades del submareal se contabiliza la abundancia y biomasa. Para macrofauna submareal se informa abundancia y biomasa, mientras que en fitoplancton y zooplancton se informan las abundancias por taxa. Respecto a los bioensayos se analiza la sobrevivencia de *Aulacomya atra* (submareal) y *Emerita analoga*

(intermareal). Finalmente, en megafauna se efectúa un análisis cualitativo respecto a la abundancia en 4 puntos de los pilotes del muelle.

Tabla 74. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Terminal Marítimo GNL Quintero.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	pH	Unidades	pH
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	Salinidad	PSU	Sal
Calidad de agua	Profundidad	m	Prof
Calidad de agua	Transparencia	m	Transp
Calidad de agua	Zona fótica	m	Zfotica
Calidad de agua	Sólidos Sedimentables	mg/L/h	Ssed
Calidad de agua	Sólidos Suspendidos	mg/L	Ssus
Calidad de agua	Cloro libre residual	mg/L	CLB
Calidad de agua	Hidocarburos parafinicos	mg/L	Hpar
Calidad de agua	Hidrocarburos totales	mg/L	HCT
Calidad de sedimentos	Materia Orgánica (%)	%	MOT
Calidad de sedimentos	Hidrocarburos Totales (mg/kg)	mg/kg	HCT
Calidad de sedimentos	Gránulos	%	GRAN
Calidad de sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad de sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad de sedimentos	Arena media	%	AM
Calidad de sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad de sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad de sedimentos	Limo y Arcillas	%	LA
Calidad de sedimentos	M	phi	M
Calidad de sedimentos	Desviación estandar inclusiva	phi	DEGI
Calidad de sedimentos	SKi	phi	SKi
Macrofauna	Abundancia media	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa media	g/m2	B
Fitoplancton	Abundancia relativa	cel/L	N
Zooplancton	Abundancia	ind/m3	N
Bioensayos	Sobrevivencia Replica 1	%	R1
Bioensayos	Sobrevivencia Replica 2	%	R2
Bioensayos	Sobrevivencia Replica 3	%	R3
Bioensayos	Sobrevivencia Replica 4	%	R4
Bioensayos	Sobrevivencia total	%	Tot
Megafauna	Abundancia relativa	Descriptivo	MA: Muy Abundante
Megafauna	Abundancia relativa	Descriptivo	A: Abundante
Megafauna	Abundancia relativa	Descriptivo	P: Presente
Megafauna	Abundancia relativa	Descriptivo	E: Escaso
Megafauna	Abundancia relativa	Descriptivo	ME: Muy Escaso

5.2.12.4 Estadística descriptiva

5.2.12.4.1 Hidrografía

Se entregan los resultados de las variables hidrográficas temperatura (Temp), pH, oxígeno disuelto (Odis) y salinidad (Sal) (**Tabla 75**). La temperatura osciló entre 11,6ºC y 18,27ºC, con una media de 13,86ºC, y un coeficiente de variación del 9%. La salinidad osciló entre 27,44 PSU y 39,77 PSU, con una media de 33,48 PSU, y un coeficiente de variación del 9%. El oxígeno disuelto osciló entre 3,4 mg/L y 11,59 mg/L, con una media de 7,69 mg/L, y un coeficiente de variación del 18%. Finalmente, el pH fluctuó entre 7,35 y 8,71 con una media de 8,12 y un coeficiente de variación del 4%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente.

Tabla 75. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	180	11,6	18,27	13,86	1,31	9%	0,9213	0,0000
pH	Unidades	180	7,35	8,71	8,12	0,30	4%	0,9729	0,0014
Odis	mg/L	180	3,4	11,59	7,69	1,41	18%	0,9923	0,4602
Sal	PSU	180	27,44	39,77	33,48	3,00	9%	0,9182	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan a continuación, mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 75**.

En las **Figuras 162 a 165** se muestra la tendencia de estas variables entre los años 2015 y 2019. La temperatura (**Figura 162**) presentó una alta variabilidad entre estaciones y entre años de muestreo, donde la estación G2 registró las menores temperaturas, en torno a 12ºC, mientras que la estación G10 registró las temperaturas más altas, superiores a 16ºC. El pH (**Figura 163**) también registró una alta variabilidad, con tendencias similares entre estaciones y años, un patrón ascendente hasta el año 2017, alcanzando 2 peaks, con máximos superiores a 8,4. Las concentraciones oxígeno disuelto (**Figura 164**) fueron altamente variables entre años, fluctuando entre máximos superiores a 10 mg/L y mínimos inferiores a 5 mg/L. Finalmente, la salinidad presentó un patrón similar entre estaciones, con tendencias descendentes, hasta alcanzar mínimos de 27,5 PSU, para luego aumentar notoriamente hasta máximos cercanos a 40 PSU (**Figura 165**).

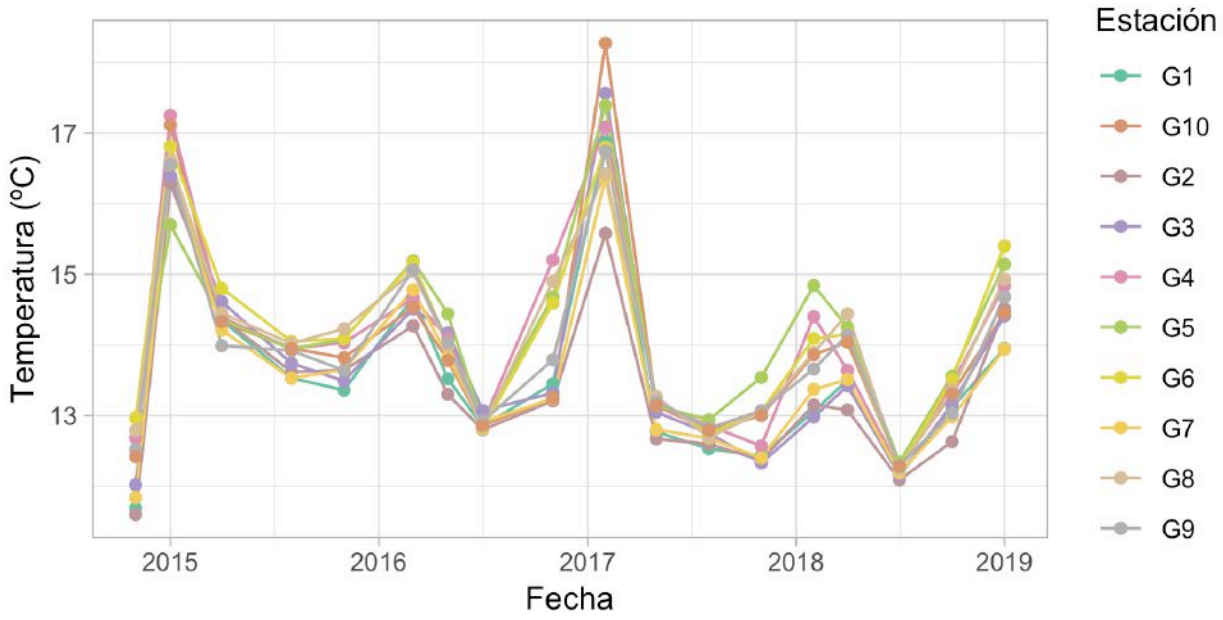


Figura 162. Niveles de temperatura (ºC), por estación, entre los años 2015 y 2019.

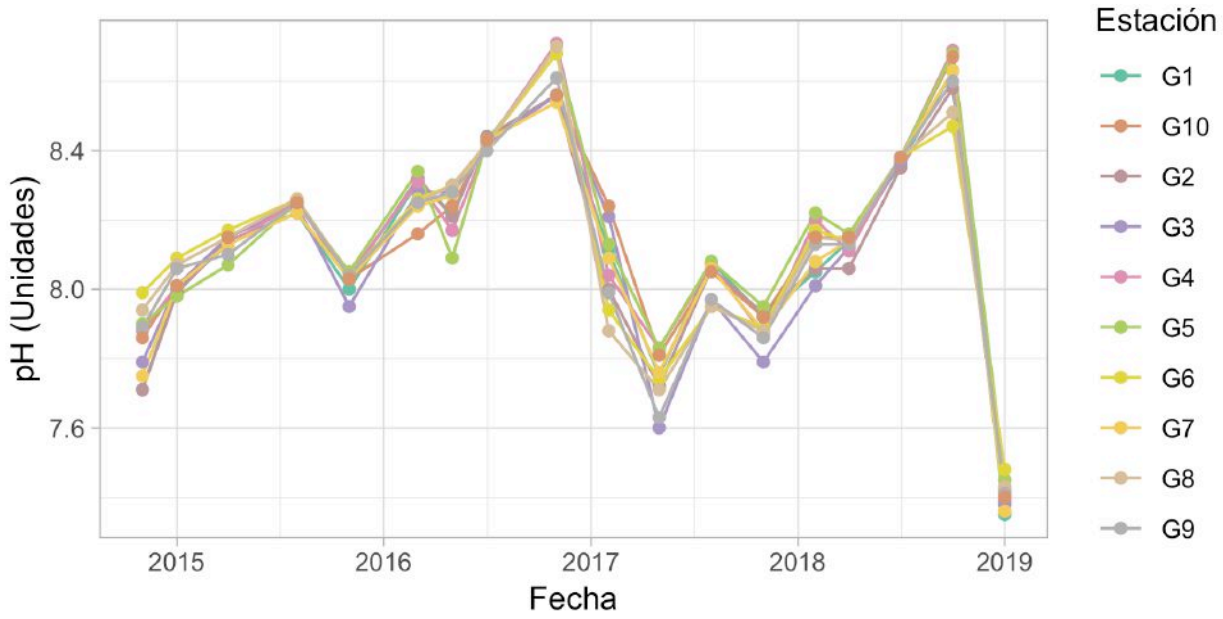


Figura 163. Niveles de pH, por estación, entre los años 2015 y 2019.

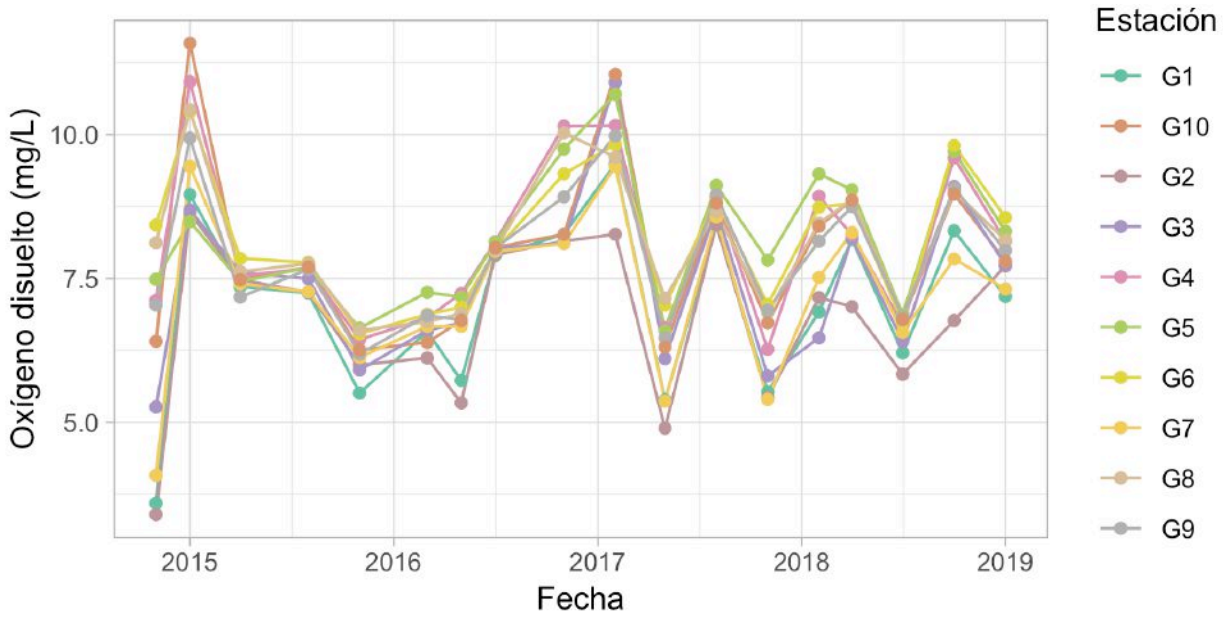


Figura 164. Niveles de oxígeno disuelto (mg/L), por estación, entre los años 2015 y 2019.

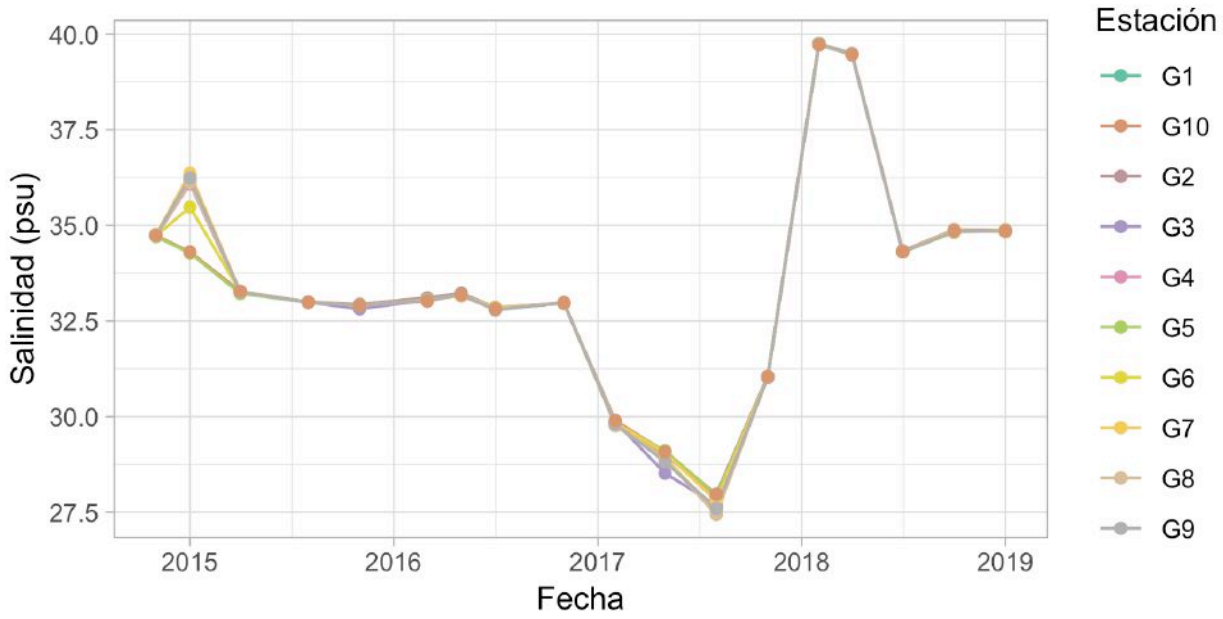


Figura 165. Niveles de salinidad (PSU), por estación, entre los años 2015 y 2019.

5.2.12.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de los parámetros trasparencia, (Trans), capa fótica, (Zfótica), sólidos sedimentables (Ssed), sólidos suspendidos (Ssus), cloro libre residual (CLB), hidrocarburos parafínicos (Hpar) e hidrocarburos totales (HCT), medidos en agua submareal (**Tabla 76**). La

transparencia osciló entre 1,75 m y 7 m, con una media de 3,69 m, y un coeficiente de variación del 29%. La capa fótica osciló entre 4,4 m y 17,5 m, con una media de 8,54 m, y un coeficiente de variación del 25%. Los sólidos sedimentables presentaron una alta variabilidad, fluctuando entre 0,1 y 15 ml/L/h, con una media de 1,07 ml/L/h, y un coeficiente de variación del 143%, mientras que los sólidos suspendidos fluctuaron entre 0,50 y 39,30 mg/L, con una media de 6,12 mg/L, con un coeficiente de variabilidad de 74%, el cloro libre residual osciló entre 0,04 y 0,66 mg/L, con una media de 0,10 mg/L, y un coeficiente de variación de 107%, los hidrocarburos parafínicos fluctuaron entre 0,1 y 6,59 mg/L, con una media de 1,17 mg/L y un coeficiente de variación del 59%. Finalmente, los hidrocarburos totales oscilaron entre 1 y 7,3 mg/L, con una media de 2,59 mg/L y un coeficiente de variación de 73%. Cabe destacar que los sólidos sedimentables y el cloro libre residual, fueron los parámetros que registran una mayor variabilidad, cuyos coeficientes de variabilidad fueron superiores a 100%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 76. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Transp	m	254	1,75	7	3,69	1,08	29%	0,9220	0,0000	-
Zfótica	m	188	4,4	17,5	8,54	2,09	25%	0,9145	0,0000	-
Ssed	mg/L/h	416	0,1	15	1,07	1,53	143%	0,3235	0,0000	99%
Ssus	mg/L	416	0,50	39,30	6,12	4,55	74%	0,4129	0,0000	85%
CLB	mg/L	104	0,04	0,66	0,10	0,11	107%	0,6302	0,0000	76%
Hpar	mg/L	352	0,1	6,59	1,17	0,69	59%	0,7510	0,0000	99%
HCT	mg/L	352	1	7,3	2,59	1,89	73%	0,6748	0,0000	99%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.12.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 76**.

En las **Figuras 166 a 172** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2015 y 2019.

La transparencia (**Figura 166**), presentó un patrón similar entre estaciones, destacando máximos fueron registrados para las estaciones G1, G2, G3, G7 y G9, durante el año 2014 y mínimos inferiores a 2 m para las estaciones G1, G3, G5, G6 y G7, durante el año 2018. La zona fótica (**Figura 167**) mostró tendencias descendentes hasta el año 2016, alcanzando valores cercanos

a 5 m. Entre los años 2017 y 2019, la zona fótica presentó una alta variabilidad, fluctuando entre 4 y 10 m. Cabe destacar que la estación G7 fue la que presentó los mayores niveles (~ 17,5 m), mientras que las estaciones G1, G3, G5 y G7 presentaron los niveles más bajos (~2 m). Los sólidos sedimentables (**Figura 168**) presentaron tendencias similares entre estaciones y entre estratos, manteniéndose constantes, en torno a 1 ml/L/h, hasta el año 2017. A partir del año 2018, se registra un notorio descenso, con mínimos de 0,1 ml/L/h, para ambos estratos. Los sólidos suspendidos (**Figura 169**) presentaron tendencias similares entre estaciones y entre estratos, en torno a 5 mg/L, destacando máximos que fluctuaron entre 27 y 40 mg/L en superficie y entre 23 y 31 mg/L en el fondo. El cloro libre residual (**Figura 170**) registró una alta variabilidad entre años, pero con tendencias similares entre estaciones, fluctuando entre 0,04 y 0,7 mg/L en superficie y entre 0,04 y 0,4 mg/L en el fondo. El patrón general de los hidrocarburos parafínicos (**Figura 171**) fluctuó entre 1 y 2 mg/L, excepto durante el año 2013, donde se presentó una alta variabilidad, oscilando entre 1 y 6,5 mg/L en superficie y entre 1 y 3,4 mg/L en el fondo. Finalmente, los hidrocarburos totales (**Figura 172**) se mantuvieron constantes en 1 mg/L, hasta el año 2016, para luego aumentar a valores máximos de 5 mg/L, en todas las estaciones de muestreo.

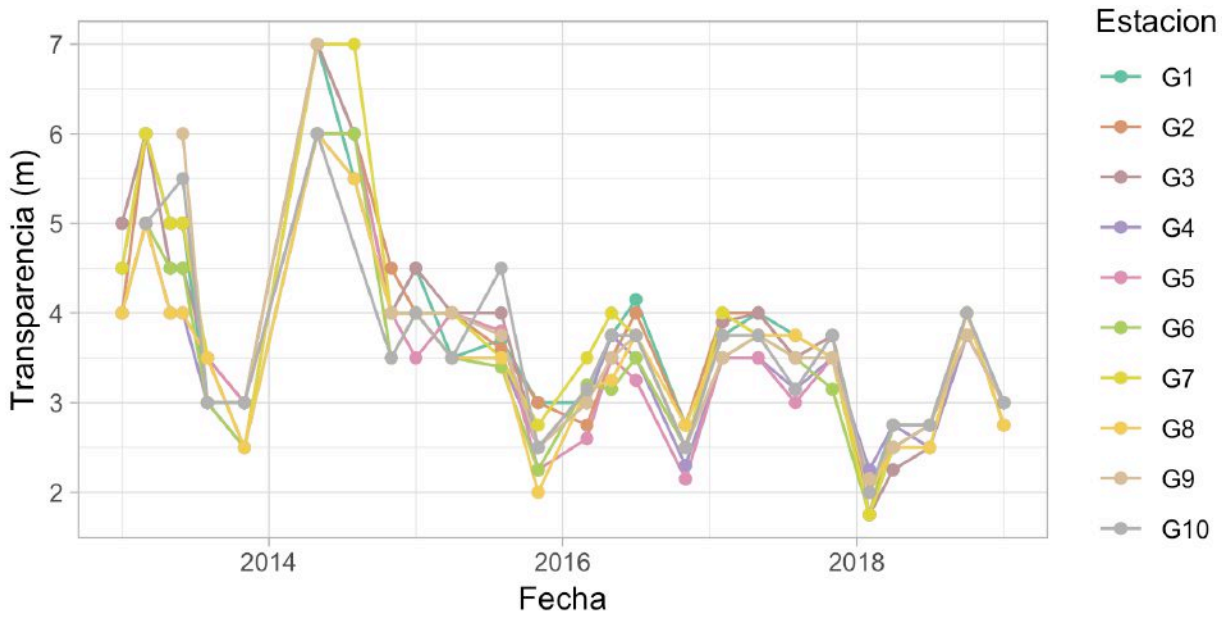


Figura 166. Niveles de transparencia (m), por estación, entre los años 2013 y 2019.

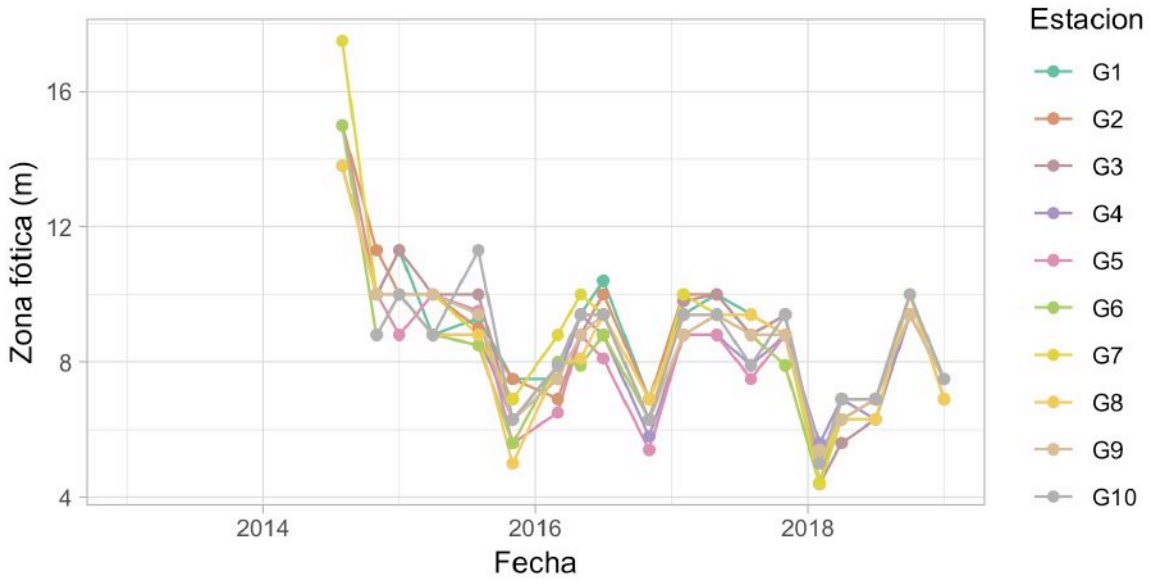


Figura 167 Niveles de la capa fótica (m), por estación, entre los años 2013 y 2019.

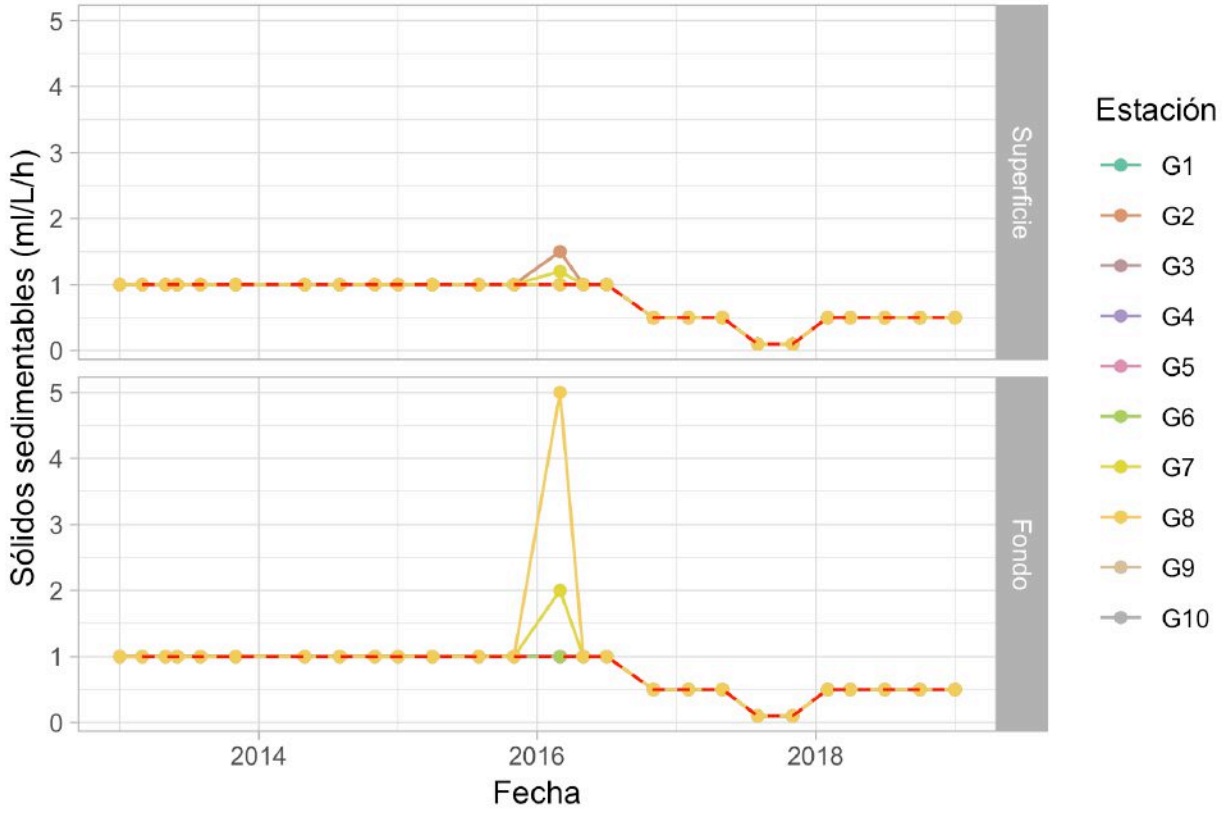


Figura 168. Niveles de sólidos sedimentables (ml/L/h), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

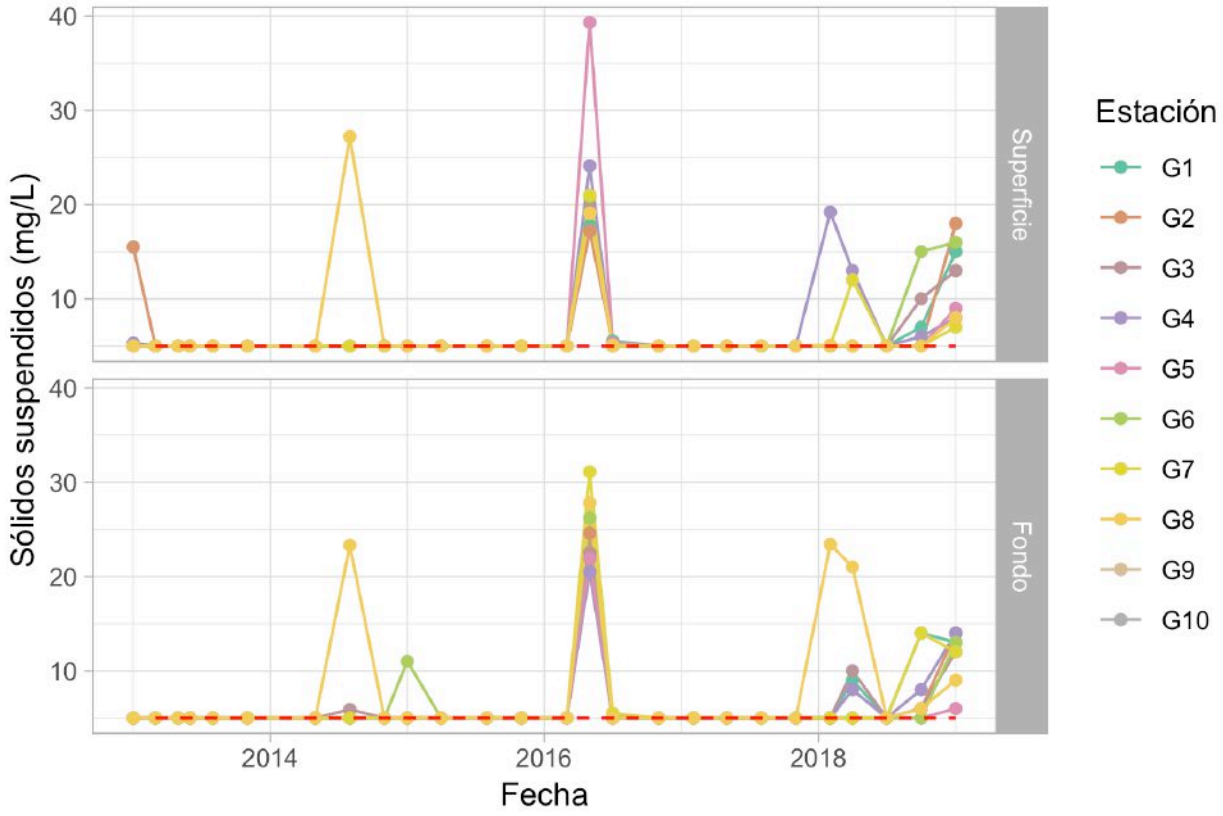


Figura 169. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

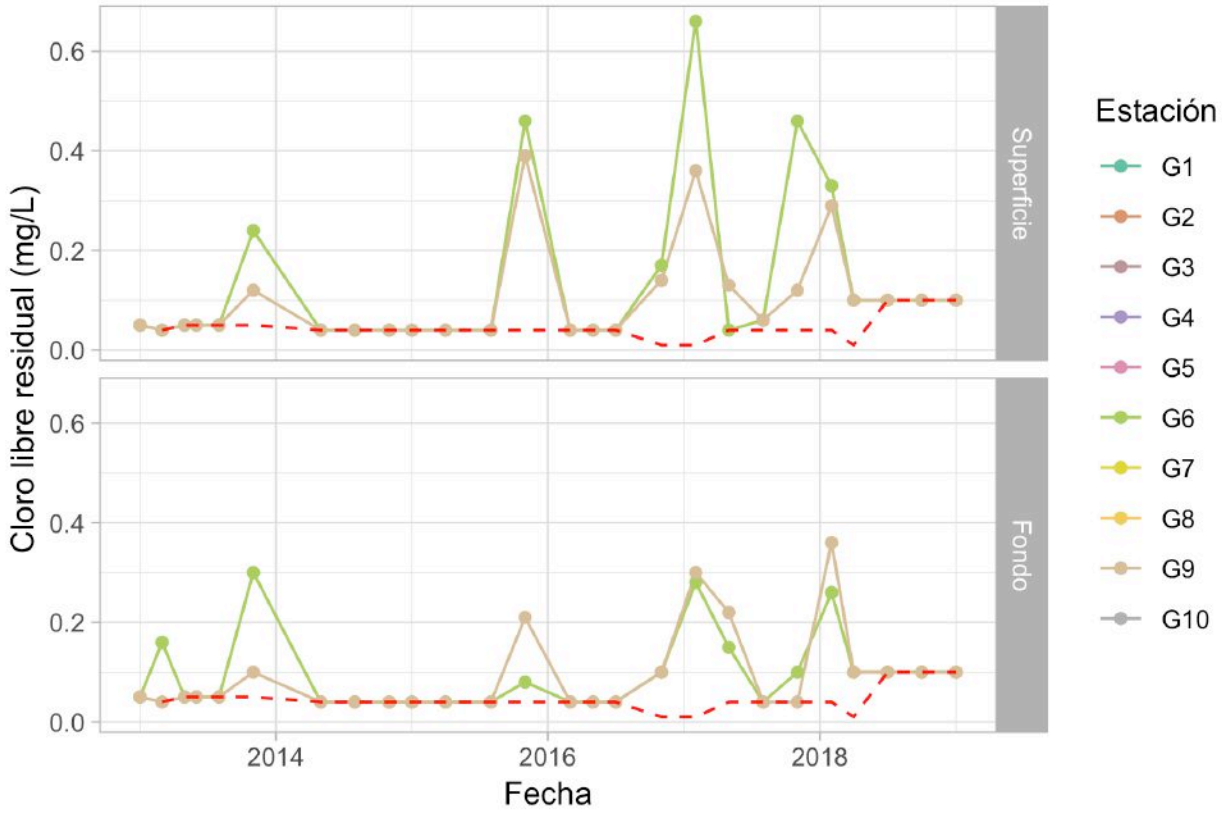


Figura 170. Niveles de cloro libre residual (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019.

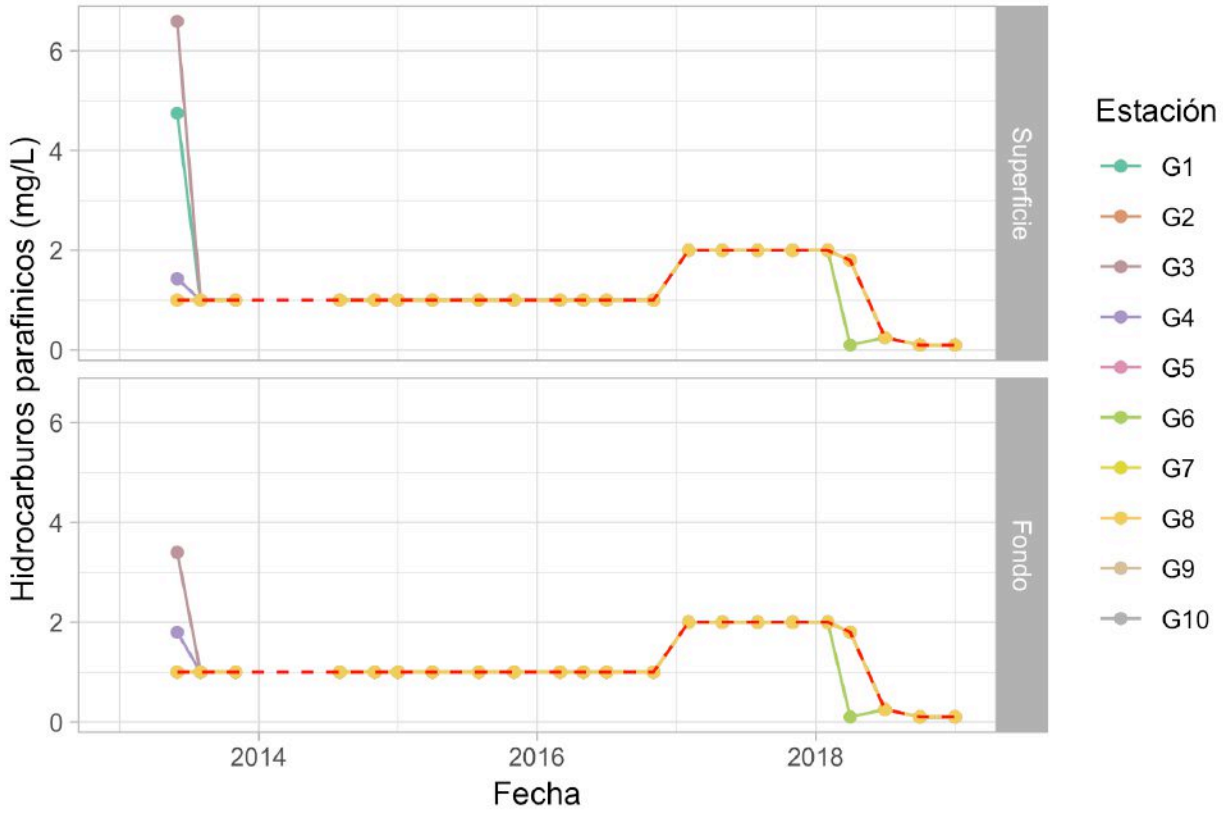


Figura 171. Niveles de hidrocarburos parafínicos (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

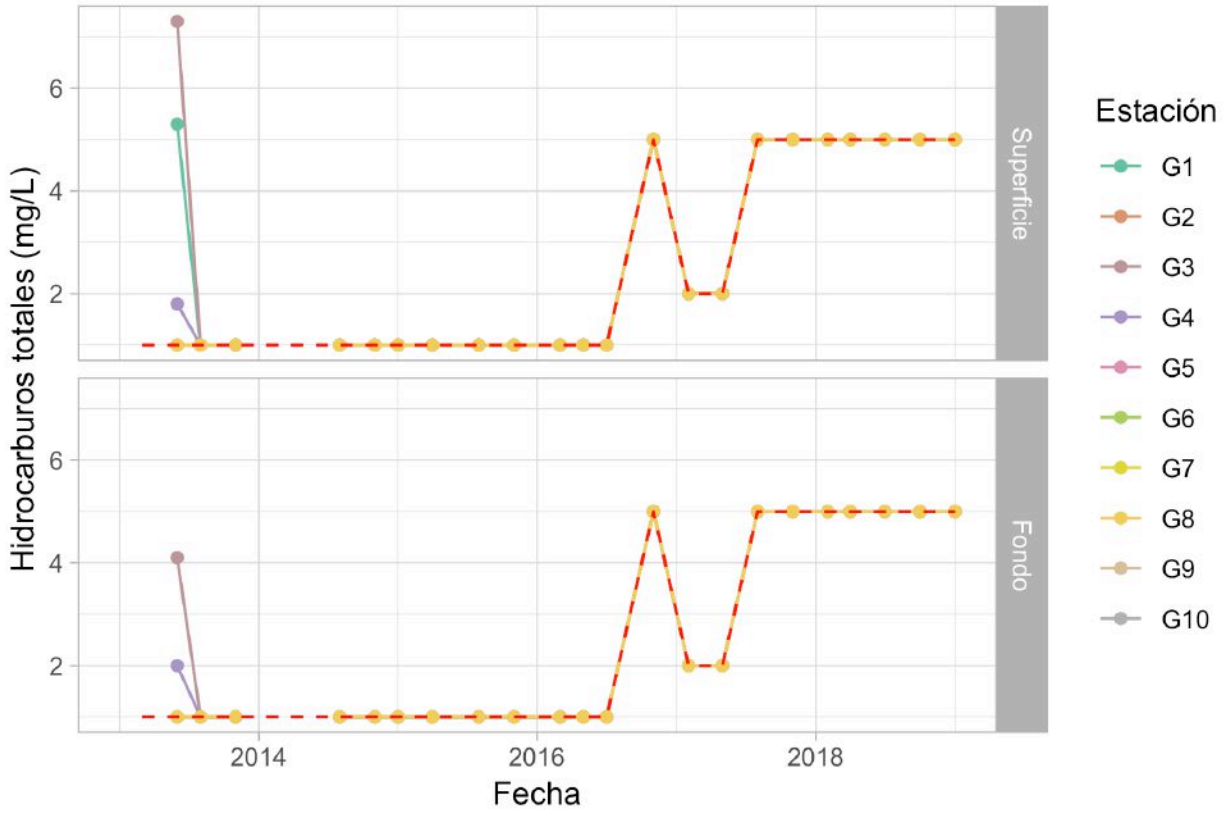


Figura 172. Niveles de hidrocarburos totales (mg/L), por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.12.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 77**). En términos generales, la mayoría de los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando a los hidrocarburos totales (HCT), gránulos (GRAN), arena muy fina (AMF), arena gruesa (AG) y limo y arcilla (LA), cuyos coeficientes de variación fueron mayores a 110% (CV=157%, 479%, 287%, 287%, 127% y 114%, respectivamente). La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente.

Tabla 77. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
MOT	%	208	0,1	4,8	1,10	0,83	76%	0,8053	0,0000	-
HCT	mg/kg	152	1	97	12,91	20,21	157%	0,5924	0,0000	95%
GRAN	%	208	0	55,82	1,11	5,31	479%	0,1943	0,0000	-
AMG	%	208	0	30,35	1,16	3,33	287%	0,2979	0,0000	-
AG	%	208	0,08	16,15	2,39	3,04	127%	0,6856	0,0000	-
AM	%	208	0,36	31,13	8,69	7,11	82%	0,8930	0,0000	-
AF	%	208	3,57	89,25	45,96	13,06	28%	0,9859	0,0364	-
AMF	%	208	0,15	72,817	36,58	17,13	47%	0,9802	0,0051	-
LA	%	208	0,02	20,74	4,11	4,70	114%	0,7764	0,0000	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.12.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 77**.

En las **Figura 173** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas submareal. Se puede observar que, la composición granulométrica del sedimento fue similar entre años y entre estaciones, destacando un mayor dominio de arena muy fina (AMF) y arena fina (AF); excepto para las estaciones G3 y G8, donde se observó una mayor presencia de arena muy gruesa (AMG) y arena media (AM), respectivamente.

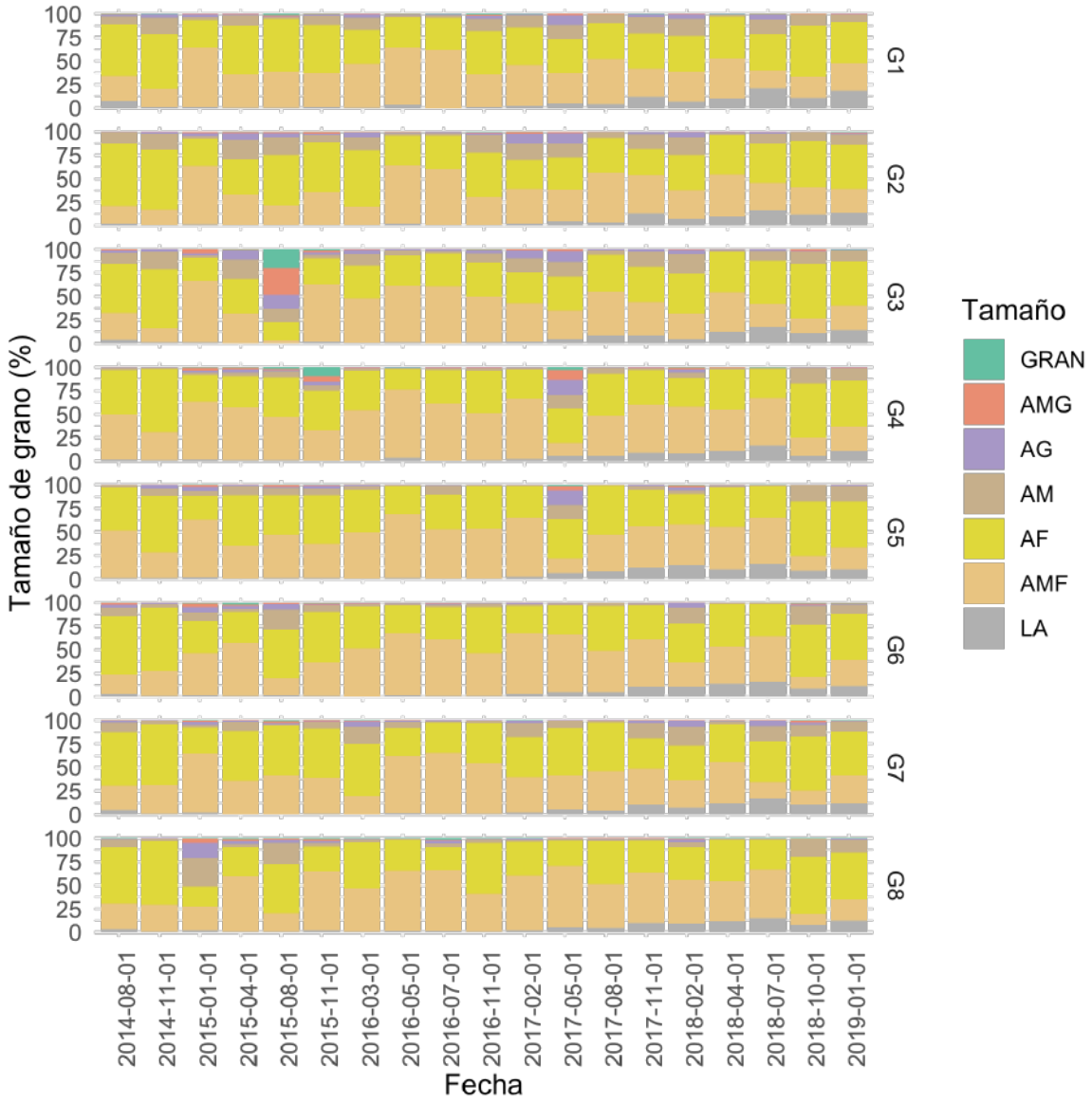


Figura 173. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2014 y 2019.

En las **Figura 174 y 175** se entrega la tendencia de los parámetros de materia orgánica total (MOT) e hidrocarburos totales (HCT), para sedimentos submareales, para cada uno de las estaciones entre los años 2013 y 2019.

La materia orgánica total (**Figura 174**) presentó un patrón similar entre estaciones, con una alta variabilidad entre años. Entre 2013 y 2014 los niveles de materia orgánica fueron mayores, fluctuando entre 1% y 4,8%, mientras que, a partir del 2015, los niveles tienden a disminuir, fluctuando entre 0,1% y 2,4%. Por otro lado, los hidrocarburos totales (**Figura 175**) se

mantuvieron en torno a 1 mg/kg hasta el año 2017, para luego mostrar una tendencia ascendente, con valores sobre el límite detección, hasta alcanzar máximos superiores a 75 mg/kg.

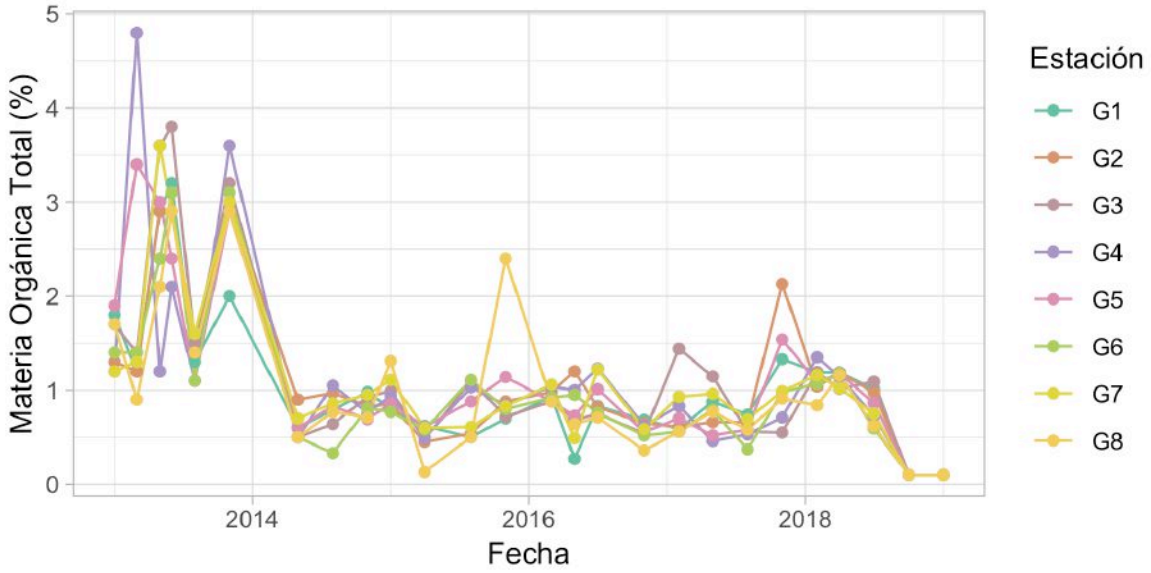


Figura 174. Niveles de materia orgánica total (%) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019.

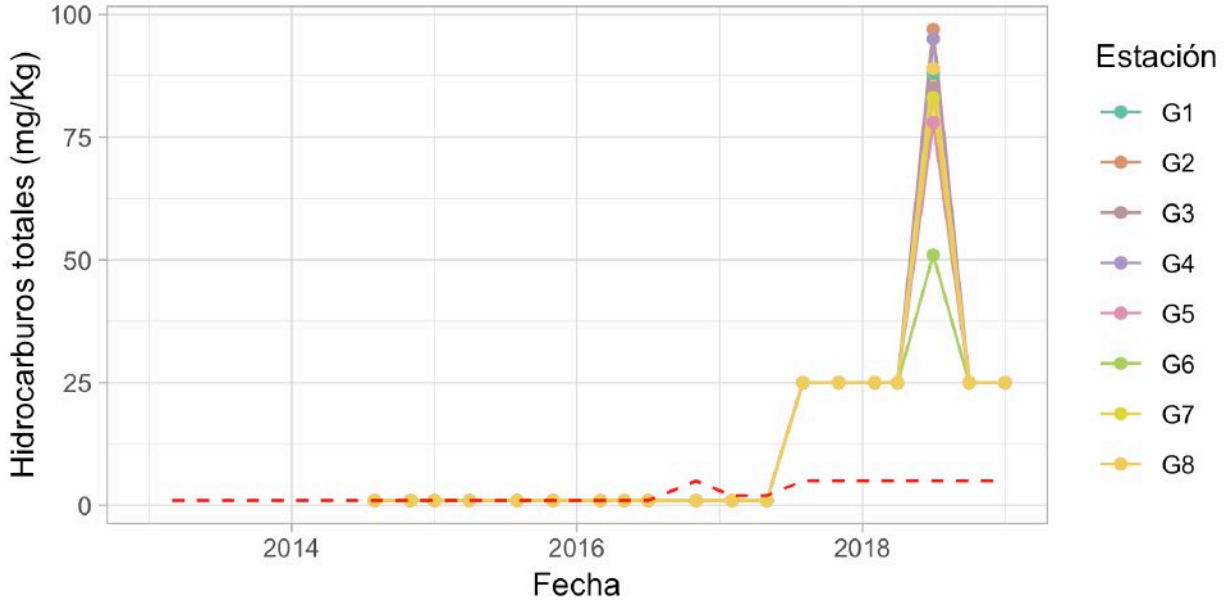


Figura 175. Niveles de hidrocarburos totales (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2013 y 2019. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.12.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal y para los datos de abundancia de fitoplancton u zooplancton (**Tabla 78**).

Para el bentos submareal, la abundancia observada osciló entre 0 y 4.484 ind/m^2; con una media de 80,62 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0 y 101,25 g/m^2, con una media de 0,70 g/m^2. En cuanto al fitoplancton, las abundancias oscilaron entre 100 y 9.680.000 ind/m^2, con una media de 155.470,43 ind/m^2. Finalmente, para el zooplancton, las abundancias oscilaron entre 0,001 y 171,35 ind/m^2, con una media de 2,89 ind/m^2.

Cabe destacar que, la totalidad de los parámetros presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 300%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 78. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Tipo	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	3006	0	4.484	80,62	243,15	302%	0,2916	0,0000
submareal	Biomasa	g/m2	2909	0	101,25	0,70	3,90	557%	0,1492	0,0000
Fitoplancton	Abundancia	cel/L	2778	100	9.680.000	155.470,43	825.574,22	531%	0,1760	0,0000
Zooplancton	Biomasa	ind/m3	5254	0,001	171,35	2,89	12,05	418%	0,2296	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.12.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 78**.

Al igual que lo reportado en Ventanas Unidad 3 y 4, la revisión de las bases de daros del bentos submareal arrojó problemas en identificación taxonómica, por lo que no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.12.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.12.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 79** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La mayoría de las variables presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando el efecto Estación para las variables pH y salinidad. En el caso de la temperatura, el Trimestre corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=49,23%); mientras que, para pH y salinidad el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=74,62% y 77,75%, respectivamente). Finalmente, para oxígeno disuelto el factor Estación mostró el mayor porcentaje de devianza explicada con DE=12,53%.

Tabla 79. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad, en agua entre 2013 y 2019. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			179		21,54		
Temp	Estación	9	170	0,82	20,72	0,0022	3,79
	Año	5	165	5,04	15,68	0,0000	23,39
	Trimestre	3	162	10,60	5,08	0,0000	**49,23**
			179		1,94		
pH	Estación	9	170	0,01	1,93	0,9478	0,33
	Año	5	165	1,45	0,49	0,0000	**74,62**
	Trimestre	3	162	0,18	0,31	0,0000	9,26
			179		47,00		
Odis	Estación	9	170	5,89	41,11	0,0004	**12,53**
	Año	5	165	4,18	36,93	0,0006	8,9
	Trimestre	3	162	5,39	31,54	0,0000	11,47
			179		47,88		
Sal	Estación	9	170	0,01	47,87	1	0,02
	Año	5	165	37,22	10,64	0,0000	**77,75**
	Trimestre	3	162	4,50	6,15	0,0000	9,4

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en cada uno de los parámetros de hidrografía (**Figura 176**) permite observar para temperatura, que el trimestre 1 presentó en promedio mayores temperaturas, mientras que el trimestre 3, presentó las temperaturas más bajas. El pH presentó registró diferencias entre años, con niveles máximos en

2016 y mínimos en 2019. Para oxígeno disuelto se registró una alta variabilidad entre estaciones, destacando niveles mínimos en la estación G2 y máximos en las estaciones G5 y G6. Finalmente, para la salinidad presentó una alta variabilidad entre años, con niveles mínimos en 2017 y máximos durante 2018. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 10a.**

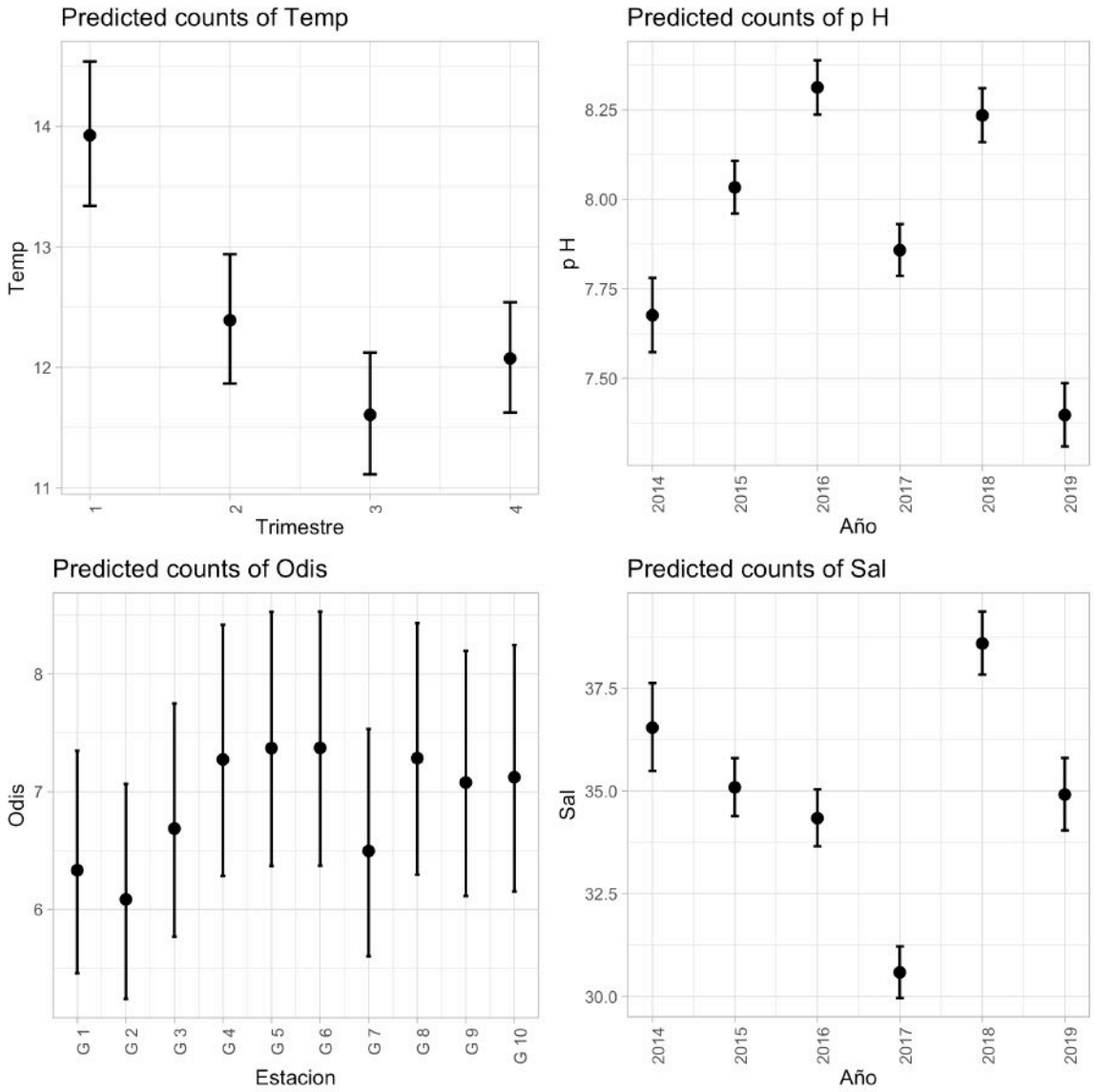


Figura 176. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.12.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 80** se entrega un análisis GLM, para los parámetros transparencia (Trans), zona fótica (Zfótica) sólidos sedimentables (Ssed), sólidos suspendidos (Ssus), cloro libre residual (CLB), hidrocarburos parafínicos (Hpar) e hidrocarburos totales (HCT), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación Año y Trimestre y en todos los casos, el efecto Año fue el que presentó el mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=49,24%, 44,04%, 67,37%, 26.72%, 28,07%, 44,87% y 68,54%, respectivamente.

Tabla 80. Resultados de MLG para los parámetros transparencia (Trans), zona fótica (Zfótica) sólidos sedimentables (Ssed), sólidos suspendidos (Ssus), cloro libre residual (CLB), hidrocarburos parafínicos (Hpar) e hidrocarburos totales (HCT), en agua de mar, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			253		76,8		
Transp	Estación	9	244	1,5	75,3	0,2314	1,94
	Año	6	238	37,8	37,5	0,0000	**49,24**
	Trimestre	3	235	8,7	28,7	0,0000	11,38
			187		93,7		
Zfotica	Estación	9	178	1,5	92,2	0,7967	1,56
	Año	5	173	41,2	51,0	0,0000	**44,04**
	Trimestre	3	170	6,7	44,2	0,0000	7,16
			415		72,05		
Ssed	Estación	7	408	0,31	71,74	0,6442	0,43
	Estrato	1	407	0,04	71,69	0,3967	0,06
	Año	6	401	48,54	23,15	0,0000	**67,37**
	Trimestre	3	398	3,24	19,92	0,0000	4,49
			415		815,61		
Ssus	Estación	7	408	8,29	807,32	0,6406	1,02
	Estrato	1	407	0,38	806,94	0,6276	0,05
	Año	6	401	217,90	589,04	0,0000	**26,72**
	Trimestre	3	398	90,52	498,52	0,0000	11,1
			103		8,49		
CLB	Estación	1	102	0,07	8,42	0,2073	0,82
	Estrato	1	101	0,14	8,28	0,0745	1,65
	Año	6	95	2,38	5,89	0,0000	**28,07**
	Trimestre	3	92	1,96	3,94	0,0000	23,07
			351		142,47		
Hpar	Estación	7	344	1,51	140,95	0,3433	1,06
	Estrato	1	343	0,10	140,85	0,4610	0,07
	Año	6	337	63,93	76,92	0,0000	**44,87**
	Trimestre	3	334	12,87	64,06	0,0000	9,03
			351		477,5		
HCT	Estación	7	344	0,7	476,8	0,9802	0,15
	Estrato	1	343	0,1	476,7	0,7168	0,01
	Año	6	337	327,3	149,4	0,0000	**68,54**
	Trimestre	3	334	33,4	116,0	0,0000	7

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figuras 177 y 178**), indica que, para transparencia y capa fótica, los máximos niveles fueron registrados durante el año 2014, mientras que los niveles más bajos fueron registrados durante 2018 y 2019. Los niveles mínimos de sólidos sedimentables fueron registrados en 2017, mientras que los niveles máximos se presentaron en 2014, con una mayor variabilidad. Los sólidos suspendidos se mantuvieron constantes en la mayoría de los años, exceptuando los años 2016 y 2019, donde se registraron los mayores niveles. Los niveles promedio de cloro libre residual fueron variables entre años, con mínimos en 2014 y máximos en 2017. Los hidrocarburos parafínicos fueron variables, con niveles altos en 2017 y niveles bajos en 2019. Finalmente, los niveles de hidrocarburos totales presentaron una tendencia ascendente, hasta registrar máximos en 2019. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 10.b.**

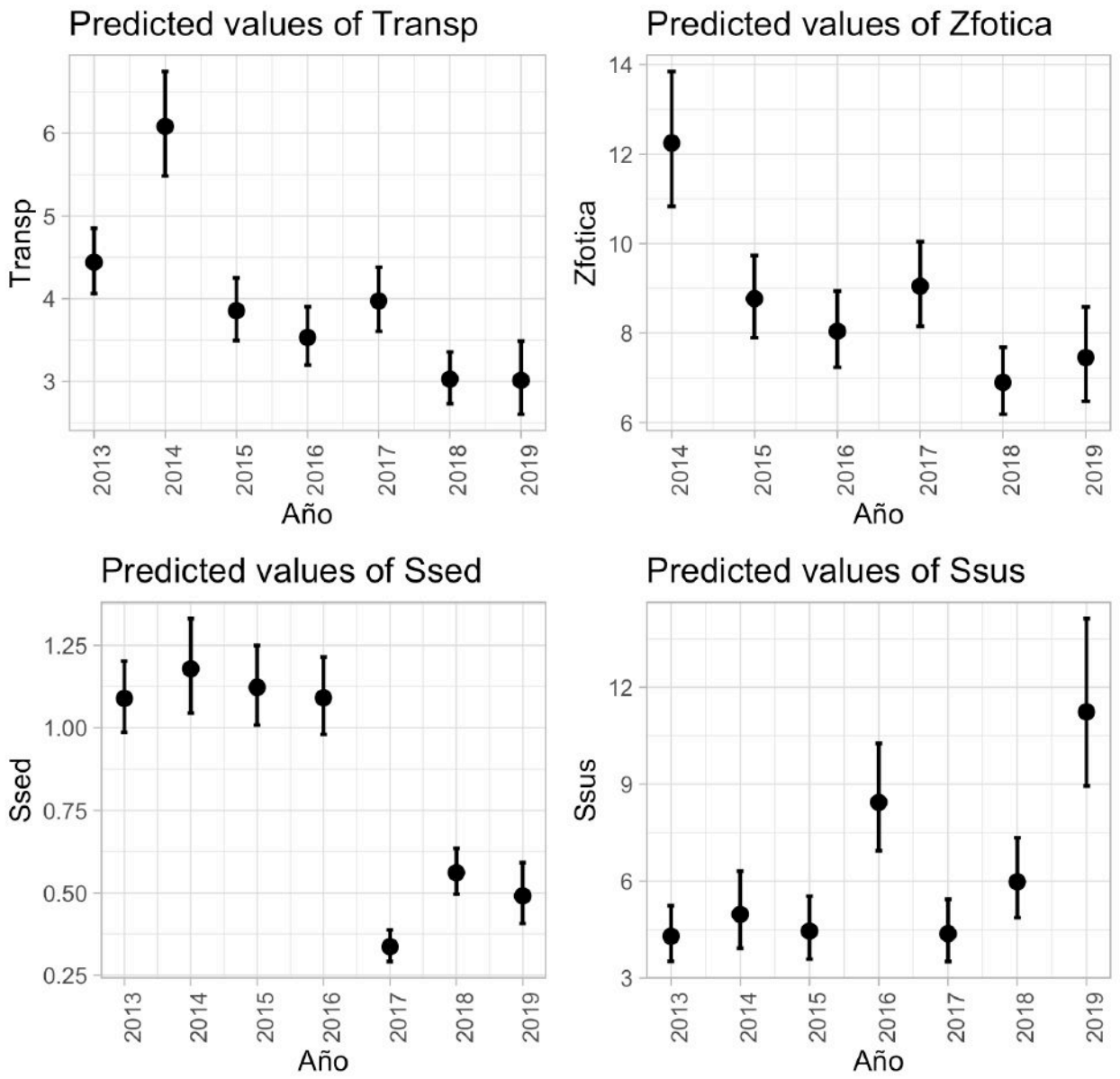


Figura 177. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

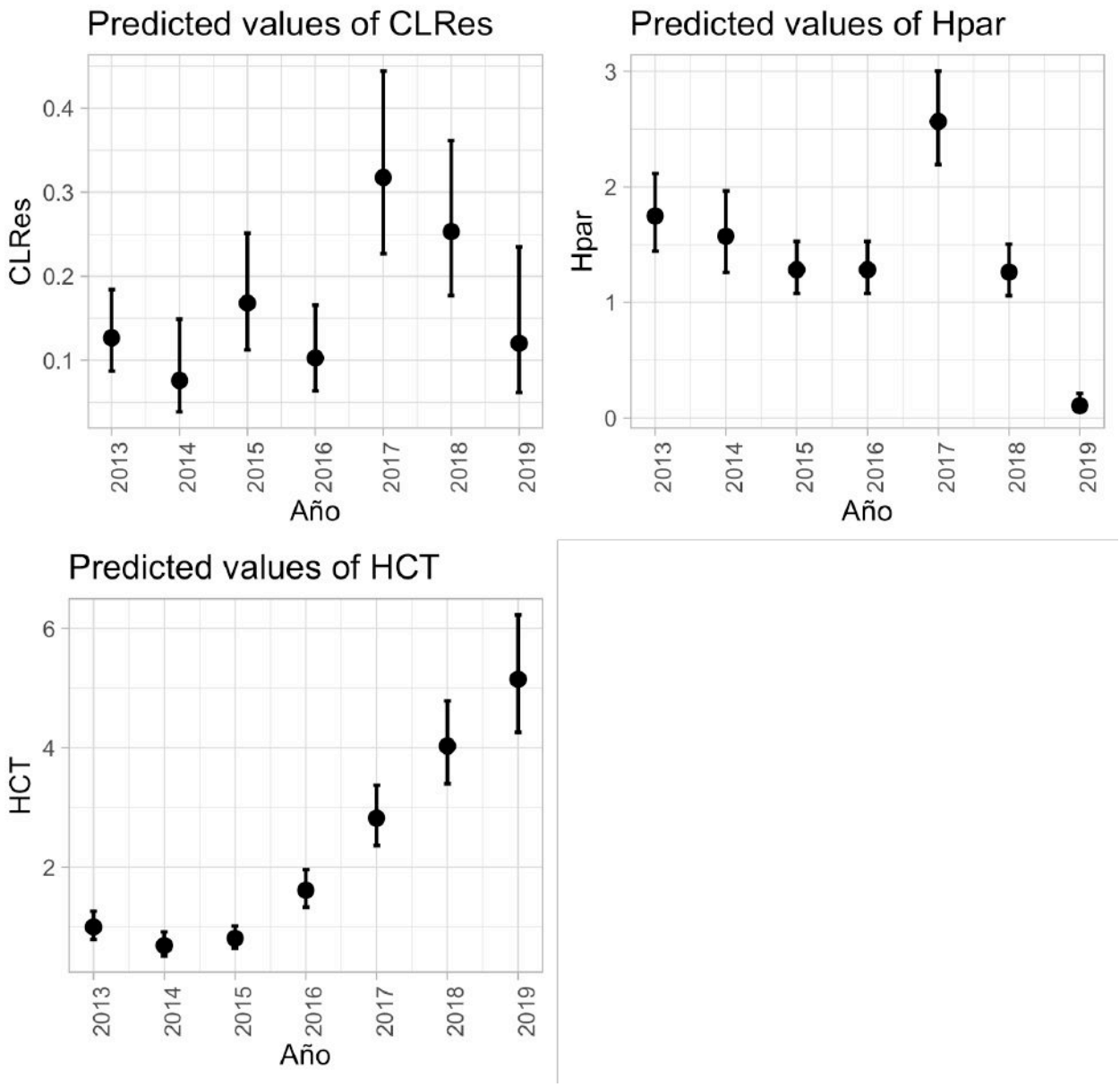


Figura 178. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.12.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Tabla 81** se entrega un análisis GLM, para los parámetros materia orgánica (MOT) e hidrocarburos totales (HCT), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación Año y Trimestre y en todos los casos, el efecto Año fue el que presentó el mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=62,21% y 74,97%, respectivamente.

Tabla 81. Resultados de MLG para los parámetros materia orgánica (MOT) e hidrocarburos totales (HCT), en sedimentos, entre 2013 y 2019. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
	NULL		207		111,53		
MOT	Estación	7	200	0,71	110,83	0,8225	0,63
	Año	6	194	69,38	41,44	0,0000	**62,21**
	Trimestre	3	191	2,55	38,89	0,0045	2,29
	NULL		151		3.597,53		
HCT	Estación	7	144	6,10	3.591,43	0,8795	0,17
	Año	5	139	2.697,02	894,41	0,0000	**74,97**
	Trimestre	3	136	600,84	293,56	0,0000	16,7

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 179**), indica que, los niveles de materia orgánica se mantuvieron relativamente constantes en la mayoría de los años, exceptuando niveles máximos en 2013 y mínimos durante 2019. Los hidrocarburos totales presentaron una tendencia ascendente, con niveles mínimos en 2013 y niveles máximos en 2019.El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 10.c.**

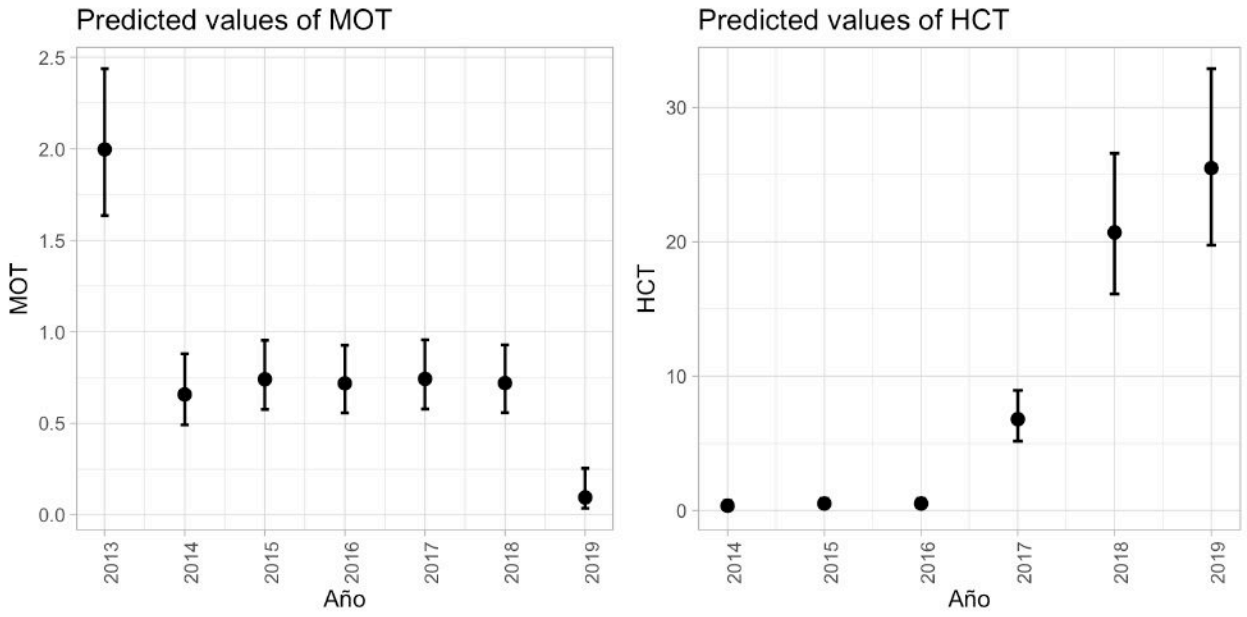


Figura 179. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de sedimento.

En la **Figura 180** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en los distintos años de muestreo.

El análisis arrojó diferencias significativas en la composición de sedimento entre años (PERMANOVA R^2=0,28; P<0,001), donde se observa una heterogeneidad en los sedimentos siendo similar la composición en todos los años de muestreo, con dominancia de arenas muy finas (AMF), gránulos (GRAN), arenas gruesas (AG), arenas muy gruesas (AMG), exceptuando el año 2018 y 2019, con mayor dominancia de arenas finas (AF) y limos y arcillas (LA).

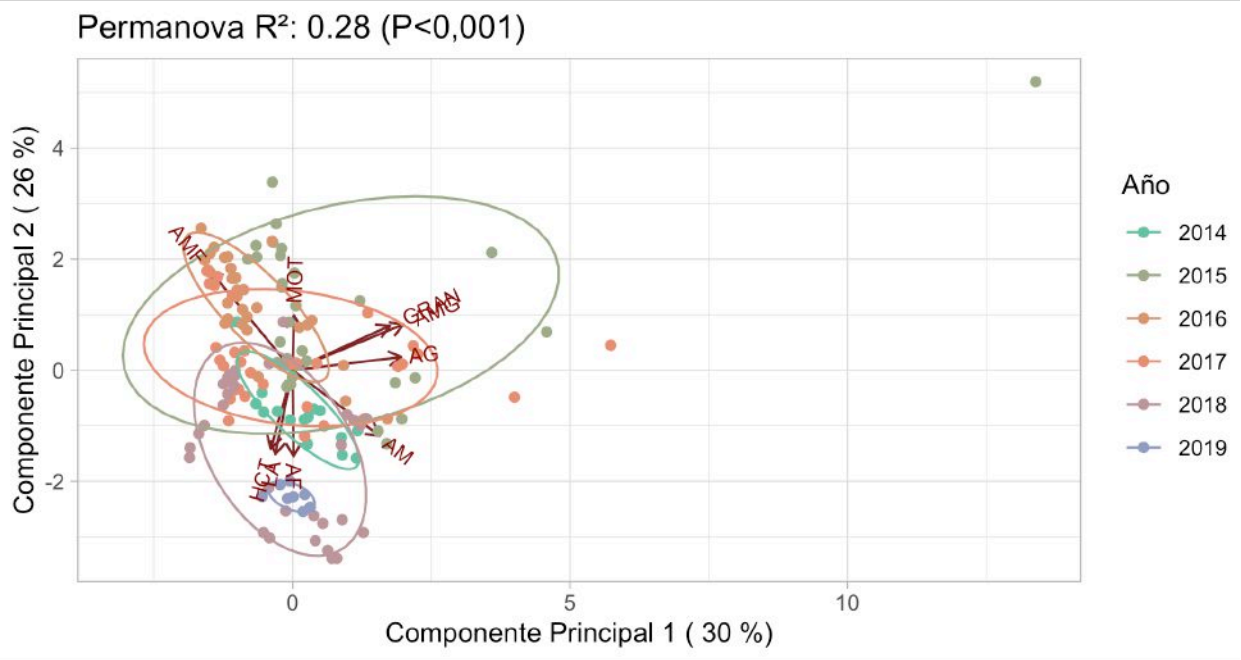


Figura 180. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.12.5.4 Comunidades

En la **Figura 181** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada (**Figura 181**, panel superior) presentó tendencias altamente variables entre estaciones y años de muestreo, registrando mínimos de 1

especie, en la estación G8 y máximos de 50 especies, en la estación G1. El resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 181**, panel inferior) muestra diversidades moderadas, y variables entre estaciones y años, donde las mayores diversidades fueron registradas para la estación G7 (H'>3,0), mientras que las menores diversidades fueron registradas en la estación G8 (H'=0,0).

En la **Figura 182** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del fitoplancton. La riqueza observada (**Figura 182**, panel superior), presentó un patrón similar entre estaciones, y una alta variabilidad entre años, oscilando entre mínimos de 1 especie (G6) y máximos de 30 especies (G4). El resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 182**, panel inferior), muestra diversidades moderadas y altamente variables, con máximos registrados en las estaciones G1 y G8 (H'>2,0) y mínimos registrados en las estaciones G6, G7 y G8 (H'=0,0).

En la **Figura 183** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del zooplancton. La riqueza observada (**Figura 183**, panel superior), presentó un patrón similar entre estaciones, y una alta variabilidad entre años, oscilando entre mínimos de 2 especies (G6) y máximos cercanos a 25 especies (G1, G4 y G6). El resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 183,** panel inferior), muestra diversidades moderadas y altamente variables, con máximos registrados en las estaciones G1 y G4 (H'>2,0) y mínimos registrados en las estaciones G8 y G9 (H'<0,2).

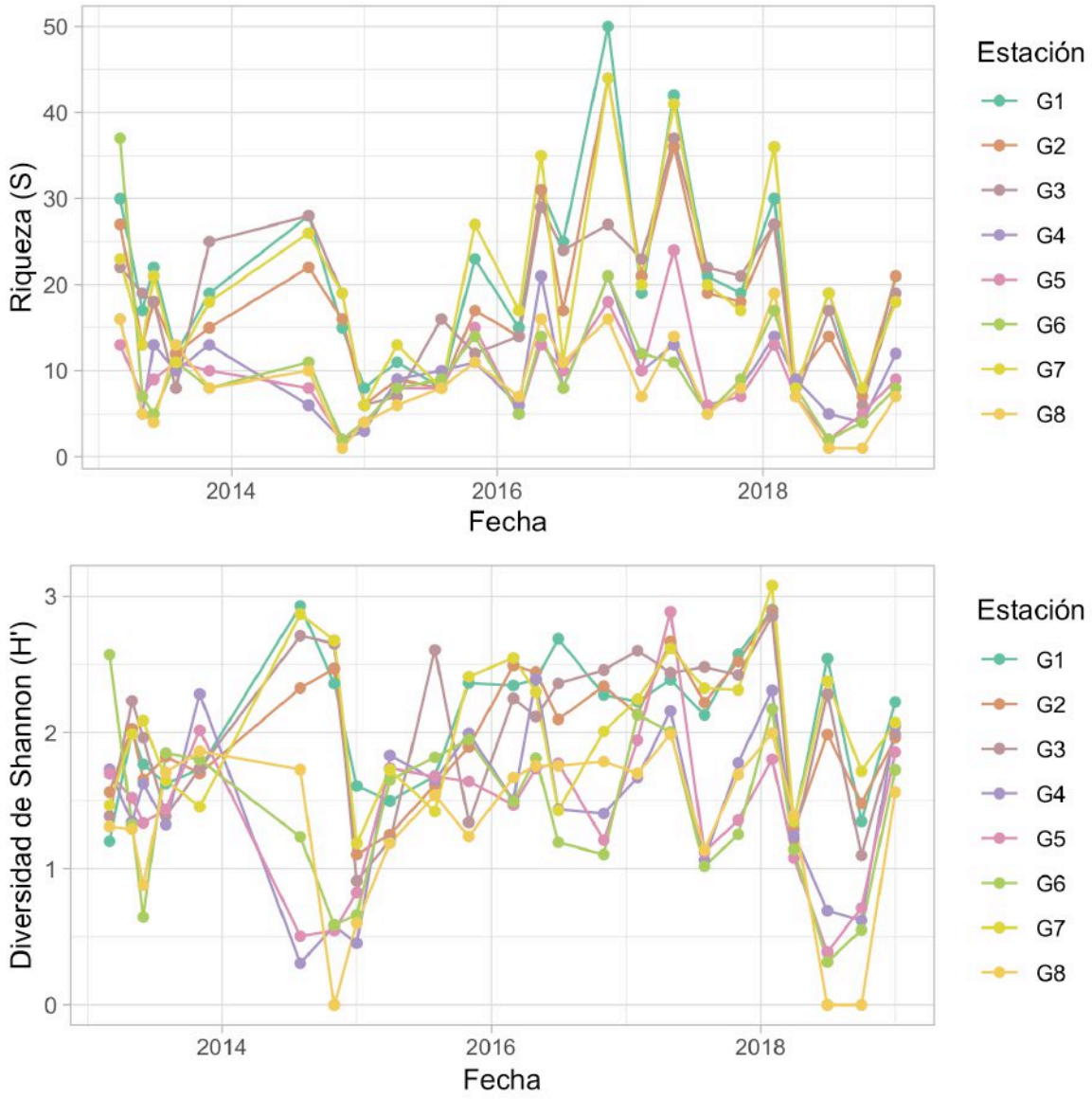


Figura 181. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

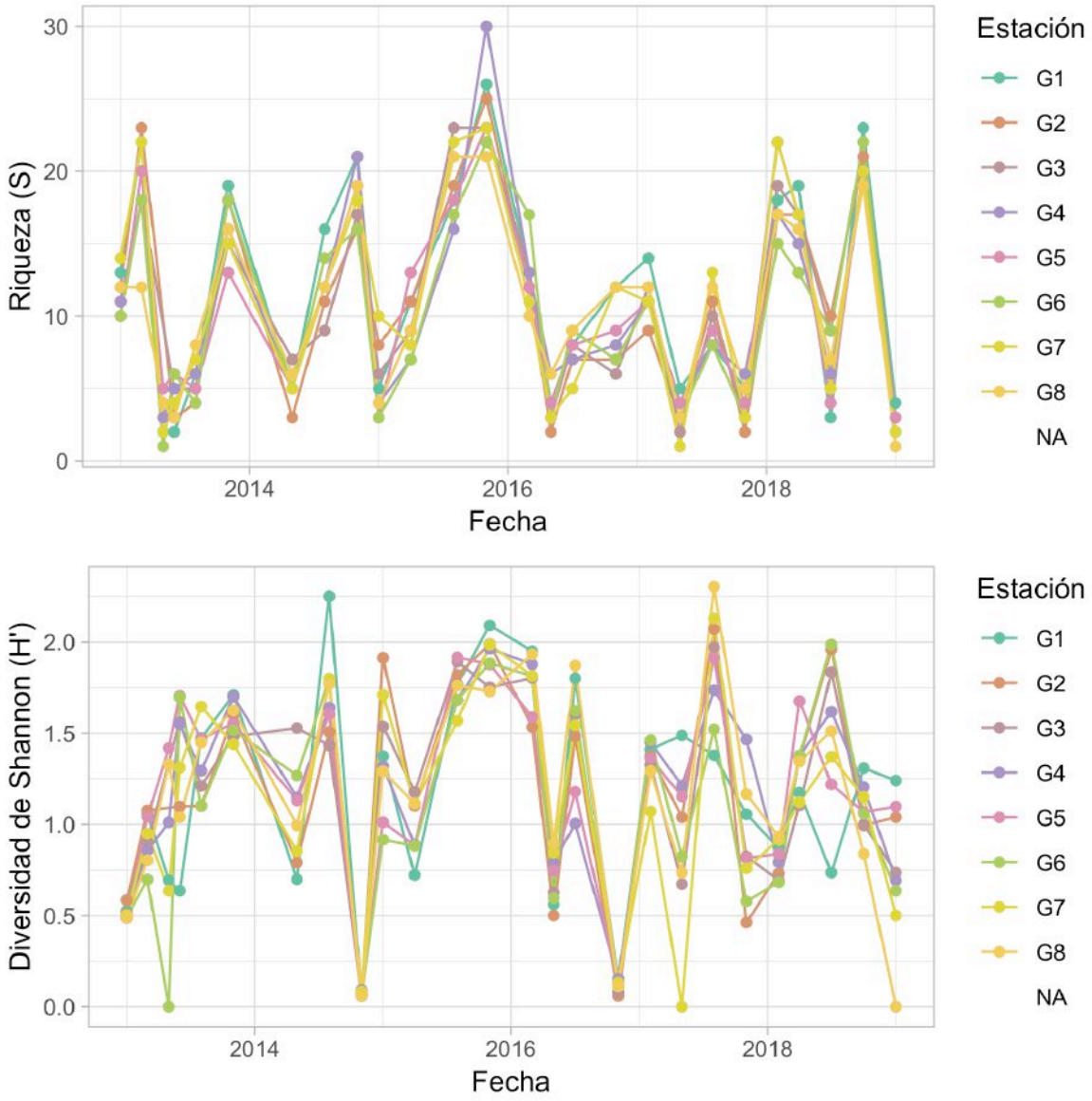


Figura 182. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para las comunidades del fitoplancton.

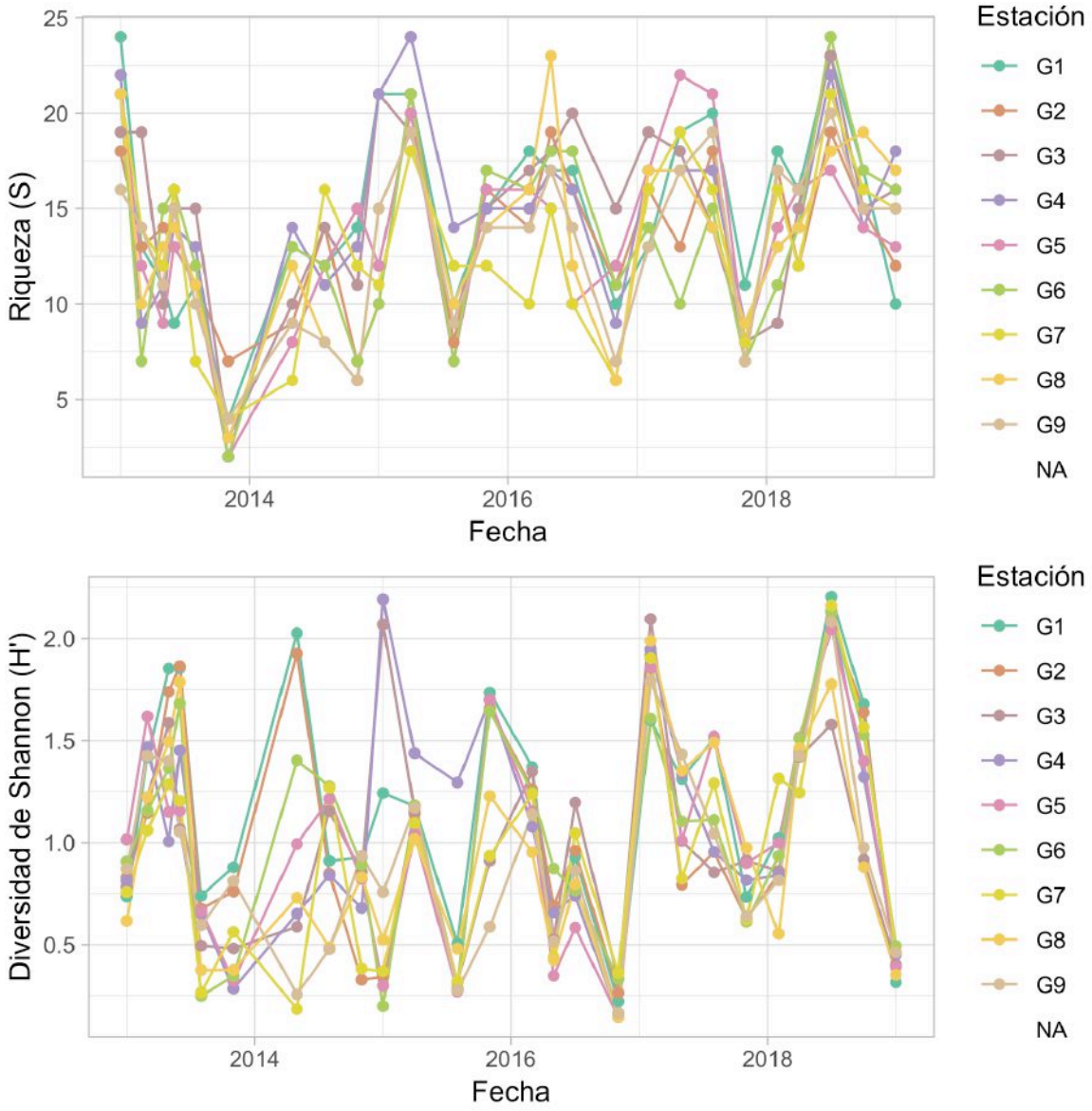


Figura 183. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para las comunidades del zooplancton.

5.2.12.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Ninguno de los parámetros analizados, presentó diferencias significativas entre estratos de profundidad.

Diferencias entre años

Para hidrografía todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo para pH y salinidad el efecto que explica mayormente la variabilidad observada en los datos. En todos estos casos, si bien se observa variabilidad entre años, no se aprecian tendencias ascendentes y/o descendentes en la serie de datos analizados.

Para calidad de agua, todos los parámetros presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. En el caso de solidos sedimentables, hidrocarburos parafínicos e hidrocarburos totales, las variaciones interanuales corresponden a cambios en los límites de detección de las técnicas de laboratorio. Para el caso de la transparencia, zona fótica, e hidrocarburos parafínicos, se observan tendencias descendentes hacia los últimos años de la serie de datos analizadas. En el caso del cloro libre residual se observan importantes variaciones entre años de monitoreo sin detectarse tendencias notales ascendentes y/o descendentes.

En el caso de los sedimentos submareales todos los parámetros presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año, el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. En el caso del HCT las diferencias entre años se producen debido a cambios en los límites de detección de las técnicas de laboratorio. En el caso de la materia orgánica total, se observa una tendencia descendente hacia los últimos años de la serie.

Estacionalidad

Para hidrografía todos los parámetros, presentaron diferencias significativas entre épocas del año, de estos parámetros, siendo para la temperatura el efecto que explicó mayormente la variabilidad de los datos, observándose mayores temperaturas durante el primer trimestre (verano), mientras que las temperaturas más bajas se observaron en el tercer trimestre (invierno).

En el caso de calidad de agua y sedimentos, todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre épocas del año. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

Sólo en hidrografía, y específicamente para temperatura y oxígeno disuelto se observaron diferencias significativas entre estaciones de muestreo. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Para el resto de los parámetros monitoreados tanto en calidad de agua como en sedimentos no se observaron diferencias significativas entre estaciones de muestreo, lo cual puede estar asociado con la ubicación de las estaciones, las cuales están todas frente a la planta alrededor del muelle de la misma UF (**Figura 161**).

5.2.13 Compañía de Petróleos de Chile - COPEC S.A.

5.2.13.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 184** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo COPEC S.A. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar 4 estaciones de monitoreo submareal muy costeras (menor a 15 m de profundidad) y frente a la ubicación de la planta, y un punto de control al norte de la bahía. Adicionalmente, el programa comprende el monitoreo de 2 estaciones intermareales.

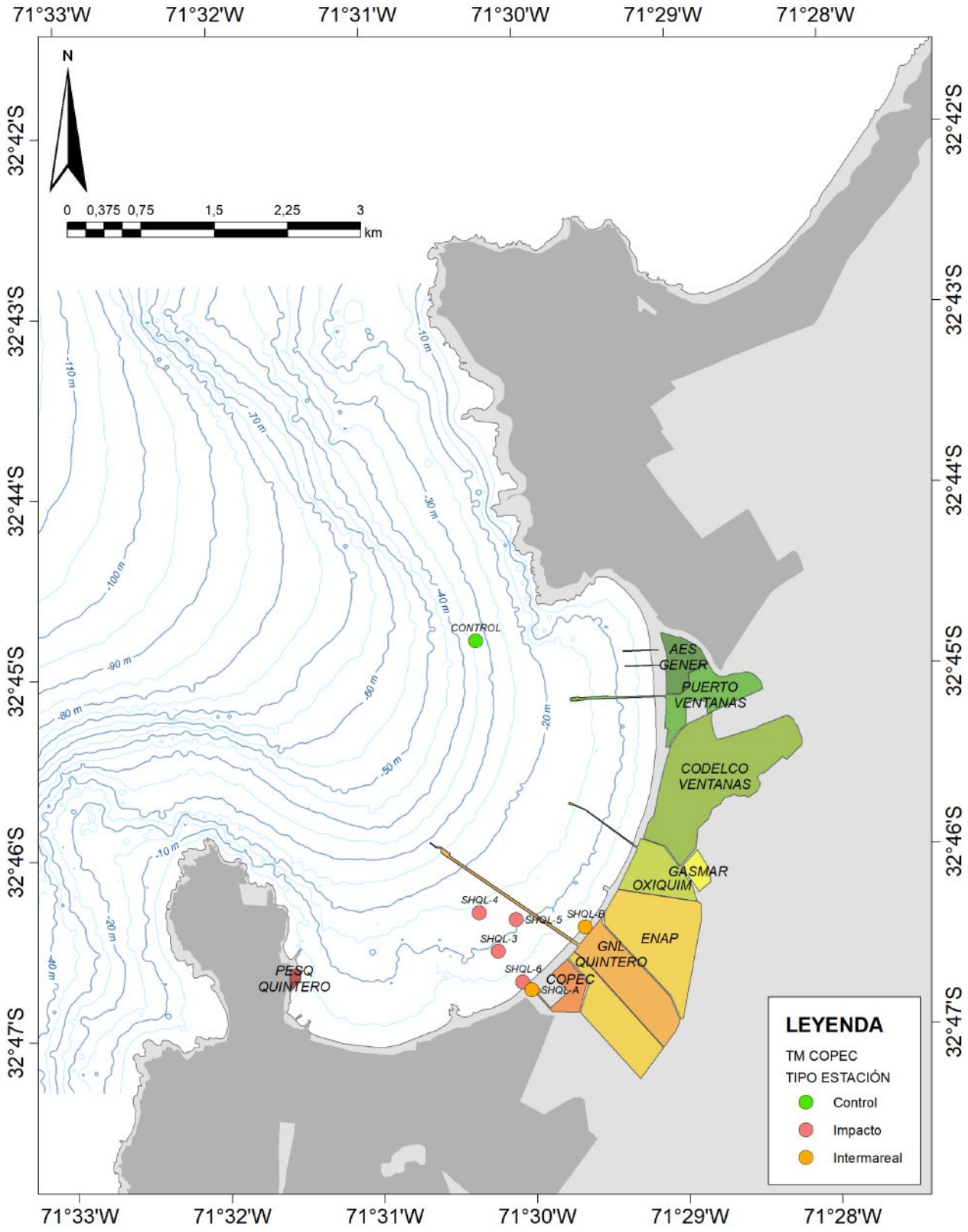


Figura 184. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF COPEC S.A.

5.2.13.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a agua submareal, sedimento submareal e intermareal, y análisis macrofauna submareal (**Tabla 82**).

Tabla 82. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ COPEC S.A.

ESTACIÓN	TIPO	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA
SHQL-3	Impacto	X	X	X
SHQL-4	Impacto	X	X	X
SHQL-5	Impacto	X	X	X
SHQL-6	Impacto	X		
CONTROL	Control	X		
SHQL-A	Intermareal		X	
SHQL-B	Intermareal		X	

5.2.13.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 83** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. En agua submareal los parámetros monitoreados corresponden a Aceites y grasas, Benceno, Etilbenceno, Hidrocarburos alifáticos, Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Hidrocarburos aromáticos totales, Níquel, pH, Plomo, Solidos suspendidos, Tolueno, Vanadio y Xileno. En sedimentos junto con los parámetros granulométricos, se mide Hidrocarburos alifáticos, Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Hidrocarburos aromáticos totales, Níquel, Plomo, Vanadio, Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno. Finalmente, en comunidades del submareal se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón.

Tabla 83. Parámetros analizados en cada una de las matrices de COPEC S.A.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Calidad agua	Aceites y grasas	mg/L	AyG
Calidad agua	Benceno	ug/L	Benc
Calidad agua	Etilbenceno	ug/L	EtilBenc
Calidad agua	Hidrocarburos alifaticos	mg/L	HAL
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos policiclicos	mg/L	HAP
Calidad agua	Hidrocarburos aromáticos totales	mg/L	HAT
Calidad agua	Niquel	ug/L	Ni
Calidad agua	pH	Unidad	pH
Calidad agua	Plomo	ug/L	Pb
Calidad agua	Solidos suspendidos totales	mg/L	SolSus
Calidad agua	Tolueno	ug/L	TN
Calidad agua	Vanadio	ug/L	V
Calidad agua	Xileno	ug/L	Xi
Calidad sedimento	Hidrocarburos alifaticos	mg/kg	HAL
Calidad sedimento	Hidrocarburos aromáticos policiclicos	mg/kg	HAP
Calidad sedimento	Hidrocarburos aromáticos totales	mg/kg	HAT
Calidad sedimento	Niquel	mg/kg	Ni
Calidad sedimento	Plomo	mg/kg	Pb
Calidad sedimento	Vanadio	mg/kg	V
Calidad sedimento	Benceno	mg/kg	Benc
Calidad sedimento	Etilbenceno	mg/kg	EtilBenc
Calidad sedimento	Tolueno	mg/kg	TN
Calidad sedimento	Xileno	mg/kg	Xi
Calidad sedimento	Arena Fina	%	AF
Calidad sedimento	Arena Gruesa	%	AG
Calidad sedimento	Arena Mediana	%	AM
Calidad sedimento	Arena Muy Fina	%	AMF
Calidad sedimento	Arena Muy Gruesa	%	AMG
Calidad sedimento	Cascajo Muy Fino	%	CMF
Calidad sedimento	Grava	%	Grava
Calidad sedimento	Guijarro	%	Guij
Calidad sedimento	Limo Arcilla	%	LA
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B

5.2.13.4 Estadística descriptiva

5.2.13.4.1 Calidad de agua

Se entregan los resultados de aceites y grasas (AyG), benceno (Benc), etilbenceno (EtilBenc), hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), pH, plomo (Pb), sólidos suspendidos (SolSus), tolueno (TN), vanadio (V) y xileno (Xi), medidos en agua submareal (**Tabla 84**).

Se observa que, a lo largo de la columna de agua, los registros de la mayoría de los parámetros medidos presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 100%,

destacando a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, como el parámetro con mayor variabilidad (CV=234%). Cabe destacar que, los parámetros benceno, etilbenceno, tolueno y xileno estuvieron siempre bajo los límites de detección. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 84. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
AyG	mg/L	65	0,0003	10	1,631	2,447	150%	0,344	0,000	100%
Benc	ug/L	5	5	5	5,000	0,000	0%	-	-	100%
EtilBenc	ug/L	5	2	2	2,000	0,000	0%	-	-	100%
HAL	mg/L	98	0,0001	1	0,170	0,273	160%	0,624	0,000	100%
HAP	mg/L	97	0,0000002	0,0136	0,001	0,002	234%	0,455	0,000	76%
HAT	mg/L	97	0,000002	0,05	0,005	0,012	215%	0,466	0,000	71%
Ni	ug/L	29	1	66	13,207	14,519	110%	0,576	0,000	83%
pH	Unidad	15	7,9	8,2	8,025	0,073	1%	0,914	0,157	0%
Pb	ug/L	29	2,5	380	34,824	78,115	224%	0,398	0,000	48%
SolSus	mg/L	98	1	75	8,961	13,532	151%	0,510	0,000	68%
TN	ug/L	5	50	50	50,000	0,000	0%	-	-	100%
V	ug/L	29	1	100	19,176	37,583	196%	0,494	0,000	66%
Xi	ug/L	5	50	50	50,000	0,000	0%	-	-	100%

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.13.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 84**.

En las **Figuras 185 a 197** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2005 y 2018.

Los aceites y grasas (**Figura 185**), presentaron un patrón similar entre estaciones, con niveles en torno a 1 mg/L hasta el año 2017, para luego aumentar hasta máximos de 10 mg/L, durante el año 2018. El benceno (**Figura 186**), el cual fue evaluado solo durante la campaña 25, se mantuvo constante en 5 ug/L a lo largo de todos los años y en todas las campañas de muestreo. El etilbenceno (**Figura 187**) presentó un patrón similar, pero con valores en torno a 2 ug/L para todas las estaciones. Para los hidrocarburos alifáticos (**Figura 188**), todos los datos se encontraron bajo los límites de detección con máximos de 1 mg/L. Un patrón similar fue registrado para los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 189**), con máximos superiores a 0,01 mg/L y mínimos de 0,0002 mg/L. Los hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 190**), presentaron

tendencias similares entre estaciones, con alta variabilidad hasta el año 2010, a partir de esa fecha todos los valores estuvieron bajo los límites de detección. La tendencia para níquel (**Figura 191**) fue similar entre estaciones, fluctuando entre 10 y 31 ug/L, destacando un peak superior a 31 ug/L, en todas las estaciones. El pH (**Figura 192**) presentó una alta variabilidad entre estaciones, fluctuando entre 7,9 (estaciones SHQL5 y Control) y 8,2 (estación SHQL4). Los niveles de plomo (**Figura 193**) presentaron tendencias similares entre estaciones, fluctuando entre 1 y 300 ug/L siendo los máximos registrados el año 2015. Los sólidos suspendidos (**Figura 194**) fluctuaron entre 1 y 30 mg/L hasta el 2017, seguido de un aumento hasta máximos superiores a 50 mg/L en todas las estaciones. El tolueno y xileno (**Figura 195 y 196**), fueron evaluados solo durante la campaña 25, los cuales se mantuvieron el límite de detección (50 ug/L) a lo largo de toda la campaña de muestreo. Finalmente, para el vanadio (**Figura 197**), los niveles fluctuaron entre 1 y 10 ug/L hasta el año 2017, para luego, durante el año 2018, aumentar notoriamente hasta máximos de 100 ug/L, en todas las estaciones de muestreo.

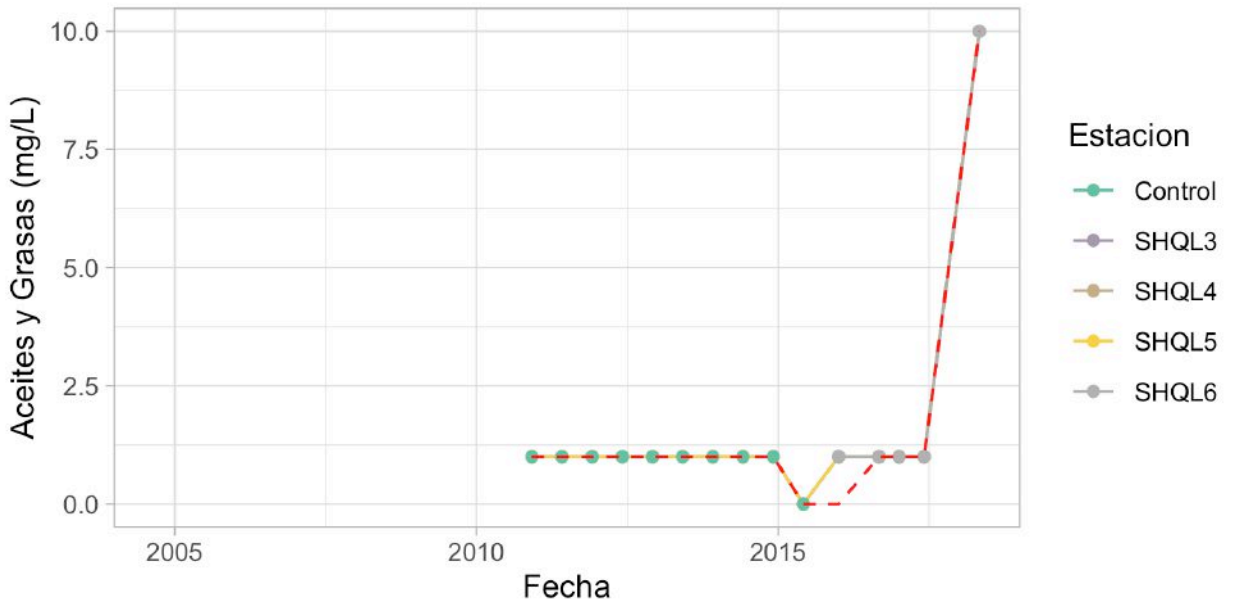


Figura 185. Niveles de aceites y grasas (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

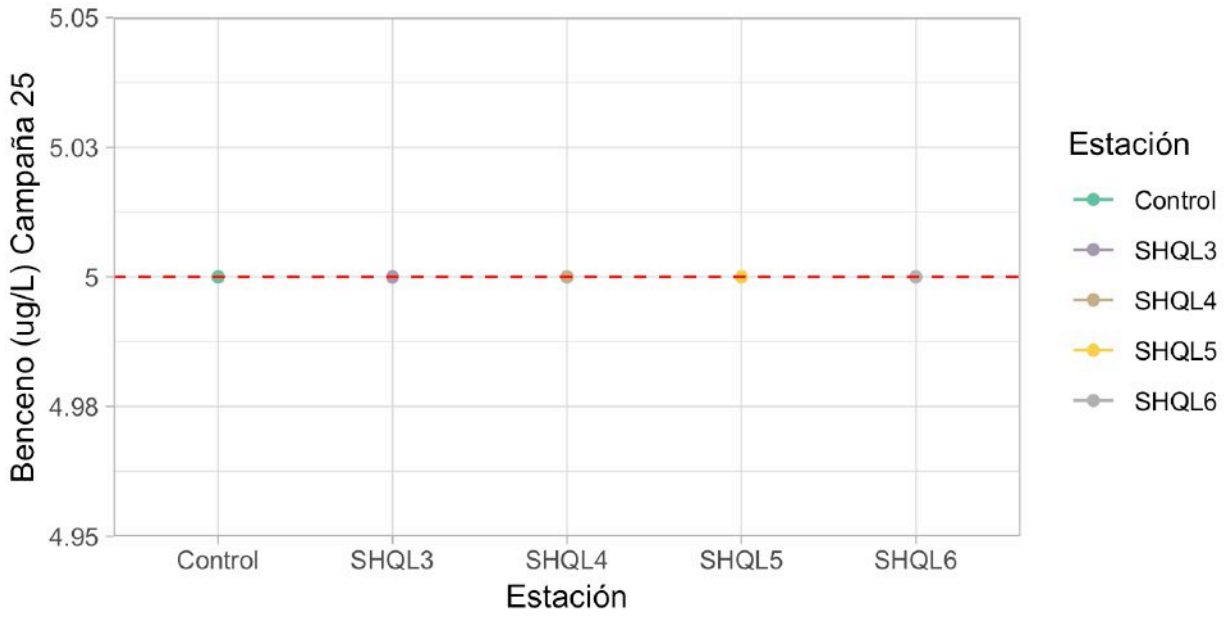


Figura 186. Niveles de benceno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018.

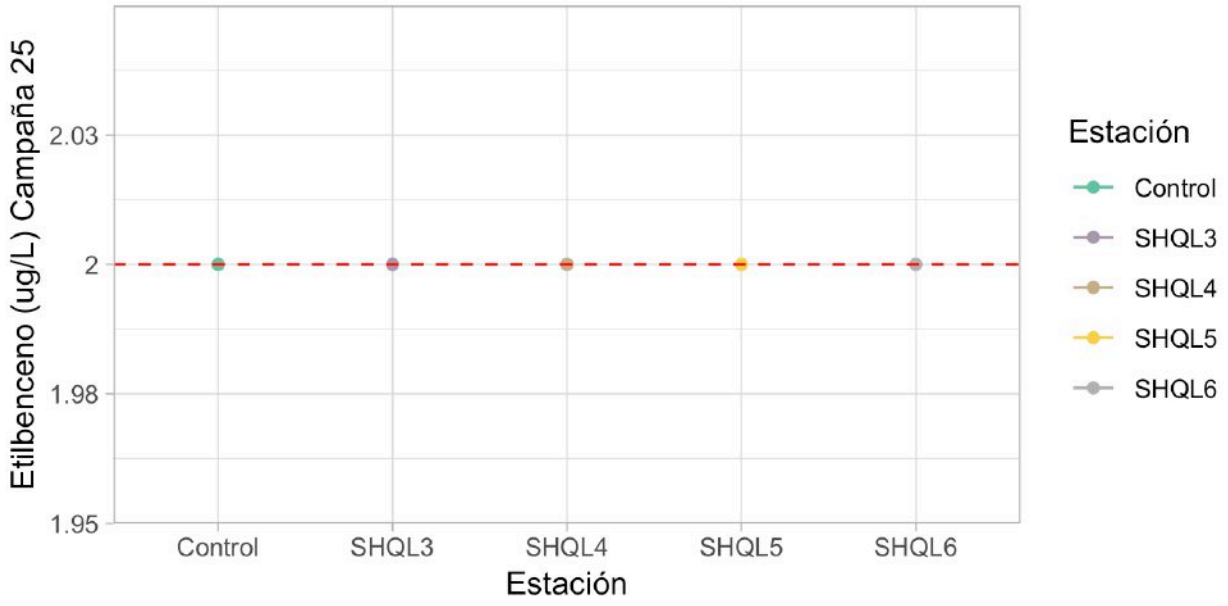


Figura 187. Niveles de etilbenceno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

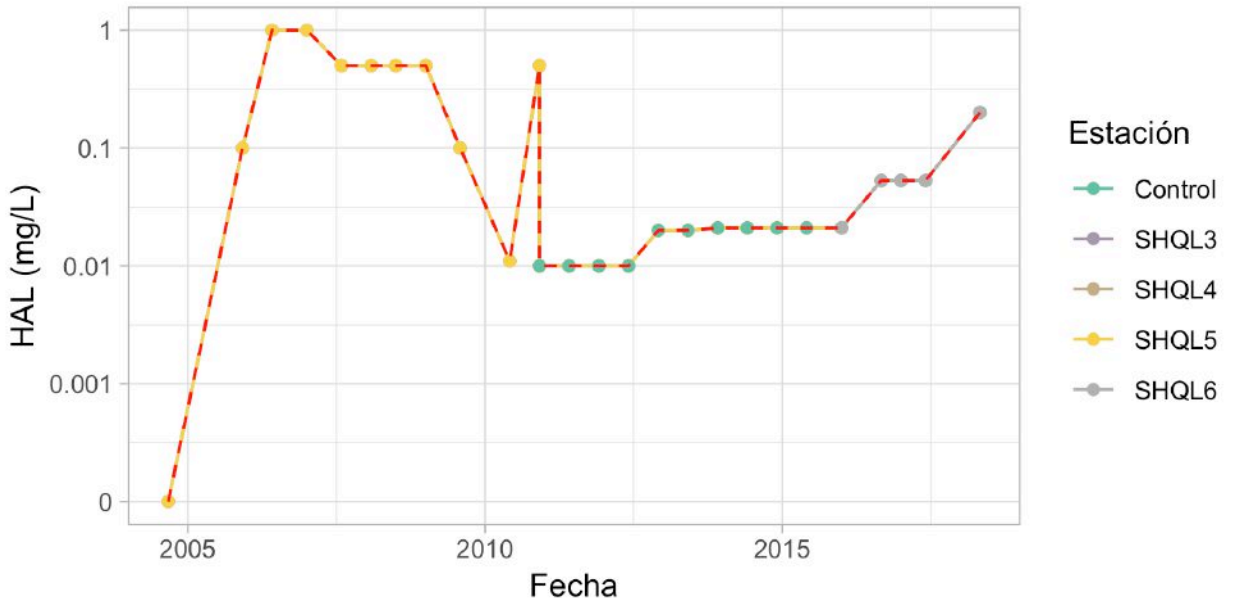


Figura 188. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

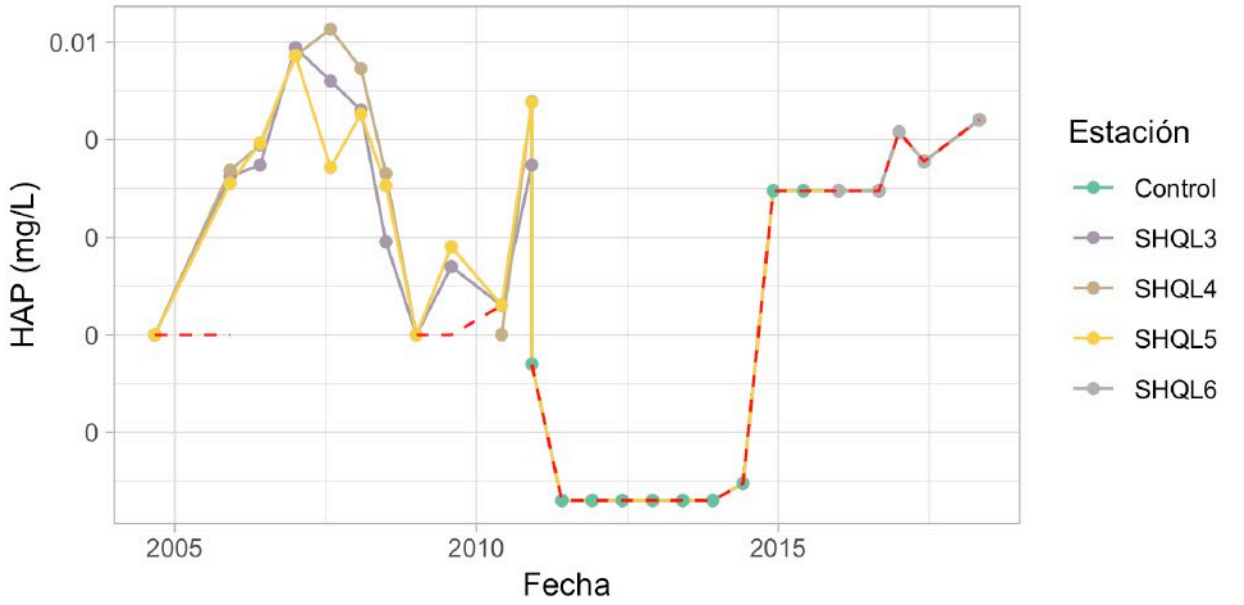


Figura 189. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

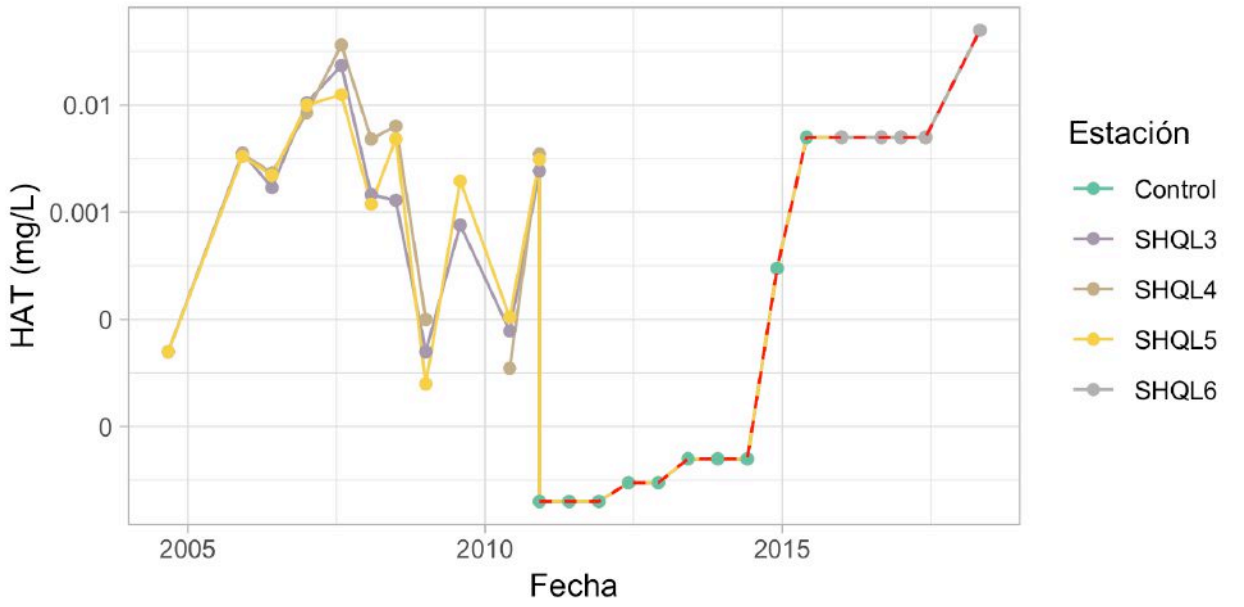


Figura 190. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

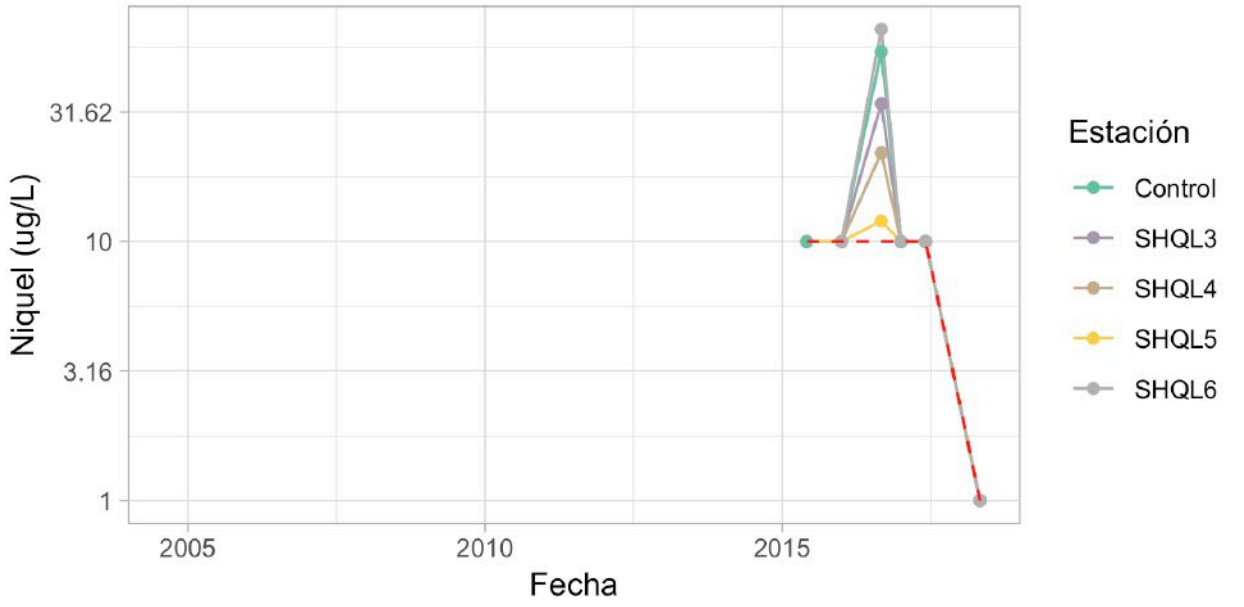


Figura 191. Niveles de níquel (μg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

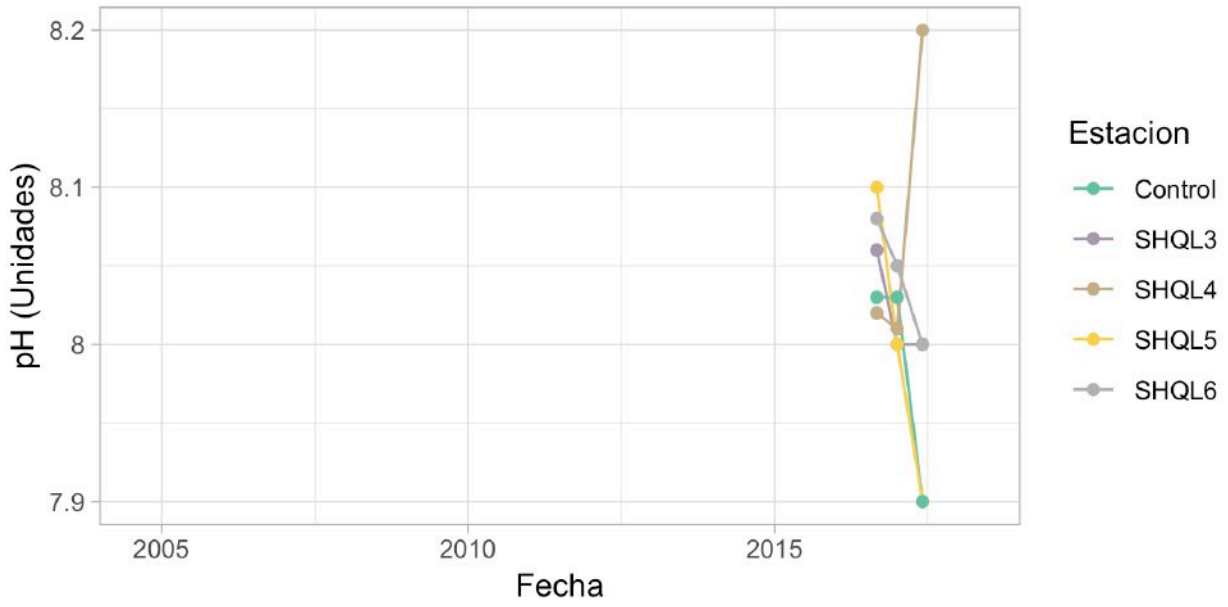


Figura 192. Niveles de pH, por estación, entre los años 2005 y 2018.

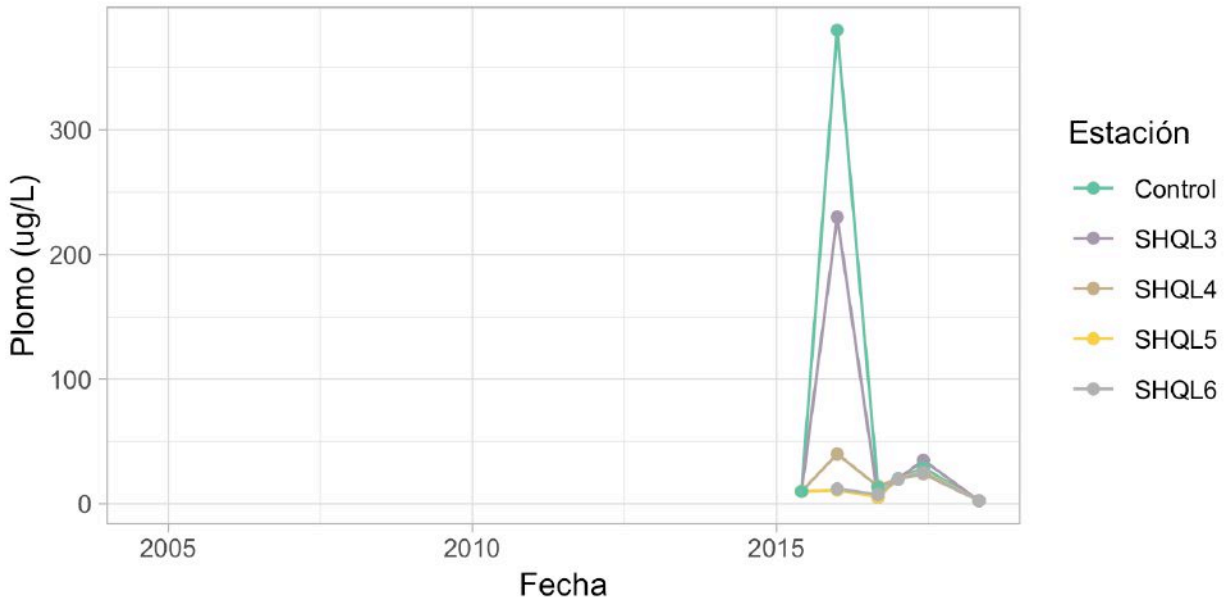


Figura 193. Niveles de plomo (μg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

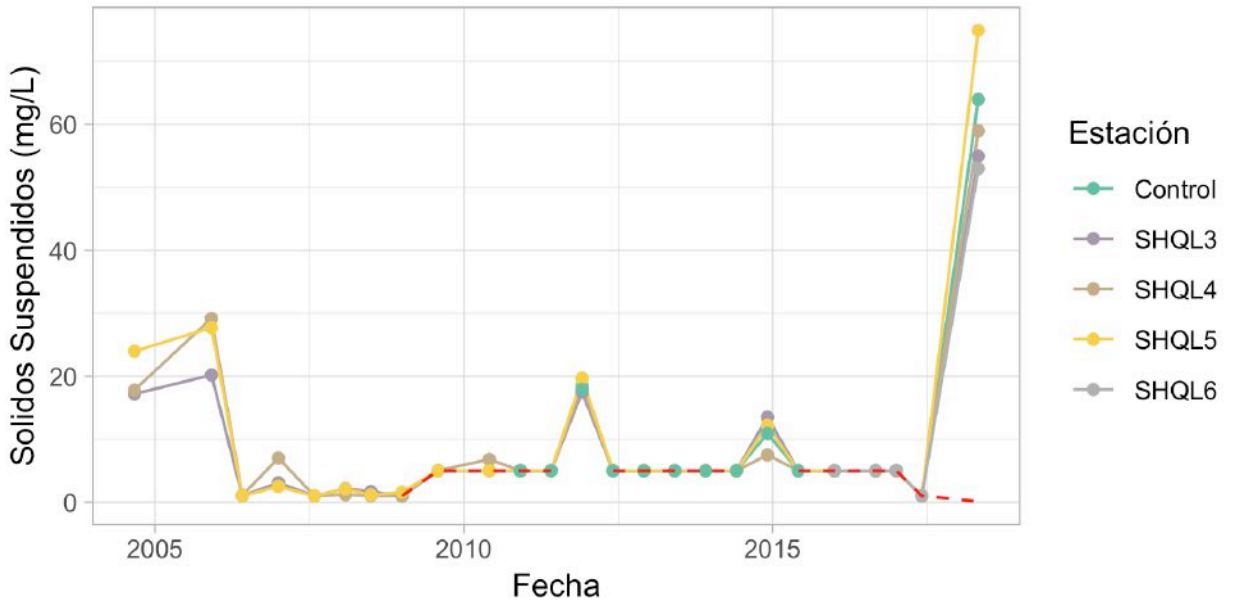


Figura 194. Niveles de sólidos suspendidos (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

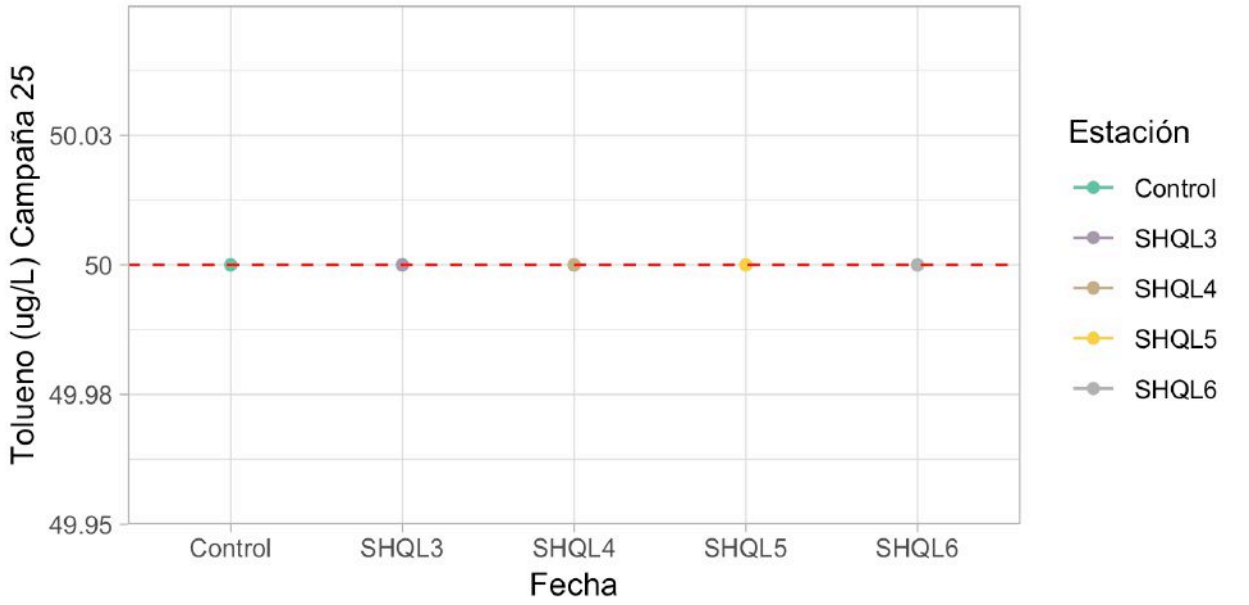


Figura 195. Niveles de tolueno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

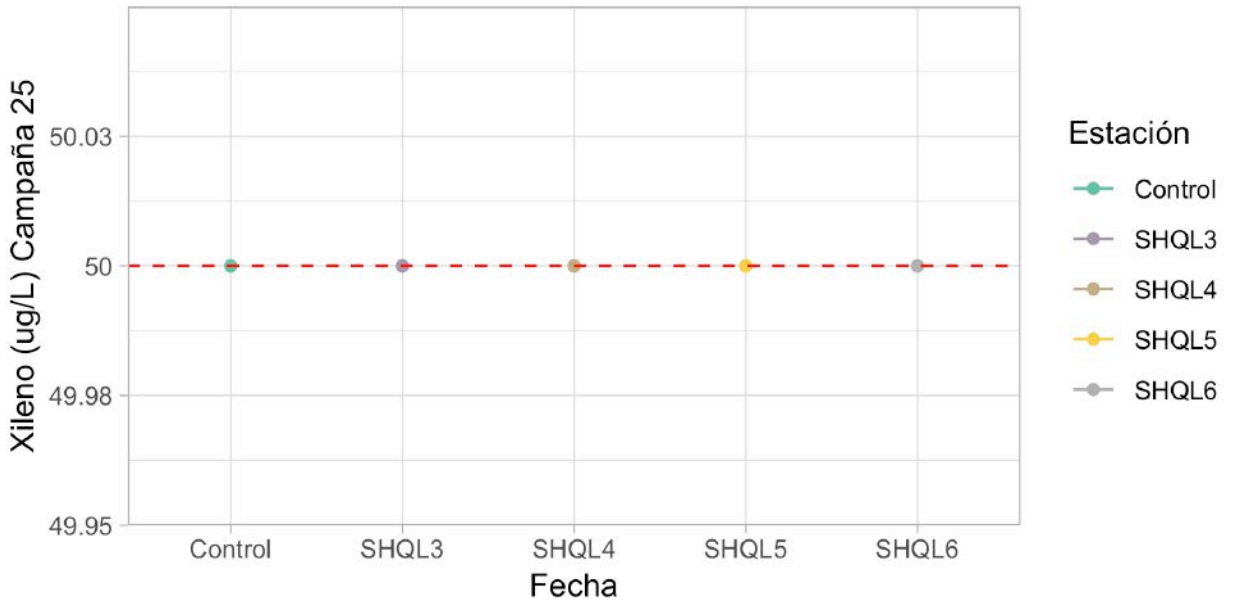


Figura 196. Niveles de xileno (μg/L), por estación, durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

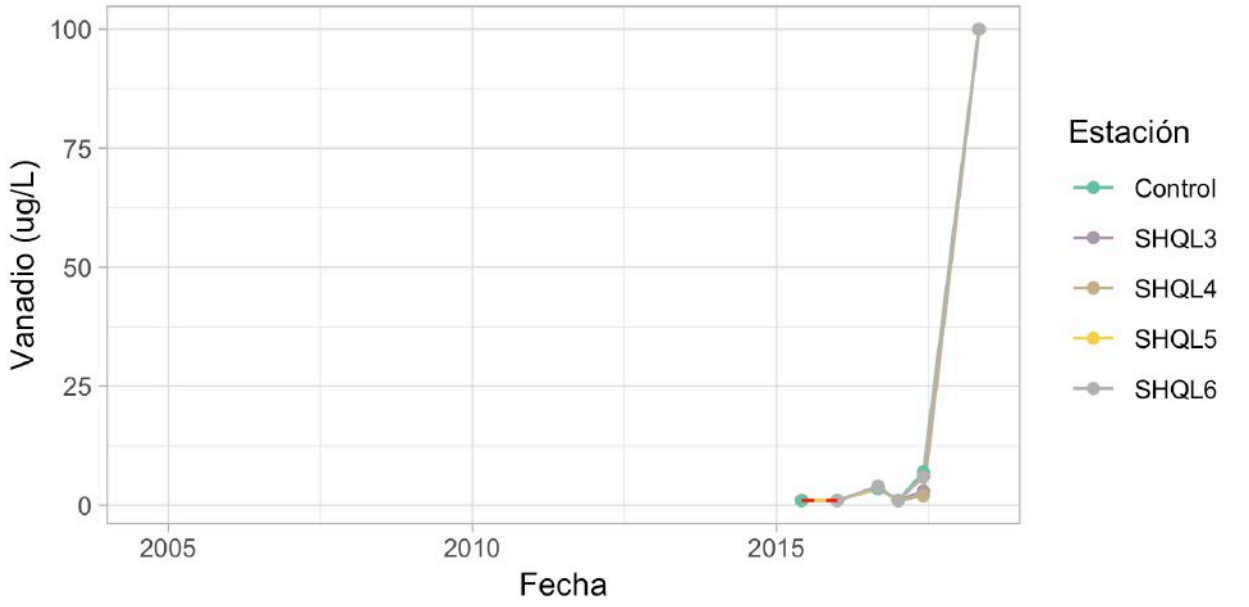


Figura 197. Niveles de vanadio (mg/L), por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.13.4.2 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos intermareales (**Tabla 85**). En términos generales los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando los parámetros hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), cascajo muy fino (CMF), guijarro (Guij) y limo y arcilla (LA), cuyos coeficientes de variación fueron mayores a 200%. Cabe destacar que, los parámetros benceno, etilbenceno, tolueno y xileno, registraron valores bajo el límite de detección.

Tabla 85. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento intermareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
HAL	mg/kg	52	0,05	220	10,83	35,89	331%	0,3204	0,0000	73%
HAP	mg/kg	52	0	2,88	0,32	0,61	192%	0,5870	0,0000	56%
HAT	mg/kg	52	0,01	26,4	1,30	4,31	330%	0,3091	0,0000	62%
Ni	mg/kg	8	0,91	2,07	1,51	0,46	31%	0,8653	0,1354	0%
Pb	mg/kg	8	1,47	4,9	2,53	1,34	53%	0,7420	0,0067	0%
V	mg/kg	8	15,01	22,9	19,04	3,15	17%	0,8988	0,2821	0%
Benc	mg/kg	2	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
EtilBenc	mg/kg	2	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
TN	mg/kg	2	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
Xi	mg/kg	2	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
AF	%	22	0,17	86,39	49,59	31,80	64%	0,8587	0,0048	-
AG	%	22	0,1	36,42	5,04	8,59	170%	0,5717	0,0000	-
AM	%	22	1,25	96,48	17,99	27,31	152%	0,6208	0,0000	-
AMF	%	22	0	48,34	10,27	14,85	145%	0,7310	0,0000	-
AMG	%	22	0	6,44	1,11	1,41	127%	0,6672	0,0000	-
CMF	%	20	0	6,1	0,64	1,37	213%	0,4867	0,0000	-
Grava	%	2	0	0,02	0,01	0,01	141%	-	-	-
Guij	%	20	0	5,6	0,33	1,25	378%	0,2928	0,0000	-
LA	%	22	0	94,07	14,42	29,92	208%	0,5432	0,0000	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.13.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 85**.

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 86**). En términos generales los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando los parámetros hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y arenas medias (AM)cuyos coeficientes de variación fueron superiores a 200% (289%, 210%, 253 y 224%, respectivamente).

Tabla 86. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
HAL	mg/kg	78	0,05	160	7,343	21,247	289%	0,3699	0,0000	76%
HAP	mg/kg	78	0,005	3,37	0,332	0,698	210%	0,5224	0,0000	46%
HAT	mg/kg	78	0,02	17,5	0,902	2,281	253%	0,4029	0,0000	58%
Ni	mg/kg	12	0,84	2,79	1,718	0,659	38%	0,9464	0,5848	8%
Pb	mg/kg	12	0,2	8,1	3,766	2,313	61%	0,9058	0,1887	0%
V	mg/kg	12	11,7	54,6	30,417	12,633	42%	0,9300	0,3798	0%
Benc	mg/kg	3	0,1	0,1	0,100	0,000	0%	-	-	100%
EtilBenc	mg/kg	3	0,1	0,1	0,100	0,000	0%	-	-	100%
TN	mg/kg	3	0,1	0,1	0,100	0,000	0%	-	-	100%
Xi	mg/kg	3	0,1	0,1	0,100	0,000	0%	-	-	100%
AF	%	33	0,1	95,93	33,636	29,742	88%	0,8823	0,0019	-
AG	%	33	0,18	11,91	2,488	2,874	116%	0,6931	0,0000	-
AM	%	33	0,61	93,71	11,428	25,564	224%	0,4323	0,0000	-
AMF	%	33	0	90,13	30,919	29,561	96%	0,8330	0,0001	-
AMG	%	33	0	13,8	1,460	2,432	167%	0,4983	0,0000	-
CMF	%	30	0	4,66	0,686	0,958	140%	0,6501	0,0000	-
LA	%	33	0,06	97,24	18,878	34,943	185%	0,5653	0,0000	-
Grava	%	3	0,06	0,83	0,330	0,433	131%	0,7889	0,0881	-
Guij	%	30	0	1,75	0,264	0,515	195%	0,5813	0,0000	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.13.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 86**.

En las **Figura 198 y 199** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el intermareal y submareal. Para el sedimento intermareal, se puede observar, en ambas estaciones, una mayor dominancia (>50%) de arenas finas (AF), exceptuando el año 2016, con mayor presencia (>50%) de limo y arcilla (LA), y el año 2017, con dominancia cercana al 100% de arena mediana (AM). Para el sedimento submareal, se observa una alta variabilidad en la composición granulométrica entre años, destacando los años 2012 y 2015, con mayor dominancia (>50%) de arena muy fina (AMF), seguido de arena fina (AF), mientras que los años 2016 y 2017 se registra un mayor dominio de limo y arcilla (LA) y arena mediana (AM) - arena fina (AF), respectivamente.

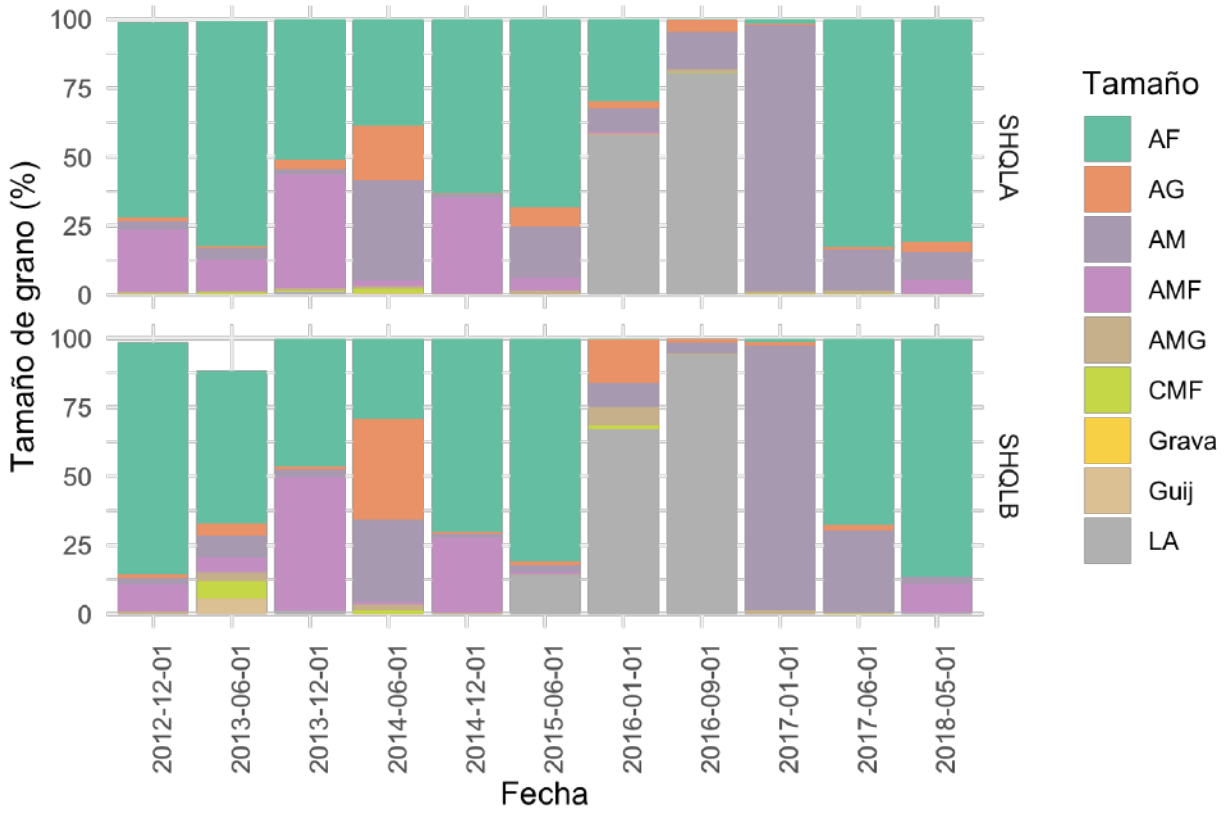


Figura 198. Fracción granulométrica por estación intermareal entre los años 2012 y 2018.

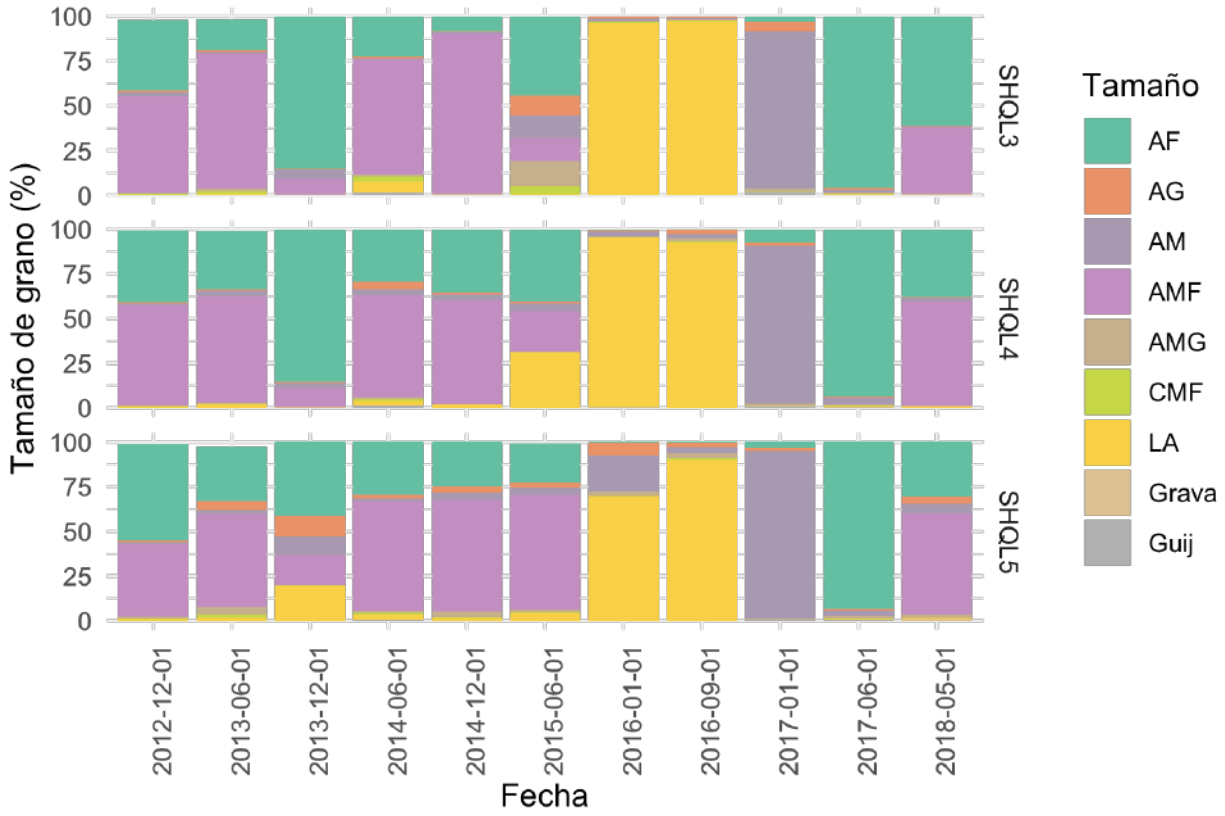


Figura 199. Fracción granulométrica por estación submareal entre los años 2012 y 2018.

En las **Figura 200 a 209** se entrega la tendencia de los parámetros hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), plomo (Pb), vanadio (V), benceno (Benc), etilbenceno (EtilBenc), tolueno (TN) y xileno (Xi) para sedimentos intermareales, para cada uno de las estaciones entre los años 2005 y 2018.

Los hidrocarburos alifáticos (**Figura 200**) se mantuvieron relativamente constantes, en torno a 0,3 mg/kg, destacando máximos durante el año 2007, de 140 mg/kg, para la estación SHQLB y de 220 mg/kg, para la estación SHQLA. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 201**), presentaron una tendencia ascendente, hasta alcanzar máximos cercanos a 3 mg/kg en la estación SHQLB y de 1,5 mg/kg en la estación SHQLA, para luego registrar una caída hasta mínimos, los cuales se mantuvieron constantes, en torno a 0,05 mg/kg hasta el 2017. A partir del año 2018, las concentraciones nuevamente aumentan hasta 2 mg/kg, en ambas estaciones. Los hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 202**), se mantuvieron relativamente constantes, en torno a 0,05 mg/kg, destacando máximos durante el año 2007, de 17 mg/kg para la estación SHQLB y de 26 mg/kg, para la estación SHQLA. El patrón registrado para níquel (**Figura 203**)

fue similar entre estaciones, fluctuando entre 0,9 y 2 mg/kg, destacando mayores niveles para la estación SHQLB. El plomo (**Figura 204**) muestra una tendencia ascendente en ambas estaciones, con máximos superiores a 4 mg/kg. Para el vanadio (**Figura 205**), se observan diferencias entre estaciones, con mínimos de 15 mg/kg y 17 mg/kg para las estaciones SHQLA y SHQLB, respectivamente; y máximos superiores a 22 mg/kg en ambas estaciones. El benceno, etilbenceno, tolueno y xileno (**Figura 206 a 209**) durante la única evaluación efectuada (campaña 25) presentaron valores similares entre estaciones, en torno a 0,1 mg/kg.

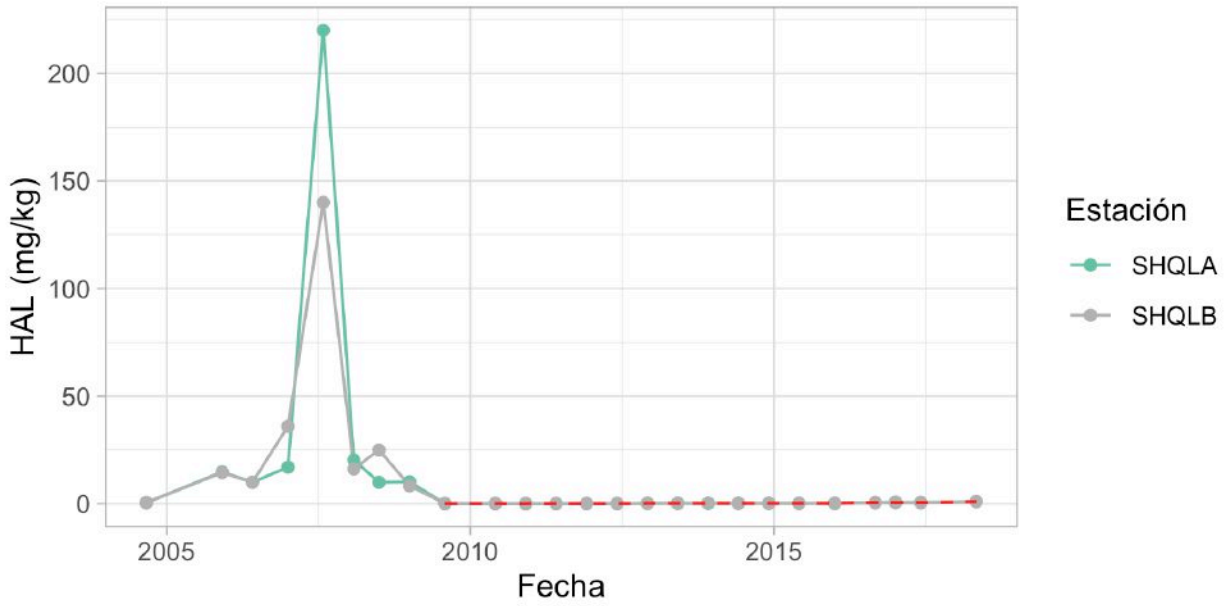


Figura 200. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

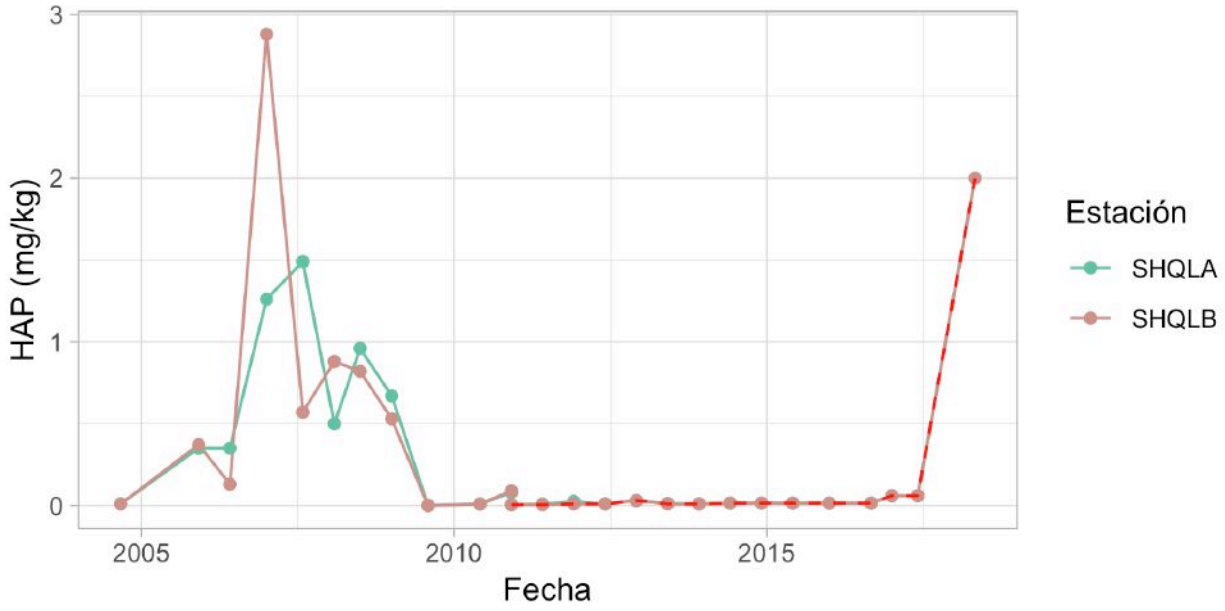


Figura 201. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

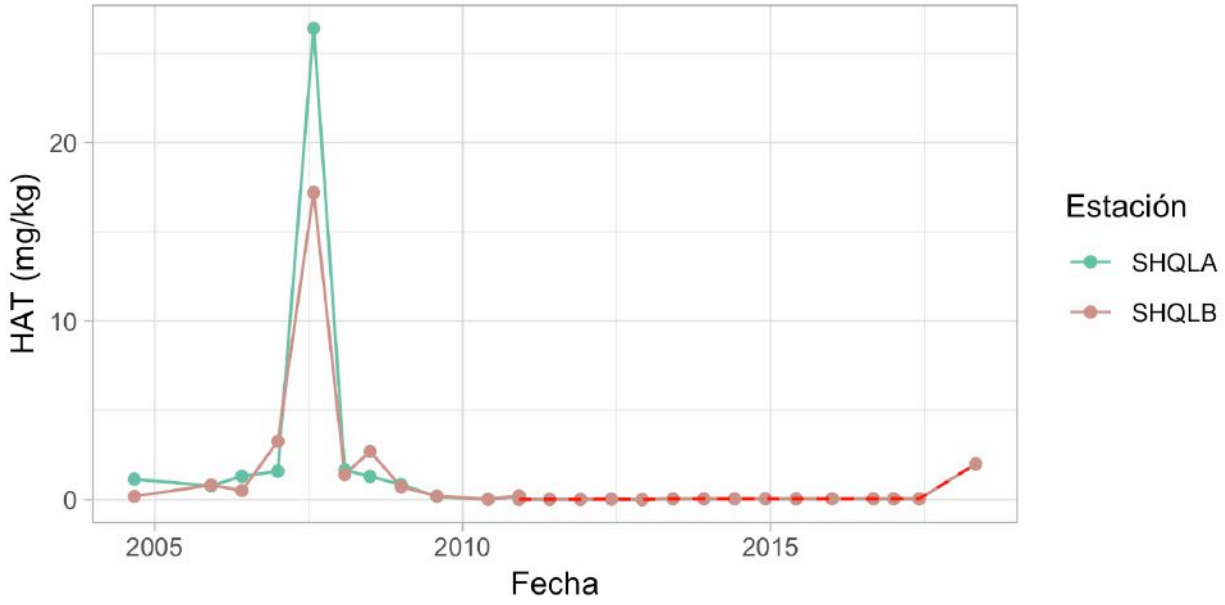


Figura 202. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

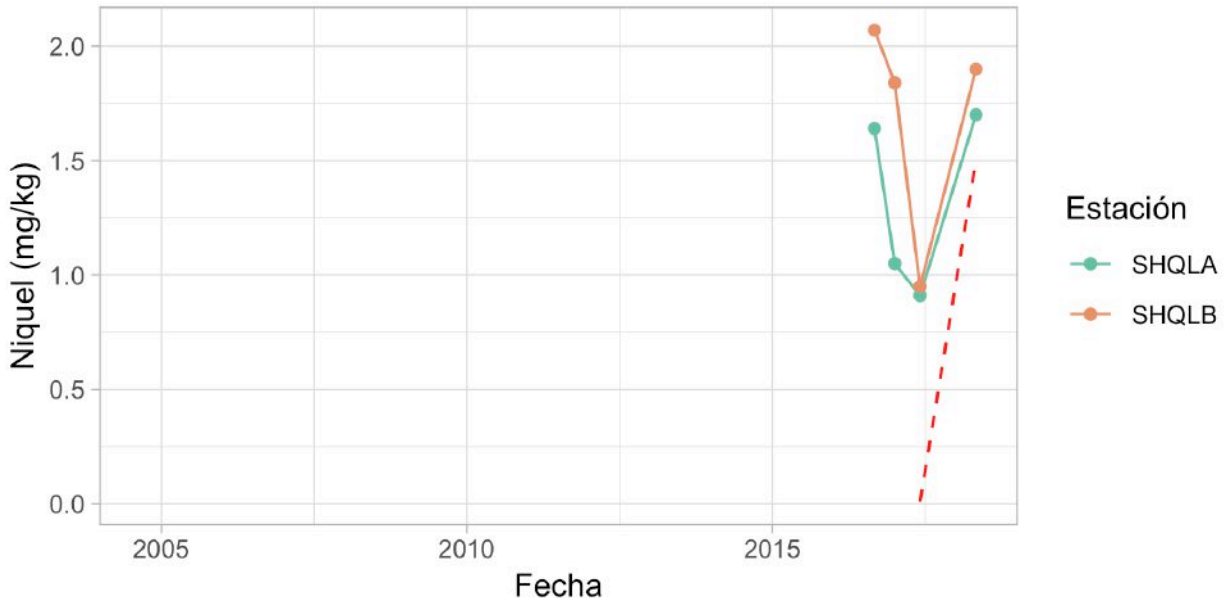


Figura 203. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos intermareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

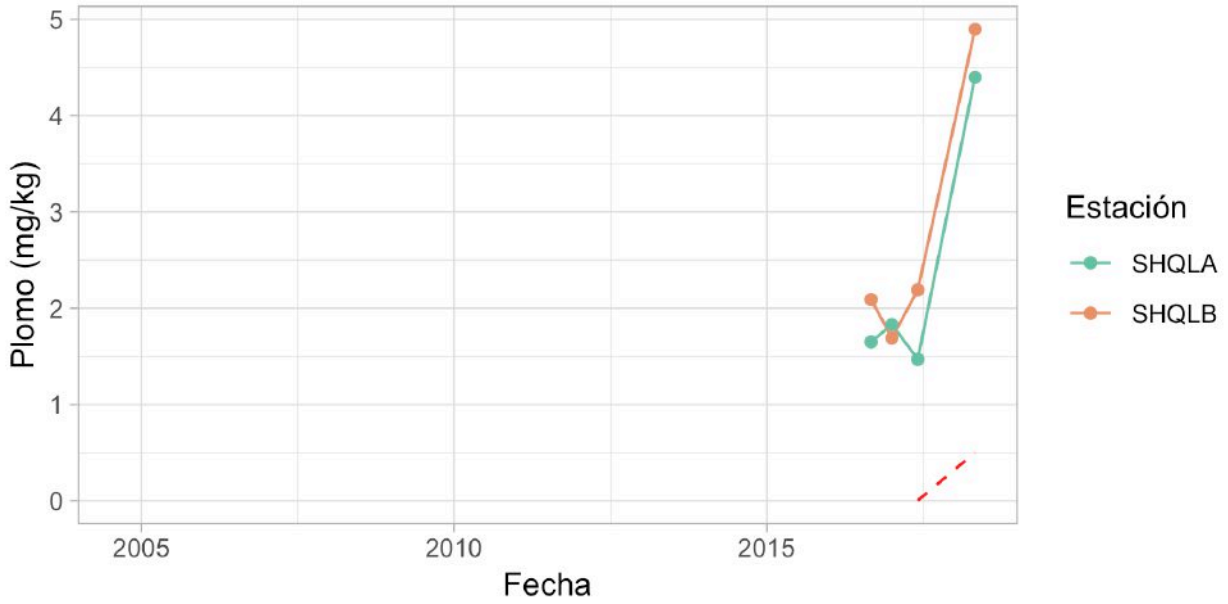


Figura 204. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos intermareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

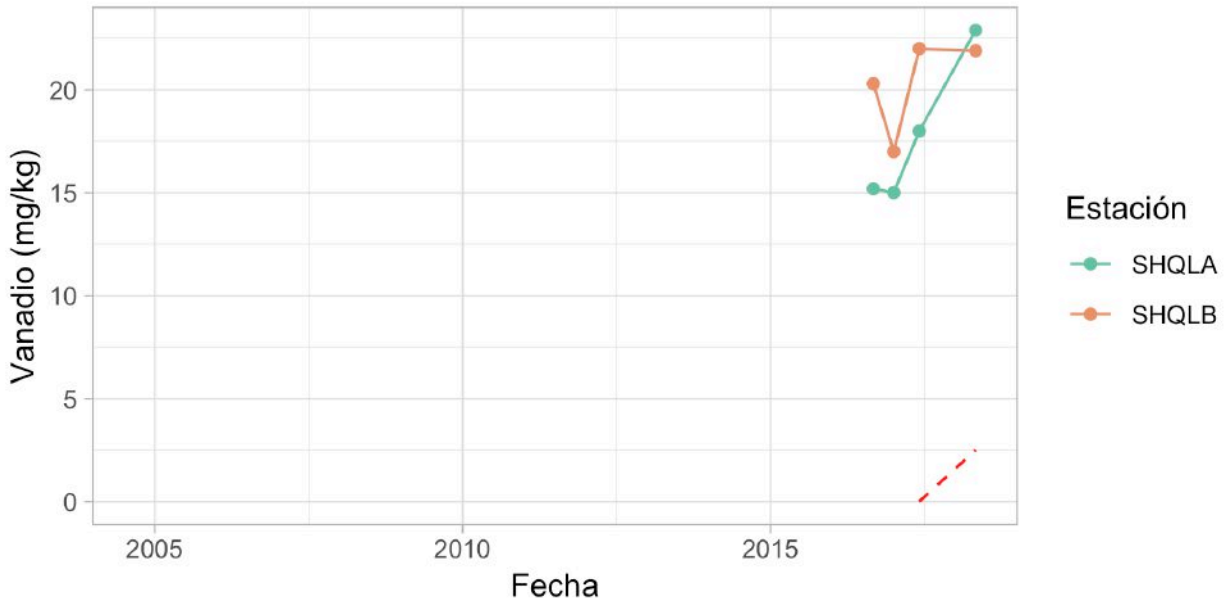


Figura 205. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos intermareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

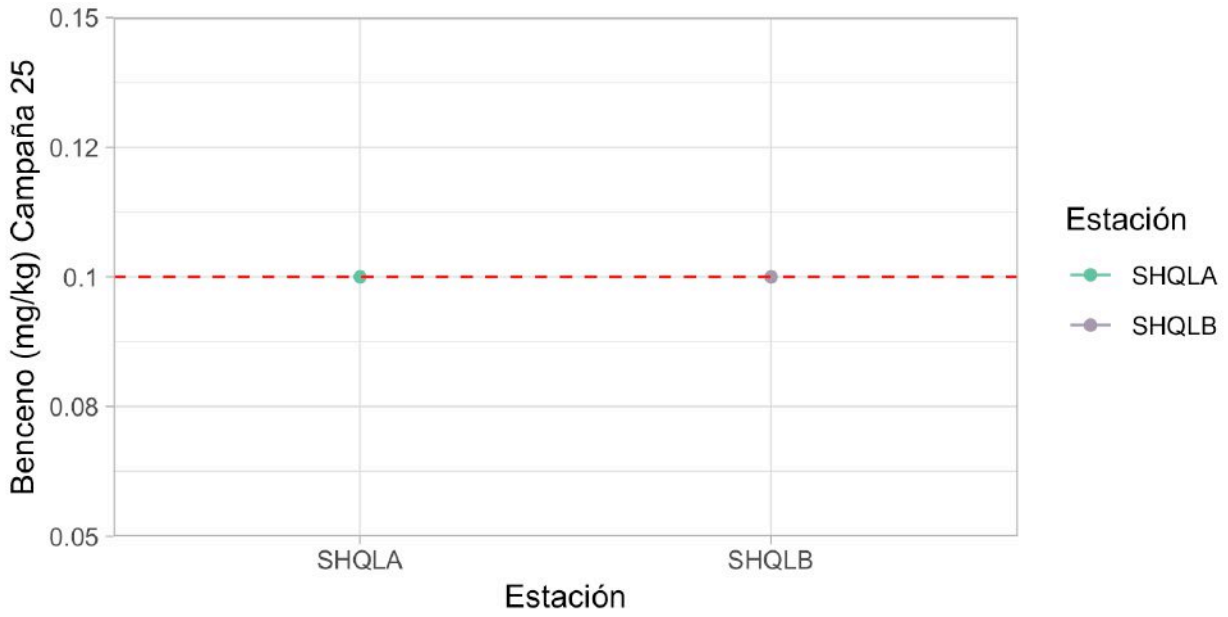


Figura 206. Niveles de benceno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

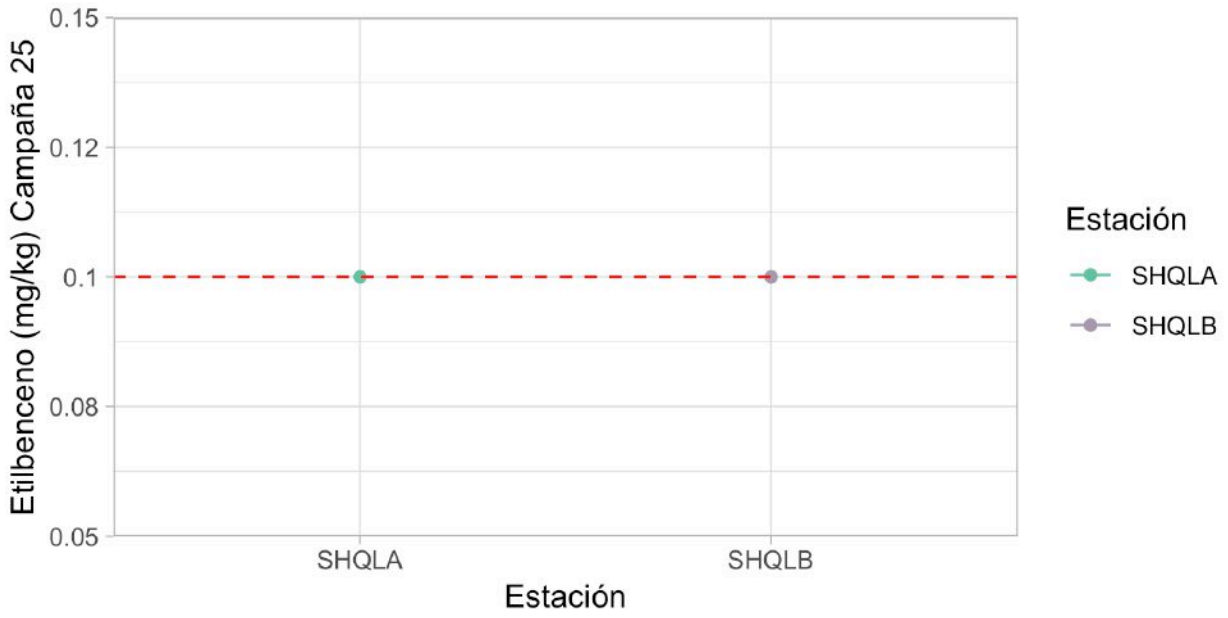


Figura 207. Niveles de etilbenceno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

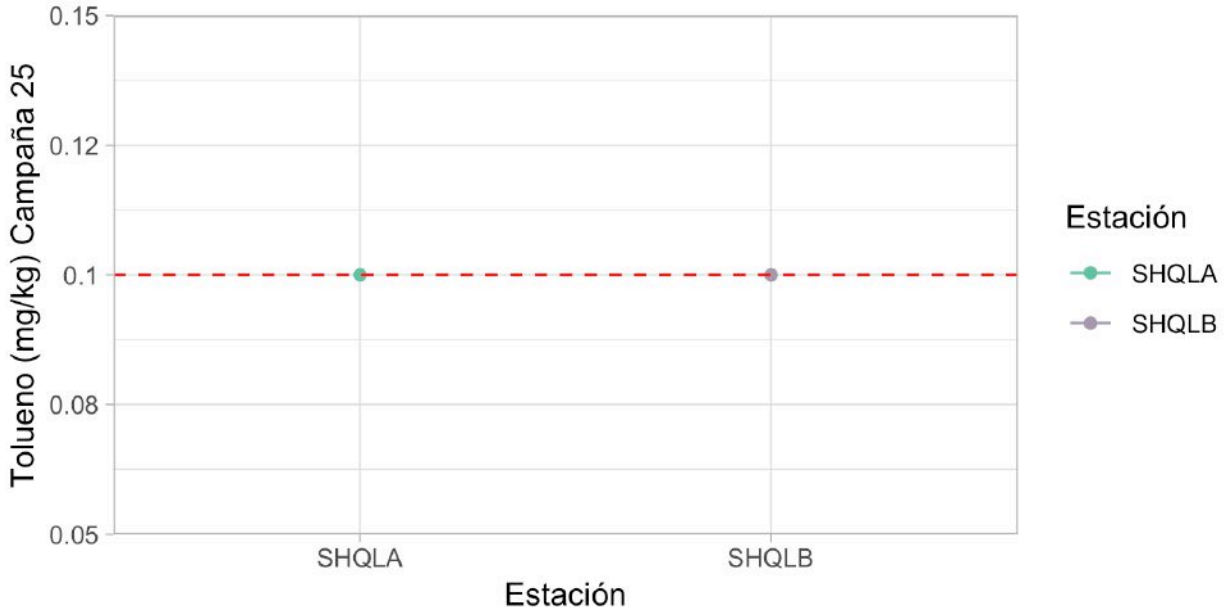


Figura 208. Niveles de tolueno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campana 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

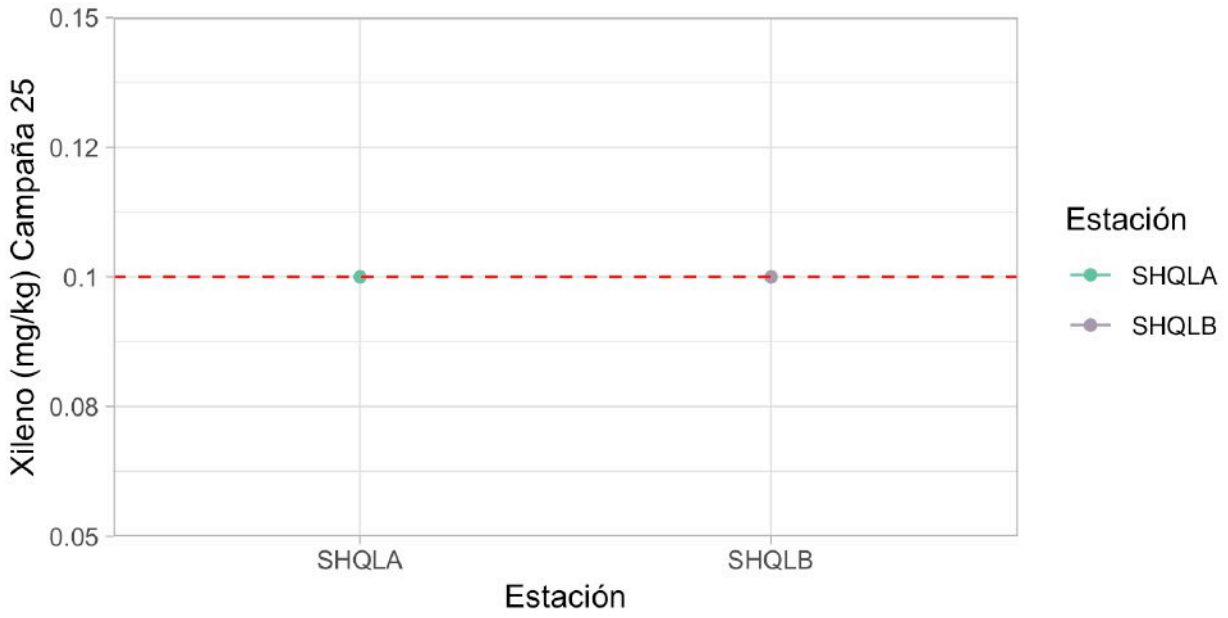


Figura 209. Niveles de xileno (mg/kg) en sedimentos intermareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

En las **Figuras 210 a 219** se entrega la tendencia de los parámetros hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), plomo (Pb), vanadio (V), benceno (Benc), etilbenceno (EtilBenc), tolueno (TN) y xileno (Xi) para sedimentos submareales, para cada uno de las estaciones entre los años 2005 y 2018.

Los hidrocarburos alifáticos (**Figura 210**) se mantuvieron relativamente constantes, en torno a 0,3 mg/kg, destacando máximos durante el año 2007, con valores superiores, que oscilaron entre 45 (estación SHQL4) y 160 mg/kg (estación SHQL3). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Figura 211**), presentaron una tendencia similar entre estaciones, pero con una alta variabilidad entre años, observan una tendencia ascendente, hasta alcanzar dos máximos superiores a 3 mg/kg en la estación SHQL4, para luego registrar una caída, la cual se mantuvo constante, en torno a 0,04 mg/kg hasta el 2017. A partir del año 2018, las concentraciones nuevamente aumentan hasta 2 mg/kg, en ambas estaciones. Los hidrocarburos aromáticos totales (**Figura 212**), se mantuvieron relativamente constantes, en torno a 0,05 mg/kg, destacando máximos durante el año 2007, de 17,5 mg/kg para la estación SHQL3. El patrón registrado para níquel (**Figura 213**) fue similar entre estaciones, fluctuando entre 0,8 y 3 mg/kg, destacando mayores niveles para la estación SHQL5. El plomo (**Figura 214**) muestra una tendencia ascendente en

todas las estaciones, con máximos superiores a 6 mg/kg. Para el vanadio (**Figura 215**), las tendencias fueron similares entre estaciones, fluctuando entre 12 mg/kg y 54 mg/kg. El benceno, etilbenceno, tolueno y xileno (**Figura 216 a 219**) durante la única evaluación efectuada (campaña 25) presentaron valores similares entre estaciones, en torno a 0,1 mg/kg.

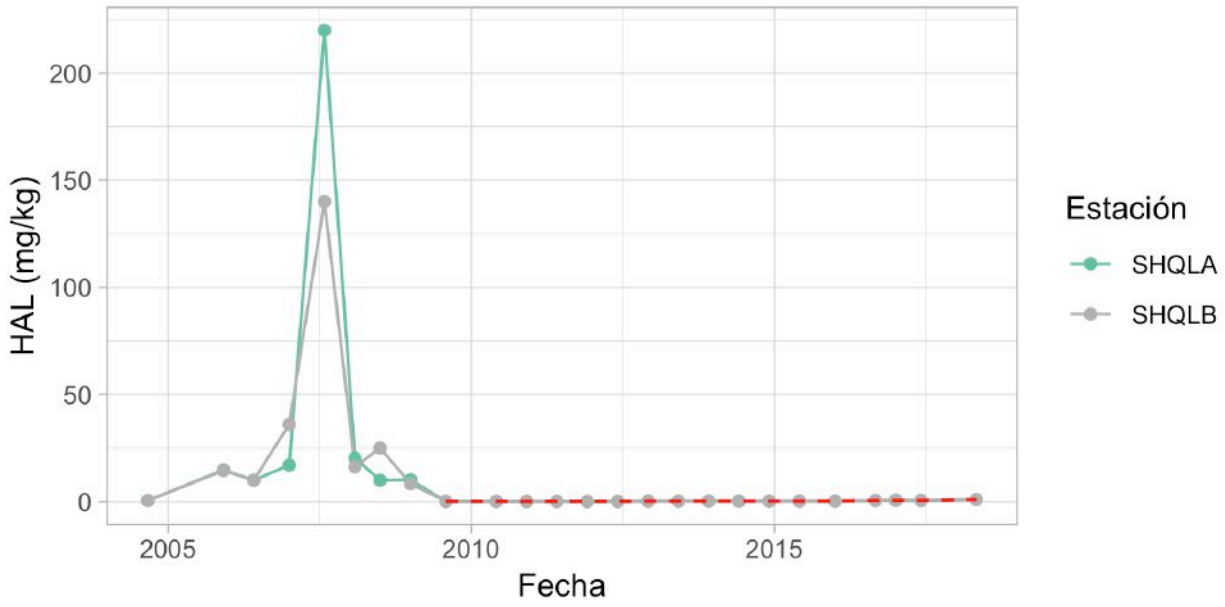


Figura 210. Niveles de hidrocarburos alifáticos (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

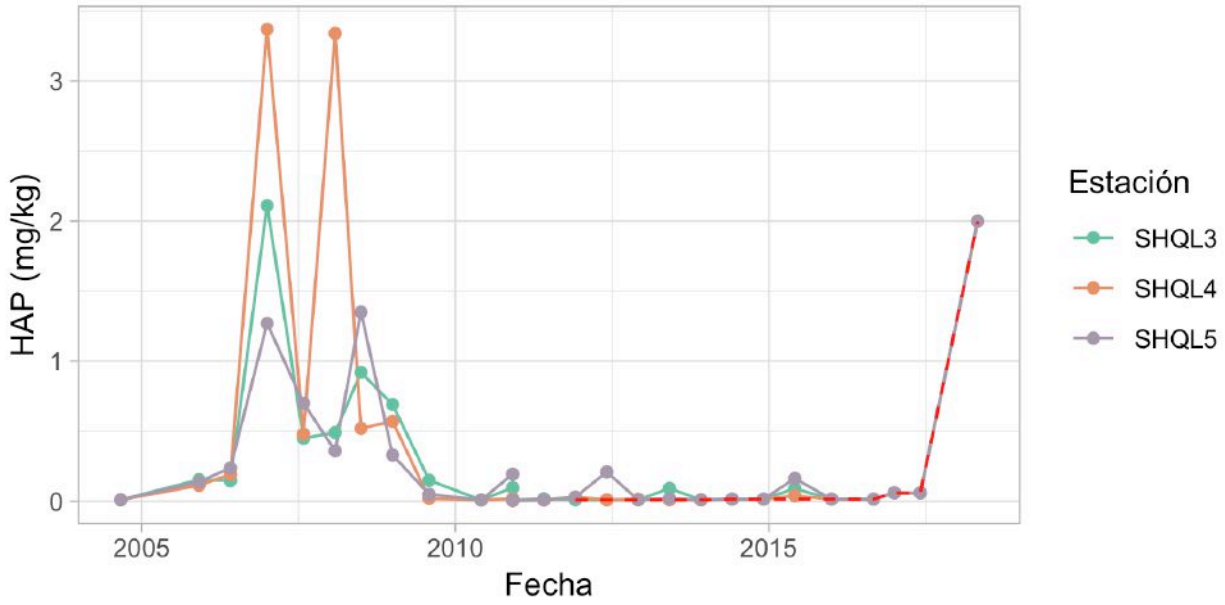


Figura 211. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

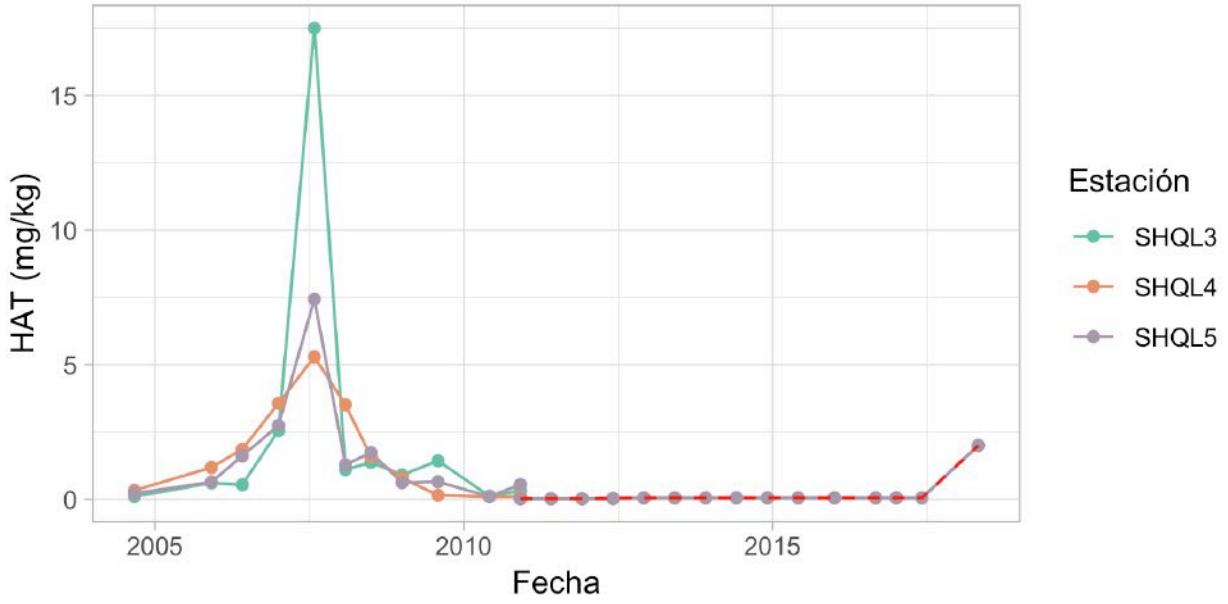


Figura 212. Niveles de hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

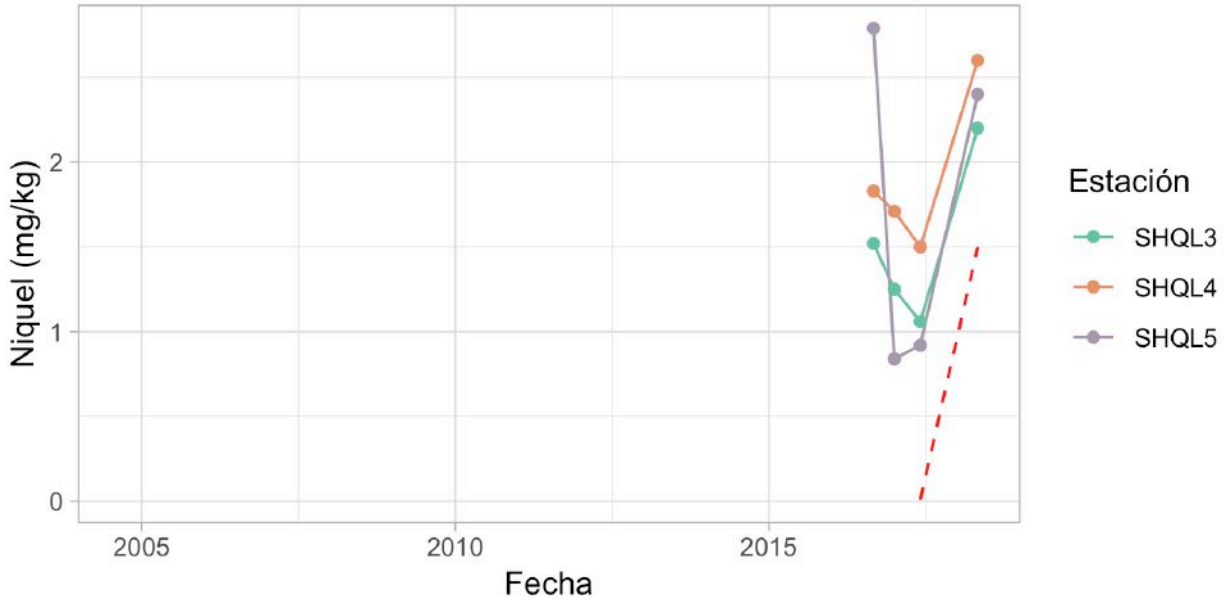


Figura 213. Niveles de níquel (mg/kg) en sedimentos submareales, por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

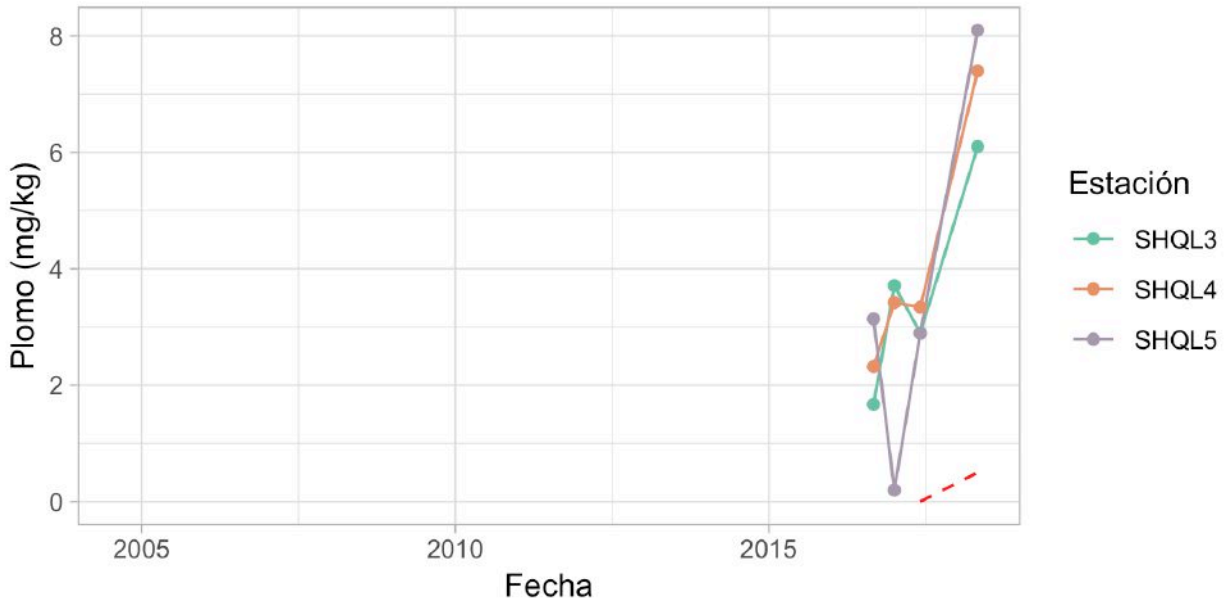


Figura 214. Niveles de plomo (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

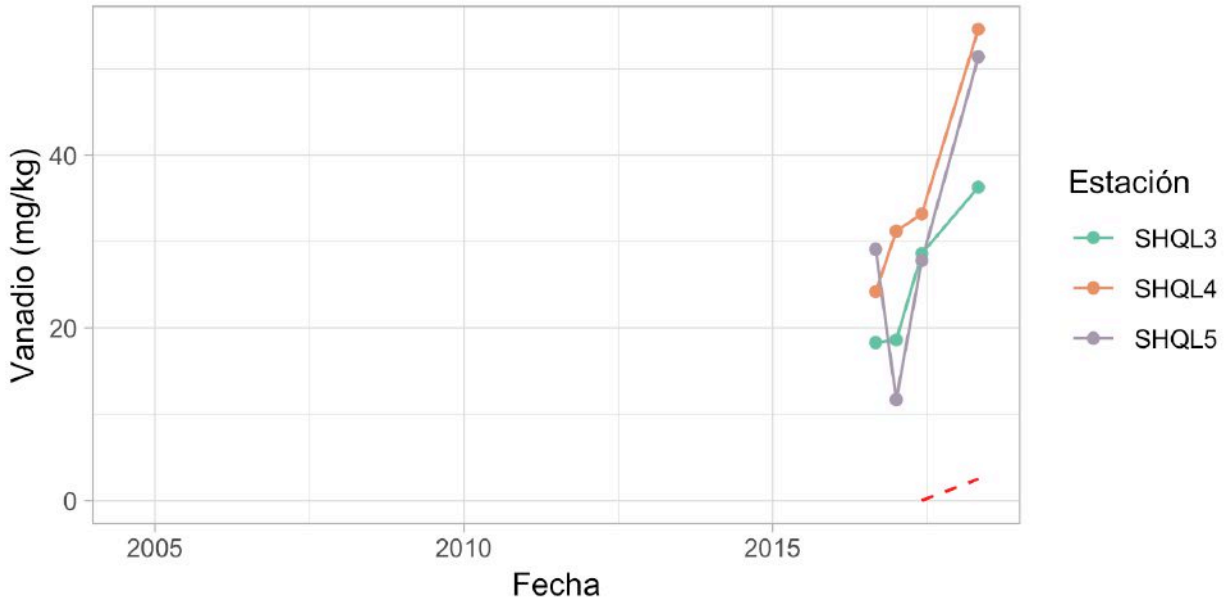


Figura 215. Niveles de vanadio (mg/kg) en sedimentos submareales por estación, entre los años 2005 y 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

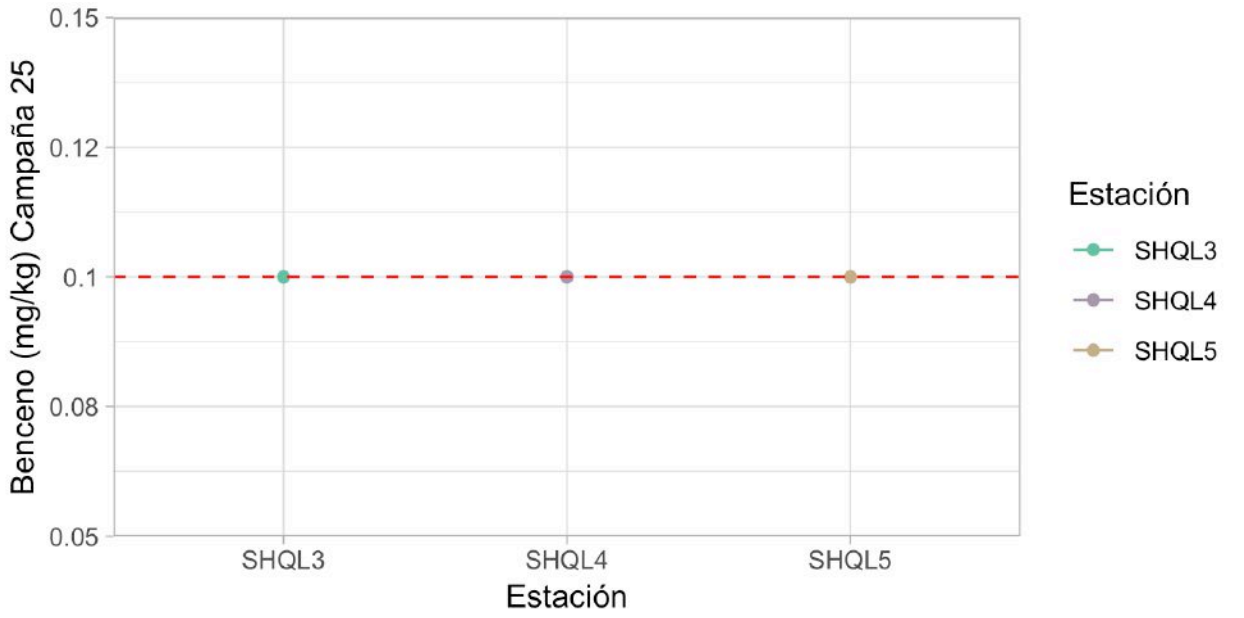


Figura 216. Niveles de benceno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

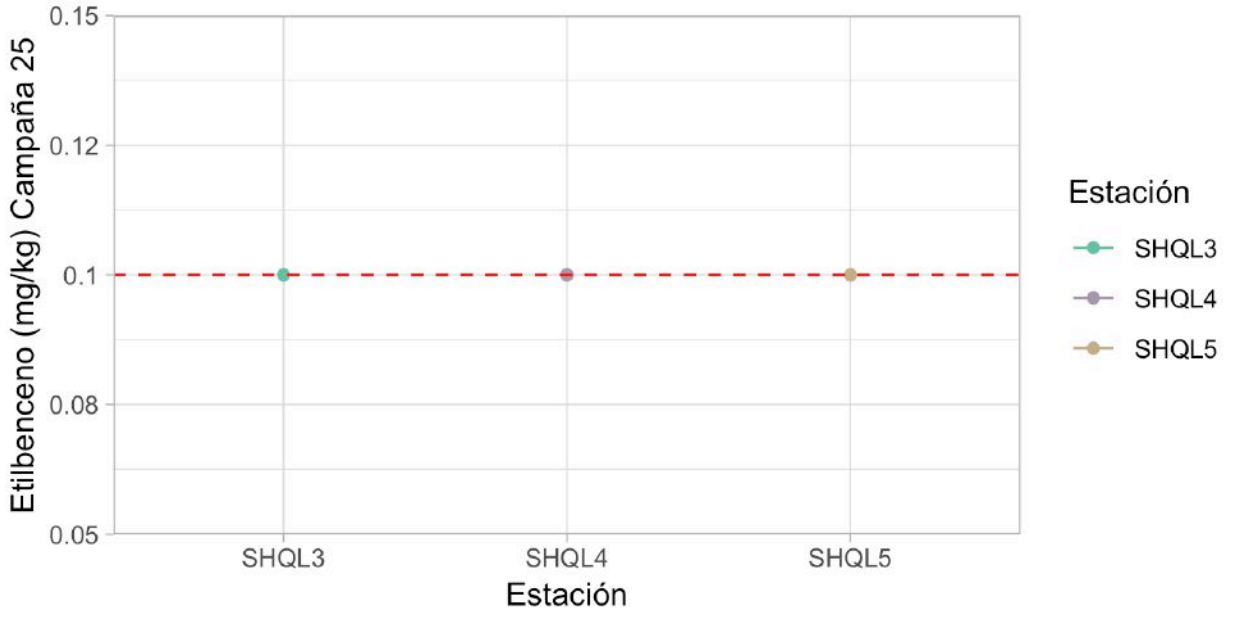


Figura 217. Niveles de etilbenceno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

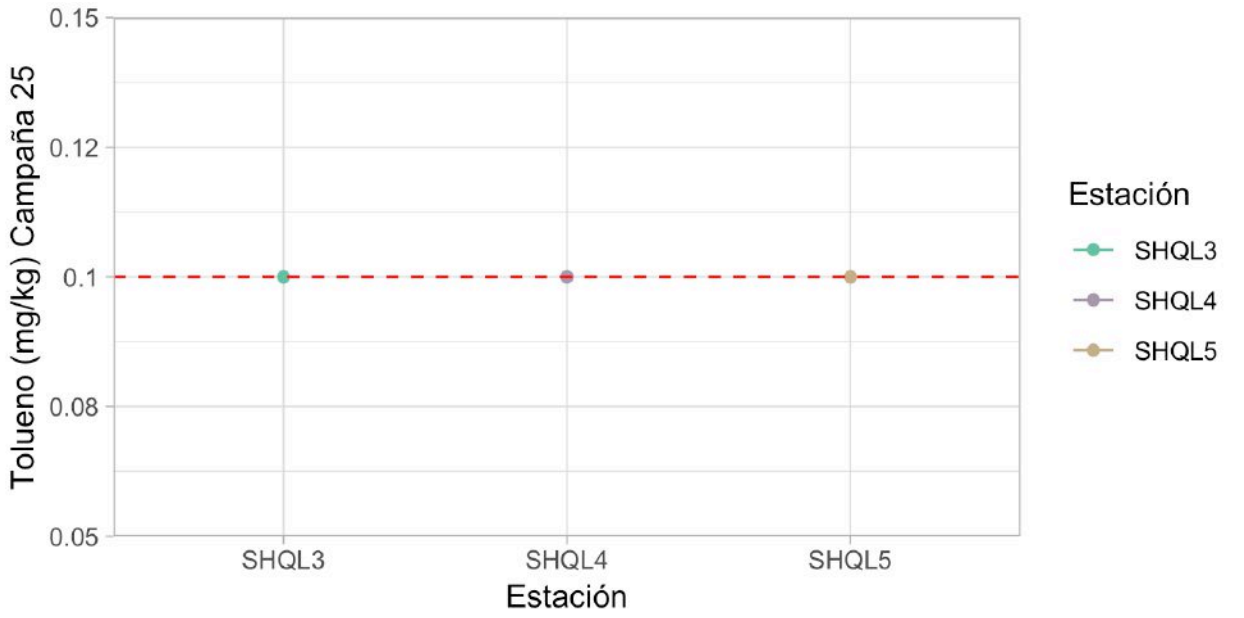


Figura 218. Niveles de tolueno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

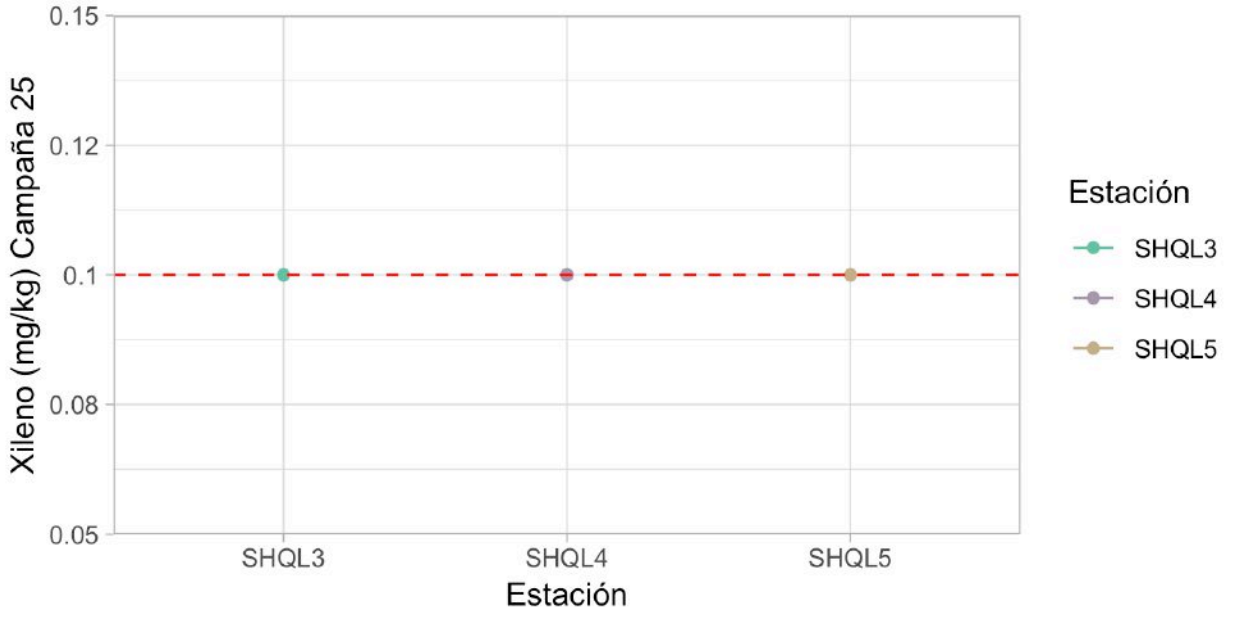


Figura 219. Niveles de xileno (mg/kg) en sedimentos submareales durante la campaña 25, año 2018. Líneas punteadas indican límites de detección.

5.2.13.4.3 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal (**Tabla 87**). La abundancia osciló entre 1 y 795 ind/m^2; con una media de 29,94 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0,003 y 229,5 g/m^2, con una media de 9,03 g/m^2.

Cabe destacar que, tanto la abundancia como la biomasa presentaron una baja variabilidad, con coeficientes de variación inferiores a 5%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 87. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Macrofauna	N	ind/m2	83	1	795	29,94	94,65	3,16	0,2891	0,0000
Submareal	B	g/m2	83	0,003	229,5	9,03	39,46	4,37	0,2361	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.13.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 87**.

Al igual que lo reportado en Ventanas Unidad 4, la revisión de las bases de datos del bentos submareal arrojó problemas en identificación taxonómica, por lo que no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.13.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.13.5.1 Calidad de agua

En la **Tabla 88** se entrega un análisis GLM, para los parámetros aceites y grasas (AyG), hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), pH, plomo (Pb), sólidos suspendidos (SolSus) y vanadio (V), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La mayoría de los parámetros presentaron diferencias significativas para todas las fuentes de variación, exceptuando los aceites y grasas, registrando diferencias significativas en las fuentes Estación y Año. Cabe destacar que el parámetro pH, no presentó diferencias significativas para ninguno de las fuentes de variación. En la totalidad de los parámetros

analizados, el efecto Año fue el que presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=97,00%, 75,94%, 75,69%, 90,85%, 54,91%, 33,11%, 91,28%, y 98,00%, respectivamente).

Tabla 88. Resultados de MLG para los parámetros aceites y grasas (AyG), hidrocarburos alifáticos (HAL), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarburos aromáticos totales (HAT), níquel (Ni), pH, plomo (Pb), sólidos suspendidos (SolSus) y vanadio (V), en agua de mar, entre 2005 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			64		126,556		
AyG	Estación	4	60	3,800	122,757	0,0000	3
	Año	8	52	122,757	0,000	0,0000	**97,00**
	Trimestre	3	49	0,000	0,000	1,0000	0
			97		31,601		
HAL	Estación	4	93	3,105	28,496	0,0000	9,83
	Año	14	79	23,997	4,499	0,0000	**75,94**
	Trimestre	3	76	1,237	3,263	0,0000	3,91
			96		0,221		
HAP	Estación	4	92	0,015	0,205	0,0000	6,9
	Año	14	78	0,167	0,038	0,0000	**75,69**
	Trimestre	3	75	0,009	0,029	0,0000	4,29
			96		1,299		
HAT	Estación	4	92	0,056	1,243	0,0000	4,31
	Año	14	78	1,180	0,063	0,0000	**90,85**
	Trimestre	3	75	0,022	0,041	0,0000	1,67
			28		317,417		
Ni	Estación	4	24	29,276	288,141	0,0005	9,22
	Año	3	21	174,302	113,839	0,0000	**54,91**
	Trimestre	2	19	85,242	28,597	0,0000	26,85
			14		0,009		
pH	Estación	4	10	0,002	0,007	0,6609	20,46
	Año	1	9	0,001	0,006	0,2627	10,65
	Trimestre	1	8	0,000	0,006	0,7213	1,08
			28		2194,179		
Pb	Estación	4	24	509,085	1685,093	0,0000	23,2
	Año	3	21	726,599	958,494	0,0000	**33,11**
	Trimestre	2	19	663,692	294,802	0,0000	30,25
			97		1129,739		
SolSus	Estación	4	93	17,616	1112,123	0,0000	1,56
	Año	14	79	1031,217	80,905	0,0000	**91,28**
	Trimestre	3	76	35,126	45,779	0,0000	3,11
			28		1446,348		

V	Estación	4	24	3,297	1443,051	0,0025	0,23
	Año	3	21	1417,439	25,612	0,0000	**98,00**
	Trimestre	2	19	21,430	4,182	0,0000	1,48

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 220**), indica que, para aceites y grasas, los mayores niveles fueron registrados para el año 2018, mientras que para los años 2013 a 2017 se presentaron niveles inferiores. Para los hidrocarburos alifáticos, los años 2006 y 2007 presentaron los mayores niveles, para luego descender, con mínimos durante el año 2010 a 2017. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentaron los mayores niveles durante el año 2007, para luego descender y registrar mínimos entre los años 2009 a 2016. Los niveles de hidrocarburos aromáticos fueron similares entre años, con máximos durante el 2018. Para níquel, los niveles fueron similares entre 2015 y 2017, con niveles muy altos, mientras que el 2018 se registraron los niveles más bajos, con una menor variabilidad. El pH presentó una alta variabilidad entre estaciones, con máximos de 8,1 y mínimos de 8,0. Los niveles de plomo fueron bajos en los años 2015 2017 y 2018, mientras que en 2016 los niveles alcanzan un máximo, con mayor variabilidad. Los sólidos suspendidos presentaron niveles similares en la mayoría de los años, excepto durante el año 2018, donde se registra un aumento en los niveles. Finalmente, los niveles de vanadio fueron similares entre 2015 y 2017, para luego presentar máximos durante el 2018, con una mayor variabilidad. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 11.a.**

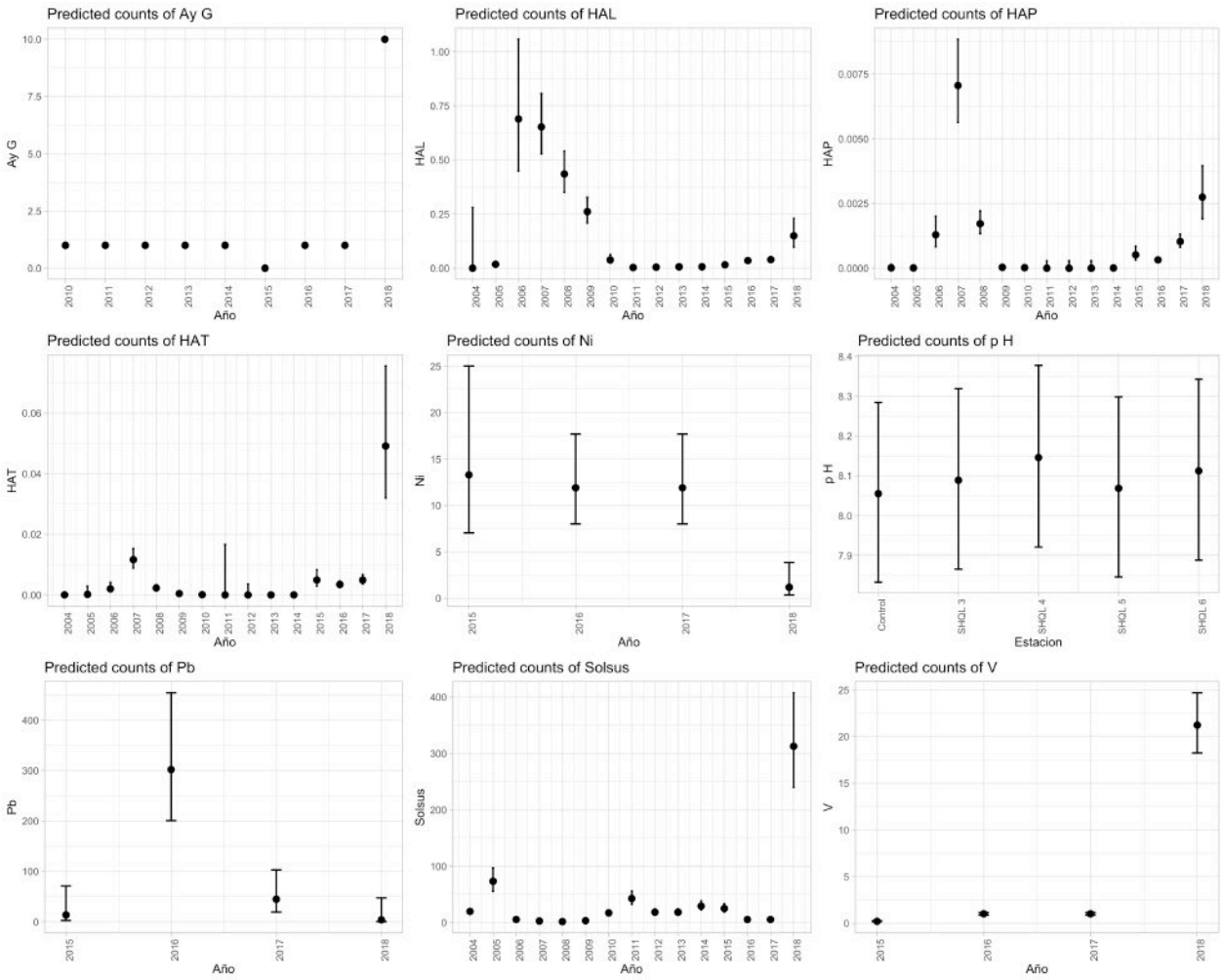


Figura 220. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.13.5.2 Calidad de sedimentos

En las **Figuras 221 y 222** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento intermareal y submareal en los distintos años de muestreo. Para el sedimento intermareal, el análisis arrojó diferencias significativas en la composición de sedimento entre años (PERMANOVA R^2=0,44; P<0,005), destacando una mayor dominancia de arenas medianas (AM), grava y limo y arcillas (LA), durante los años 2016 y 2017; mientras que en el año 2014 los sedimentos intermareales presentaron mayor presencia de arena gruesa (AG), arena muy gruesa (AMG), grava y arenas muy finas (AMF). Por otro lado, durante los años 2012 y 2013, la composición del sedimento, presentó mayor presencia de arena fina (AF) y arena muy fina (AMF).

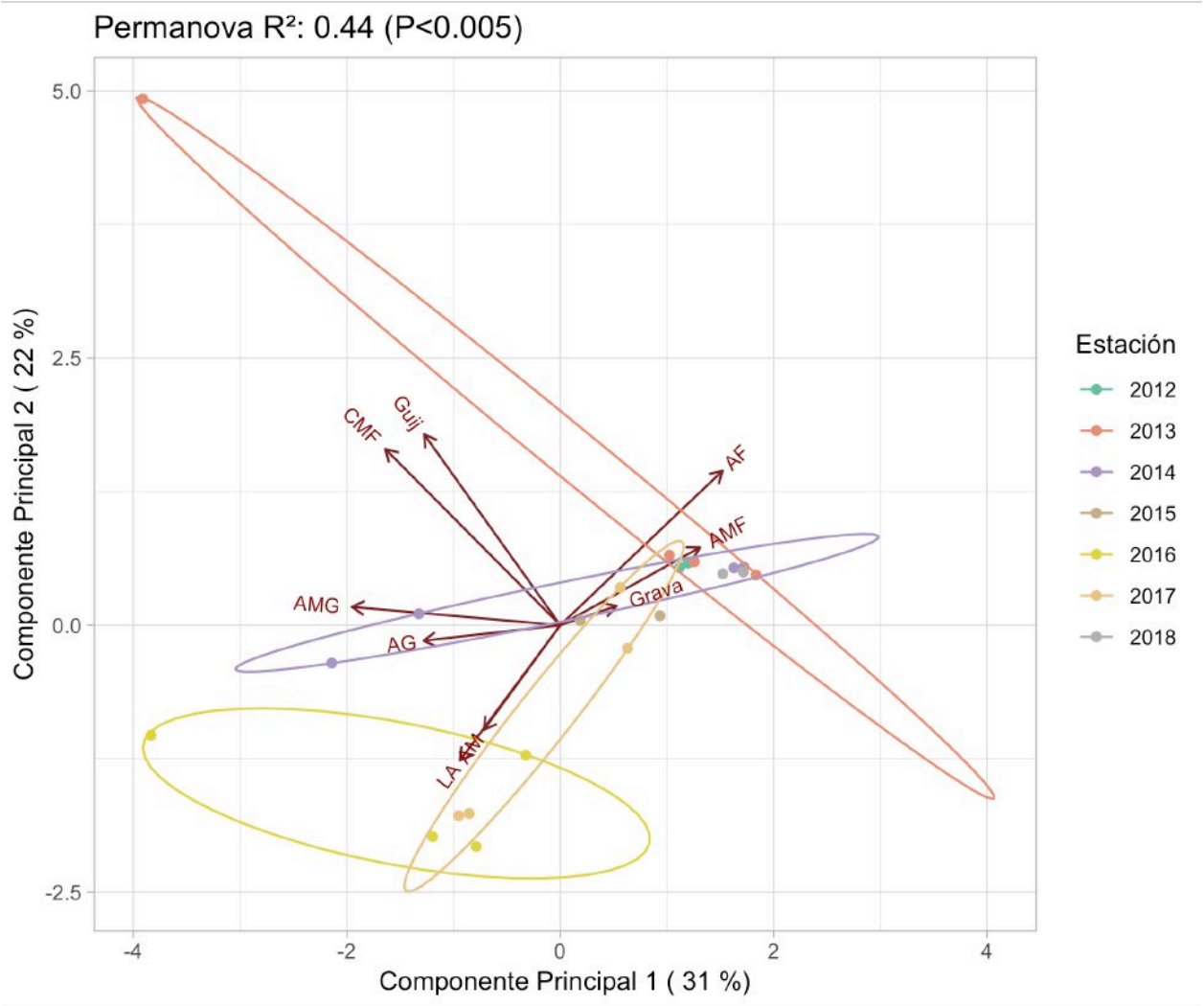


Figura 221. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos intermareales.

Para el sedimento submareal, el análisis arrojó diferencias significativas en la composición de sedimento entre años (PERMANOVA R^2=0,37; P<0,001), destacando que los sedimentos registrados entre los año 2013 y 2015 fueron altamente heterogéneos, abarcando arena muy gruesa (AMG), arena gruesa (AG), cascajo muy fino (CMF), grava, arenas muy finas (AMF) y arenas finas (AF); mientras que en el año 2016 hay una mayor dominancia de guijarro, arenas medias (AM) y limo y arcillas (LA). Por otro lado, los sedimentos durante el año 2017 también presentaron sedimentos compuestos por guijarro, arenas medias (AM) y limo y arcillas (LA),

además de grava y arenas finas (AF). Finalmente, durante el año 2018, la composición fue más específica, con mayor presencia de arenas muy finas (AMF) y arenas finas (AF).

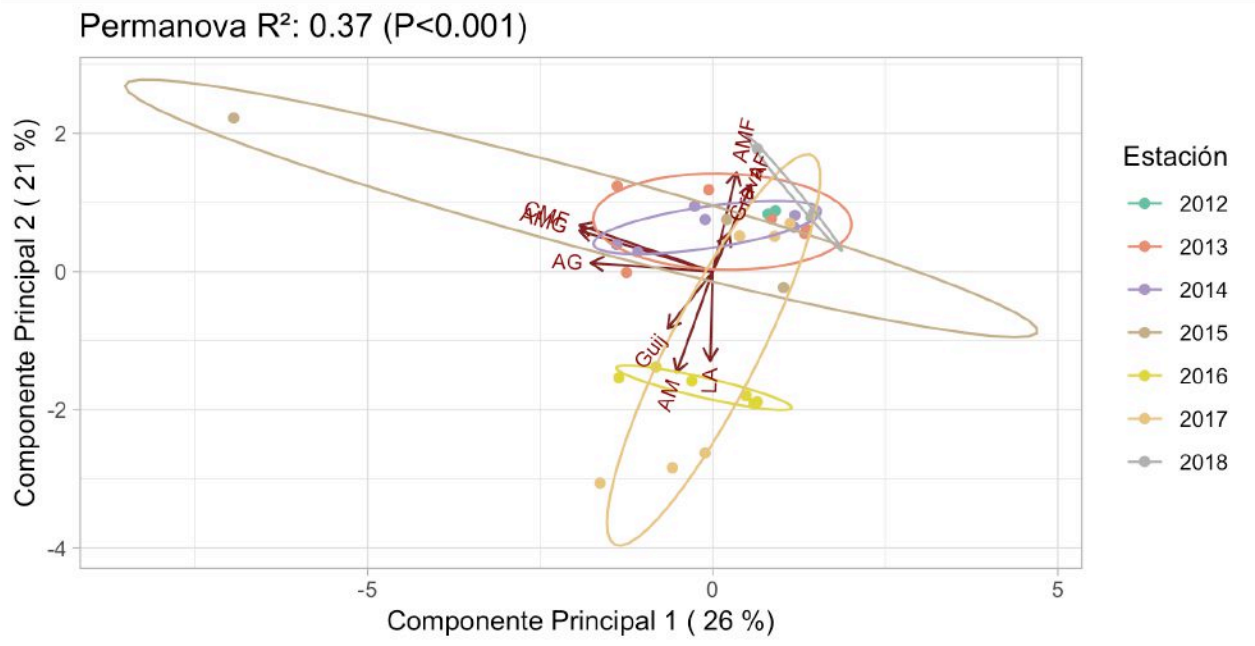


Figura 222. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.13.5.3 Comunidades

En la **Figura 223** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza (**Figura 223**, panel superior) presentó un patrón ascendente entre estaciones, con diferencias entre estaciones, registrando mínimos de 7 especies, en la estación SHQL5 y máximos de 23 especies, en la estación SHQL4. Por otro lado, el resultado del análisis de diversidad de Shannon (**Figura 223**, panel inferior) muestra diversidades moderadas, y variables entre estaciones, con una tendencia ascendente en las estaciones SHQL3 y SHQL5, y una tendencia descendente en la estación SHQL4. Las mayores diversidades fueron registradas para la estación SHQL5, con H'=2,5.

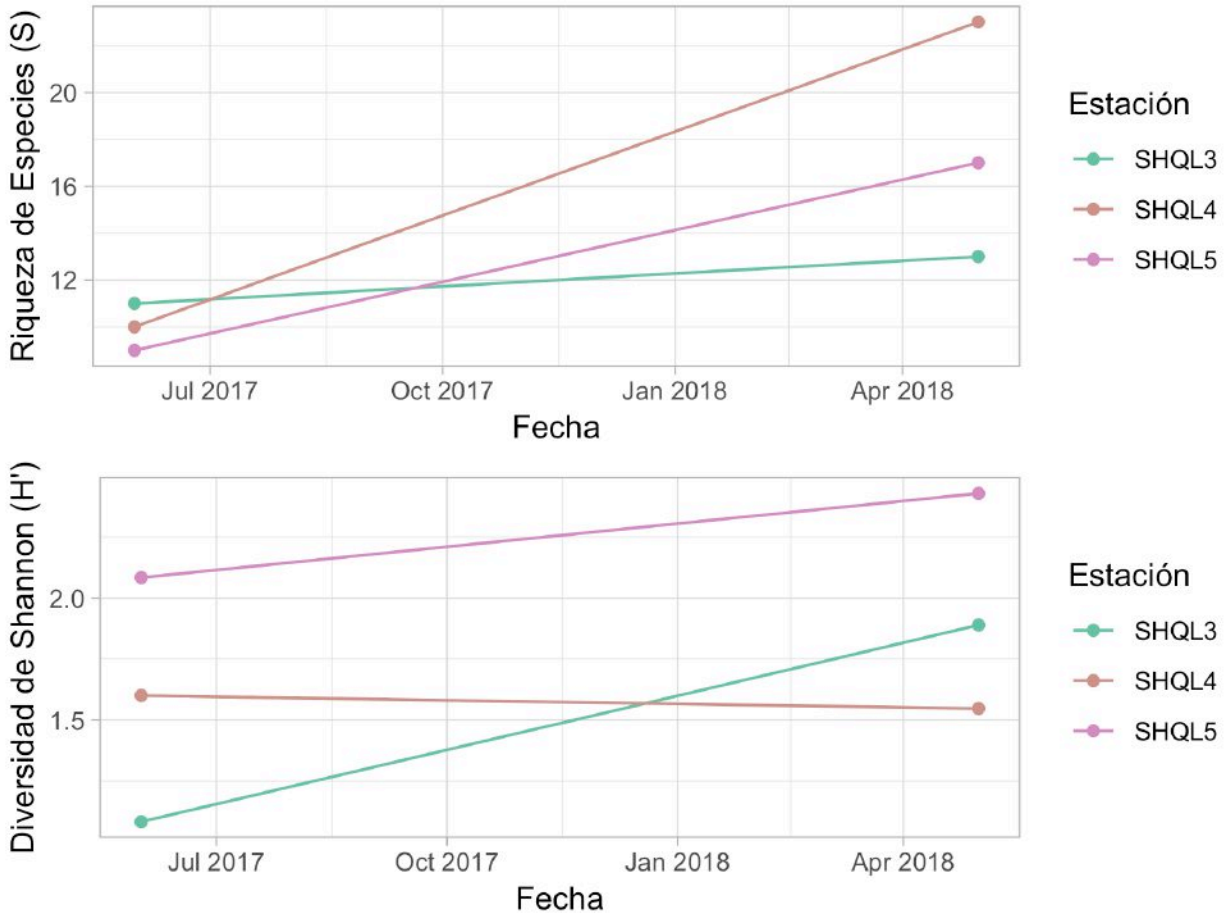


Figura 223. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

5.2.13.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Dado que los datos disponibles para esta UF, no presentan diferencias entre estratos de profundidad, no se analizó este efecto.

Diferencias entre años

Para calidad de agua, todos los parámetros salvo pH, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. En el caso de aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos aromáticos totales, níquel, solidos suspendidos, las variaciones interanuales corresponden fundamentalmente a cambios en los límites de detección.

En el caso de benceno, etilbenceno, tolueno, vanadio y xileno los datos disponibles corresponden sólo a una campaña de monitoreo, lo que no permite evaluar diferencias entre años.

Estacionalidad

Para calidad de agua los parámetros hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, plomo, y vanadio presentaron diferencias significativas entre épocas del año. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

Para calidad de agua, todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo, exceptuando el pH. No obstante, las diferencias entre estaciones, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

5.2.14 Pesquera Quintero

5.2.14.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 224** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo de Pesquera Quintero. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar 6 estaciones de monitoreo submareal muy costeras (menores a los 15 m de profundidad), y cercanas a la ubicación de la planta. De acuerdo a la información proporcionada no se identifican estaciones de control.

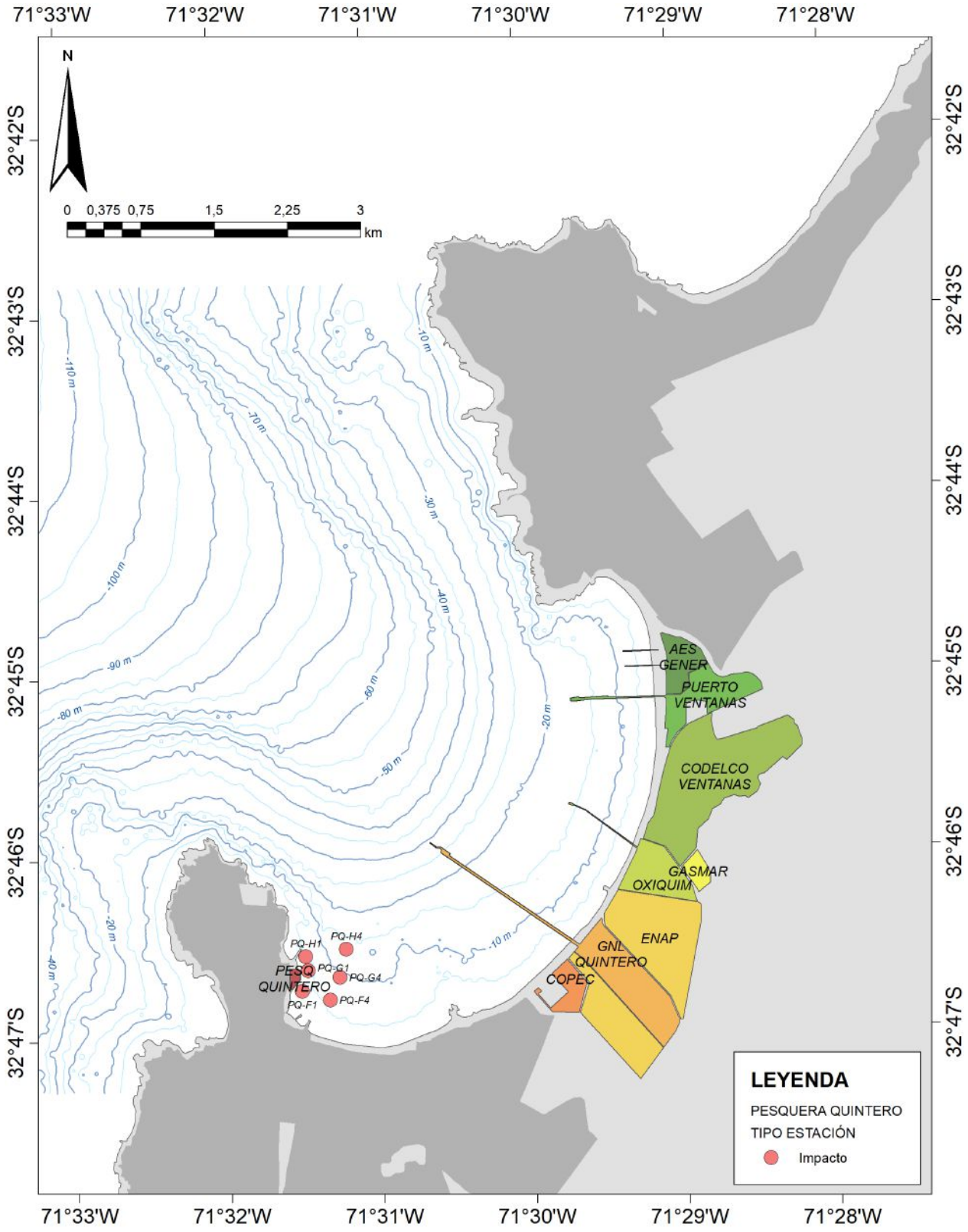


Figura 224. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Pesquera Quintero.

5.2.14.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a hidrografía, calidad de agua submareal, calidad de sedimento submareal, y análisis de comunidades de macrofauna submareal (**Tabla 89**).

Tabla 89. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Pesquera Quintero.

ESTACIÓN	TIPO	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA
PQ-F1	Impacto	X	X	X	X
PQ-F4	Impacto	X	X	X	X
PQ-G1	Impacto	X	X	X	X
PQ-G4	Impacto	X	X	X	X
PQ-H1	Impacto	X	X	X	X
PQ-H4	Impacto	X	X	X	X

5.2.14.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 90** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 4 variables a saber: Temperatura, pH, Oxígeno disuelto y Saturación oxígeno, medidos en la columna de agua (perfiles de profundidad). En agua submareal los parámetros monitoreados corresponden a Solidos suspendidos, Solidos sedimentables, Aceites y Grasas, Nitrógeno total Kjeldahl, Detergentes SAAM, Coliformes totales y Coliformes fecales. En sedimentos junto con los parámetros granulométricos, se mide el porcentaje de materia orgánica total. Finalmente, en comunidades del submareal se cuantifica la abundancia y biomasa por taxón.

Tabla 90. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Pesquera Quintero.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Profundidad	m	Prof
Hidrografía	Temperatura	ºC	Temp
Hidrografía	pH	Unidad	pH
Hidrografía	Oxígeno disuelto	mg/L	Odis
Hidrografía	Saturación oxígeno	%	Osat
Calidad de agua	Solidos suspendidos	mg/L	SolSus
Calidad de agua	Solidos sedimentables	ml/L/h	SolSed
Calidad de agua	Aceites y Grasas	mg/L	AyG
Calidad de agua	Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	NTK
Calidad de agua	Detergentes SAAM	mg/L	SAAM
Calidad de agua	Coliformes totales	NMP/100ml	ColTot
Calidad de agua	Coliformes fecales	NMP/100ml	ColFec
Calidad sedimentos	Materia Orgánica	%	MOT
Calidad sedimentos	Cascajo muy fino	%	CMF
Calidad sedimentos	Arena muy gruesa	%	AMG
Calidad sedimentos	Arena gruesa	%	AG
Calidad sedimentos	Arena media	%	AM
Calidad sedimentos	Arena fina	%	AF
Calidad sedimentos	Arena muy fina	%	AMF
Calidad sedimentos	Limo y Arcillas	%	LyA
Calidad sedimentos	Tipología del promedio gráfico	phi	Promedio
Calidad sedimentos	Clasificación	Descriptivo	Clasif
Calidad sedimentos	Tipología del grado de clasificación	phi	ClasTip
Calidad sedimentos	Tipología	Descriptivo	Tip
Calidad sedimentos	Grado de simetría	phi	Simetría
Calidad sedimentos	Tipología del grado de simetría	Descriptivo	SimTip
Macrofauna	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna	Biomasa	g/m2	B

5.2.14.4 Estadística descriptiva

5.2.14.4.1 Hidrografía

Se analizaron las variables temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH (**Tabla 91**). La temperatura osciló entre 11,88ºC y 14,96ºC, con una media de 13,67ºC, y un coeficiente de variación del 4%. El pH fluctuó entre 7,51 y 8,13 con una media de 7,92 y un coeficiente de variación del 2%. El oxígeno disuelto osciló entre 3,72 mg/L y 8,58 mg/L, con una media de 6,77 mg/L, y un coeficiente de variación del 19%. Finalmente, la saturación de oxígeno disuelto fluctuó entre 43,9% y 104%, con una media de 81,47% y un coeficiente de variación del

19%. Finalmente, La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 91**).

Tabla 91. Resumen de estadística descriptiva para las variables hidrográficas analizadas.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	423	11,88	14,96	13,67	0,57	4%	0,9454	0,0000
pH	Unidad	423	7,51	8,13	7,92	0,14	2%	0,9204	0,0000
Odis	mg/L	423	3,72	8,58	6,77	1,26	19%	0,9427	0,0000
Osat	%	423	43,9	104	81,47	15,41	19%	0,9409	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.14.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 91**.

En la **Figuras 225 a 228** se entrega el análisis de las variables hidrográficas a lo largo de la columna de agua, durante los años 2015 y 2017. Para temperatura (**Figura 225**), la columna de agua presentó una alta estratificación térmica, principalmente en los primeros 5 m de profundidad, fluctuando entre 14ºC y 15ºC. Bajo esta profundidad, se observa una columna de agua más homogénea, oscilando entre 12,5ºC y 13ºC en ambos años. El pH presentó un patrón similar entre años, con niveles que fluctuaron entre 7,8 y 8,1, a lo largo de toda la columna de agua. Las concentraciones de oxígeno disuelto (**Figura 226**) fueron altas en superficie, registrando diferencias entre años, máximos >7 mg/L para el año 2015 y máximos >8 mg/L para el año 2017. Bajo los 5 m de profundidad, las concentraciones disminuyeron hasta mínimos cercanos a 4 mg/L. La saturación de oxígeno disuelto (**Figura 227**), también registró diferencias entre años, con valores máximos que oscilaron entre 75% y 95% para el año 2015, mientras que para el año 2017 la saturación de oxígeno fue >100% en los primeros 5 m de profundidad. Bajo los 10 m de profundidad, para ambos casos, la saturación tiende a disminuir hasta alcanzar mínimos cercanos al 50%. (**Figura 228**).

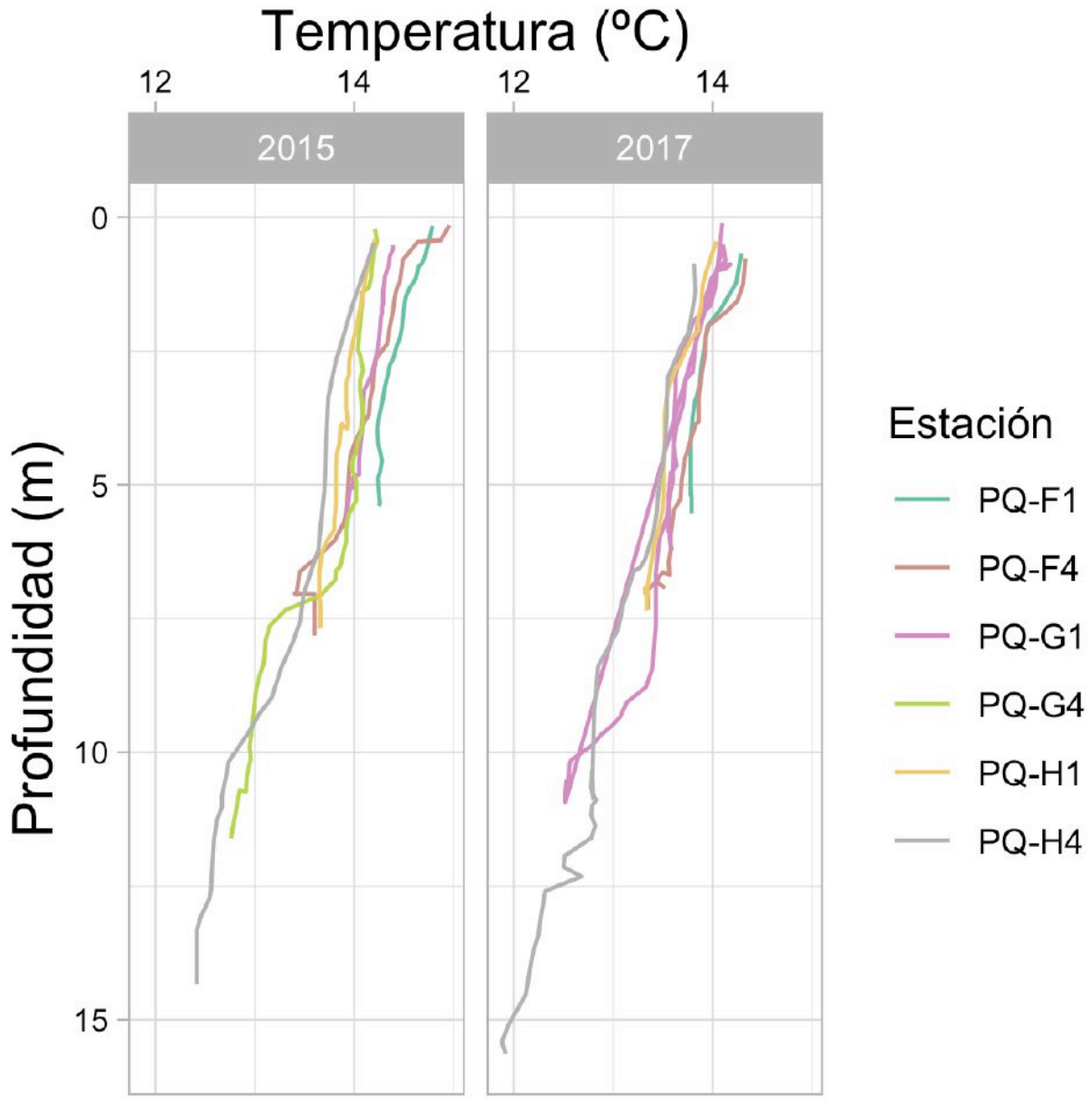


Figura 225. Perfiles de temperatura (ºC) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017.

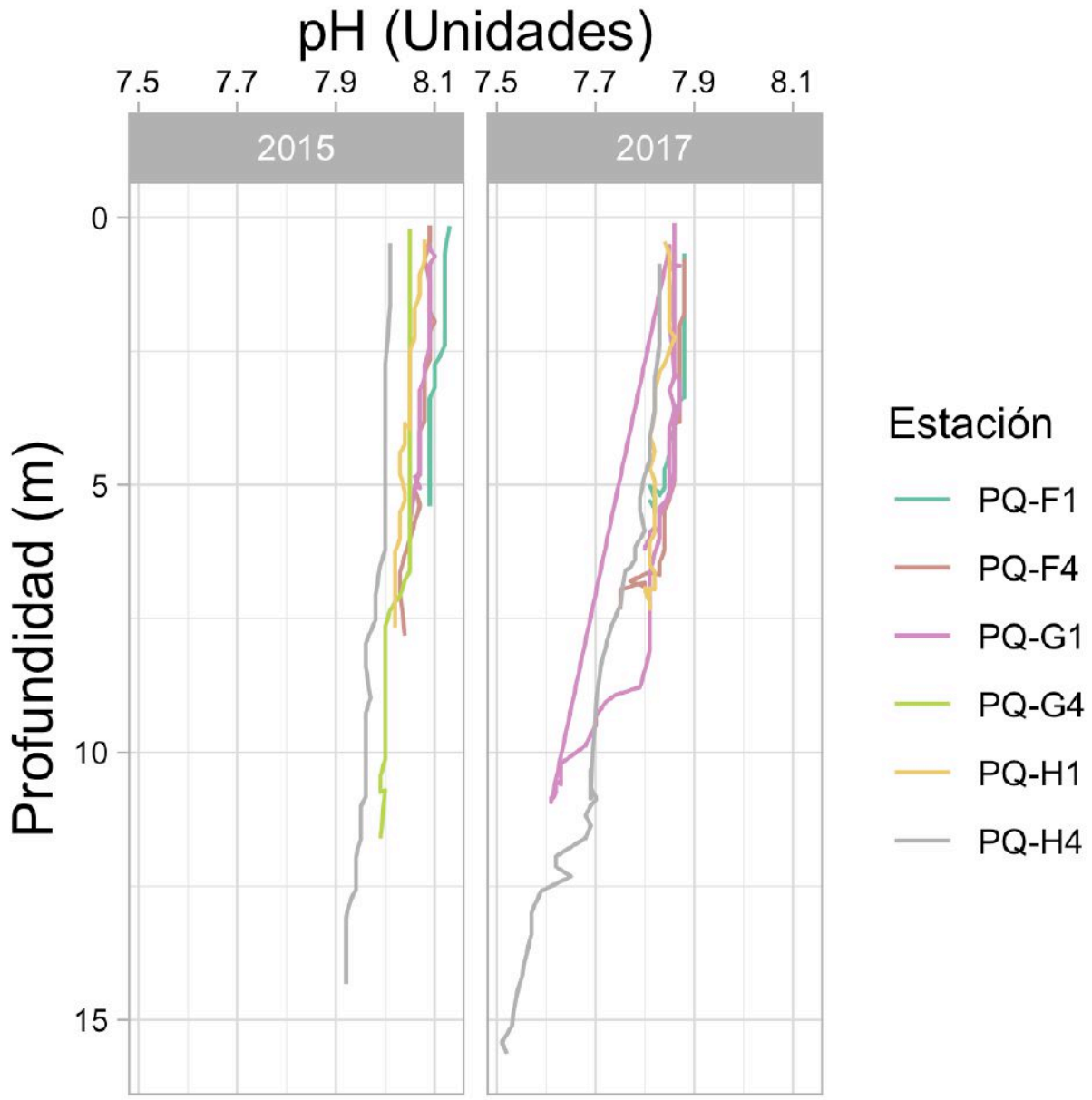


Figura 226. Perfiles de pH para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017.

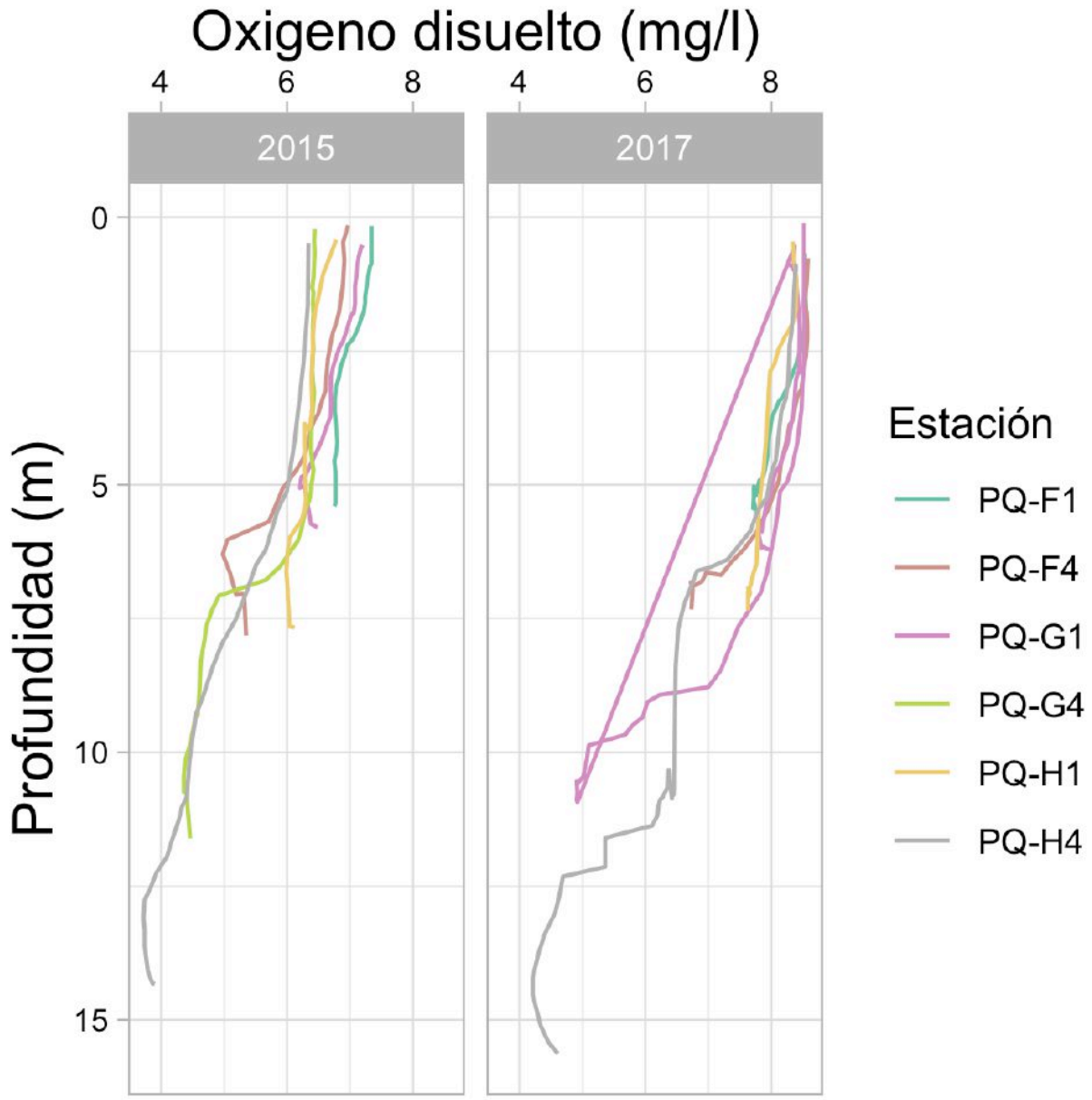


Figura 227. Perfiles de oxígeno disuelto (mg/L) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017.

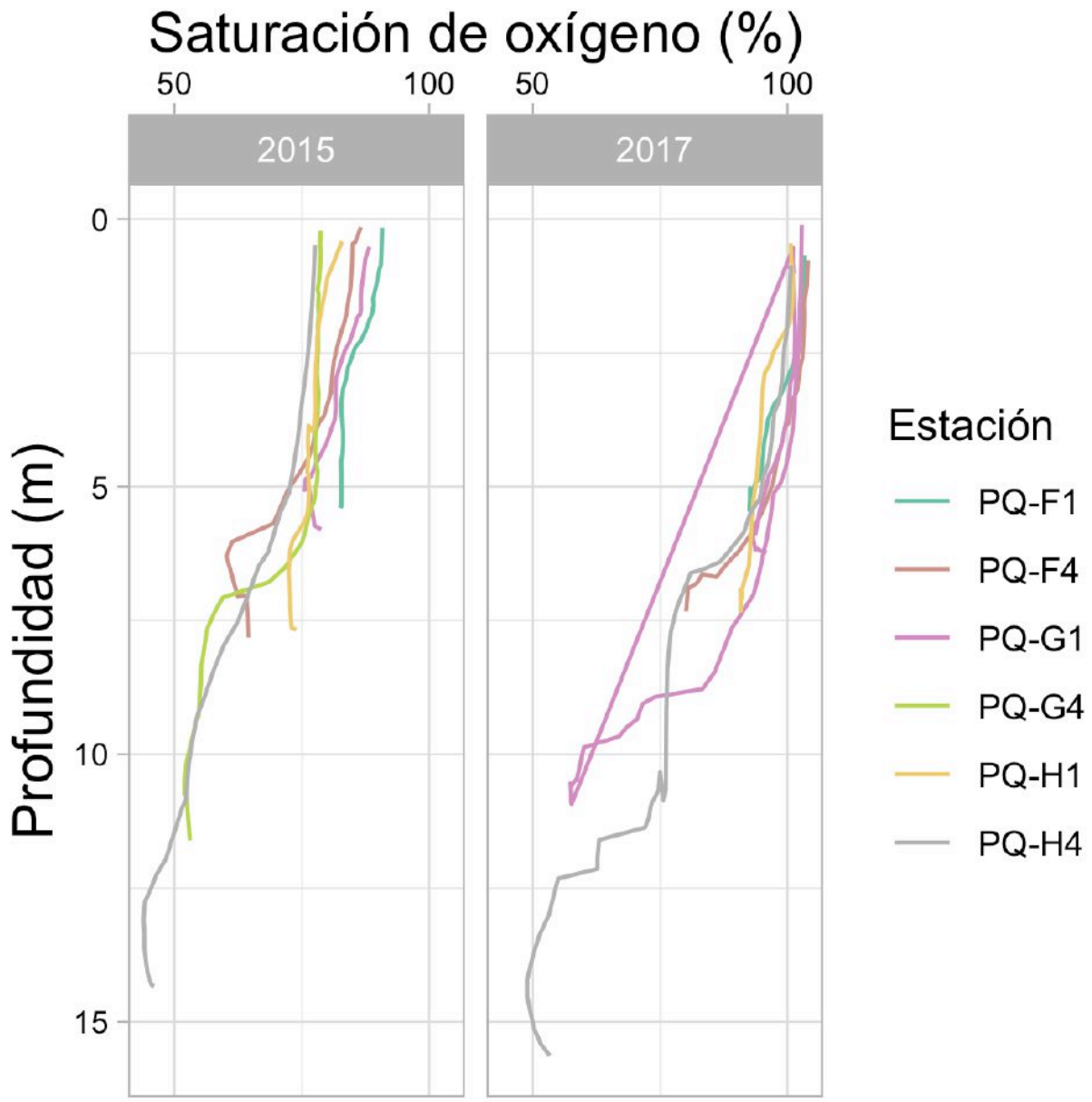


Figura 228. Perfiles de saturación de oxígeno disuelto (mg/L) para las estaciones submareales de Pesquera Quintero, para los años 2015 y 2017.

5.2.14.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de sólidos suspendidos (SolSus), sólidos sedimentables (SolSed), aceites y grasas (AyG), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), detergentes SAAM (SAAM), coliformes totales (ColTot) y coliformes fecales (ColFec) medidos en agua submareal (**Tabla 92**). Se observa que, a lo largo de la columna de agua, los registros de sólidos suspendidos fueron variables, con mínimos de 2,7 mg/L y máximos de 16 mg/L, con una media de 6,65 mg/L y un coeficiente de variación de 63%. Los sólidos sedimentables presentaron una menor variabilidad, con mínimos de 0,1 mg/l/h y máximos de 0,5 mg/L/h, con una media de 0,3 mg/L/h y un coeficiente de variación del 68%. Los aceites y grasas oscilaron entre 1 y 5 mg/L, con una media de 3 mg/L, y un coeficiente de variación del 68%. Los niveles de nitrógeno total Kjeldahl fluctuaron entre mínimos de 0,5 mg/L y máximos de 1,73 mg/L, con una media de 0,82 mg/L y un coeficiente de variación del 42%. Los detergentes SAAM fluctuaron entre 0,1 y 0,2 mg/L, con una media de 0,15 mg/L y un coeficiente de variación del 34%. Los coliformes totales presentaron una alta variabilidad, con niveles que fluctuaron entre 1 y 14 NMP/100 ml, con una media de 2,94 NMP/100 ml, y un coeficiente de variación de 121%. Finalmente, los coliformes fecales también fueron variables, con mínimos de 1 NMP/100 ml y máximos de 11 NMP/100 ml, con una media de 2,48 NMP/100 ml y un coeficiente de variación de 113%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 92. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
SolSus	mg/L	24	2,7	16	6,65	4,16	63%	0,8570	0,0030	42%
SolSed	ml/L/h	24	0,1	0,5	0,30	0,20	68%	0,6395	0,0000	100%
AyG	mg/L	24	1	5	3,00	2,04	68%	0,6395	0,0000	100%
NTK	mg/L	24	0,5	1,73	0,82	0,34	42%	0,8174	0,0006	8%
SAAM	mg/L	24	0,1	0,2	0,15	0,05	34%	0,6395	0,0000	100%
ColTot ([1])	NMP/100ml	24	1	14	2,94	3,56	121%	0,5572	0,0000	83%
ColFec ([2])	NMP/100ml	24	1	11	2,48	2,80	113%	0,5031	0,0000	83%

([1]) Media logarítmica = 5,12

([2]) Media logarítmica = 13,69

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.14.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 92**.

En las **Figuras 229 a 235** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2015 y 2017.

Para los sólidos suspendidos (**Figura 229**), en el estrato superficial los sólidos suspendidos presentaron una tendencia descendente en todas las estaciones de muestreo, con mínimos inferiores a 4 mg/L durante el año 2017. Por otro lado, en el estrato de fondo, se observa que los sólidos suspendidos presentaron una tendencia descendente en la mayoría de las estaciones de muestreo, alcanzando mínimos cercanos a 4 mg/L, para las estaciones PQ-F1, PQ-G1 y PQ-G4, y mínimos cercanos a 8 mg/L para la estación PQ-H4. Comparativamente, se registró una tendencia ascendente para la estación PQ-F4, con máximos superiores a 8 mg/L durante el año 2017. Los niveles de sólidos suspendidos para la estación PQ-H1 se mantuvieron relativamente constantes en 7,8 mg/L. Los sólidos sedimentables (**Figura 230**) fueron similares en superficie y en fondo (estaciones superpuestas), registrando una tendencia descendente en todas las estaciones de muestreo, fluctuando entre 0,5 y 0,1 mg/L/h. Esta misma tendencia fue registrada para los aceites y grasas (**Figura 231**), donde se observa una tendencia negativa, con mínimos de 1 mg/L en todas las estaciones de muestreo. En ambos casos, estos registros se encuentran asociados a cambios en los límites de detección de estos parámetros. El nitrógeno total Kjeldahl superficial (**Figura 232**) presentó tendencias ascendentes, en todas las estaciones, fluctuando entre 0,65 y 1,75 mg/L. Por otro lado, las concentraciones de nitrógeno en la capa de fondo presentaron una tendencia ascendente en todas las estaciones de muestreo, con máximos que fluctuaron entre 1,0 y 1,5 mg/L. Los detergentes SAAM (**Figura 233**) presentaron una tendencia ascendente en todas las estaciones, tanto en superficie como en el fondo (estaciones superpuestas), aumentando desde 0,1 mg/L a 0,2 mg/L, asociado a cambios en los límites de detección de este parámetro. Los coliformes totales (**Figura 234**) presentaron diferencias entre estratos. Se observa que en superficie los niveles se mantuvieron relativamente contantes, en todas las estaciones (estaciones superpuestas), con niveles en torno a 1,8 NMP/100 ml, esto debido a que los datos se encuentran bajo los límites de detección, mientras que en el estrato de fondo, se registró un patrón ascendente en la mayoría de las estaciones, con máximos que oscilaron entre 5 y 10 NMP/100 ml, excepto para las estaciones PQ-F1 y PQ-H4, las que disminuyeron desde 1,8 a 1,0 NMP/100 ml. Finalmente, para los coliformes fecales (**Figura 235**) también se observaron diferencias entre estratos, con niveles en superficie que tendieron a disminuir desde 1,8 a 1,0 NMP/100 ml, en todas las estaciones de muestreo, también asociado a que los datos registrados se encontraron bajo los límites de detección, mientras que en la capa de fondo, las estaciones PQ-F4, PQ-G4 y PQ-H1 registraron una tendencia ascendente, con

máximos entre 6 y 11 NMP/100 ml, mientras que la estación PQ-G1 se mantuvo constante en 1,8 NMP/100 ml, y las estaciones PQ-F1 y PQ-H4 disminuyeron desde 1,8 a 1,0 NMP/100 ml.

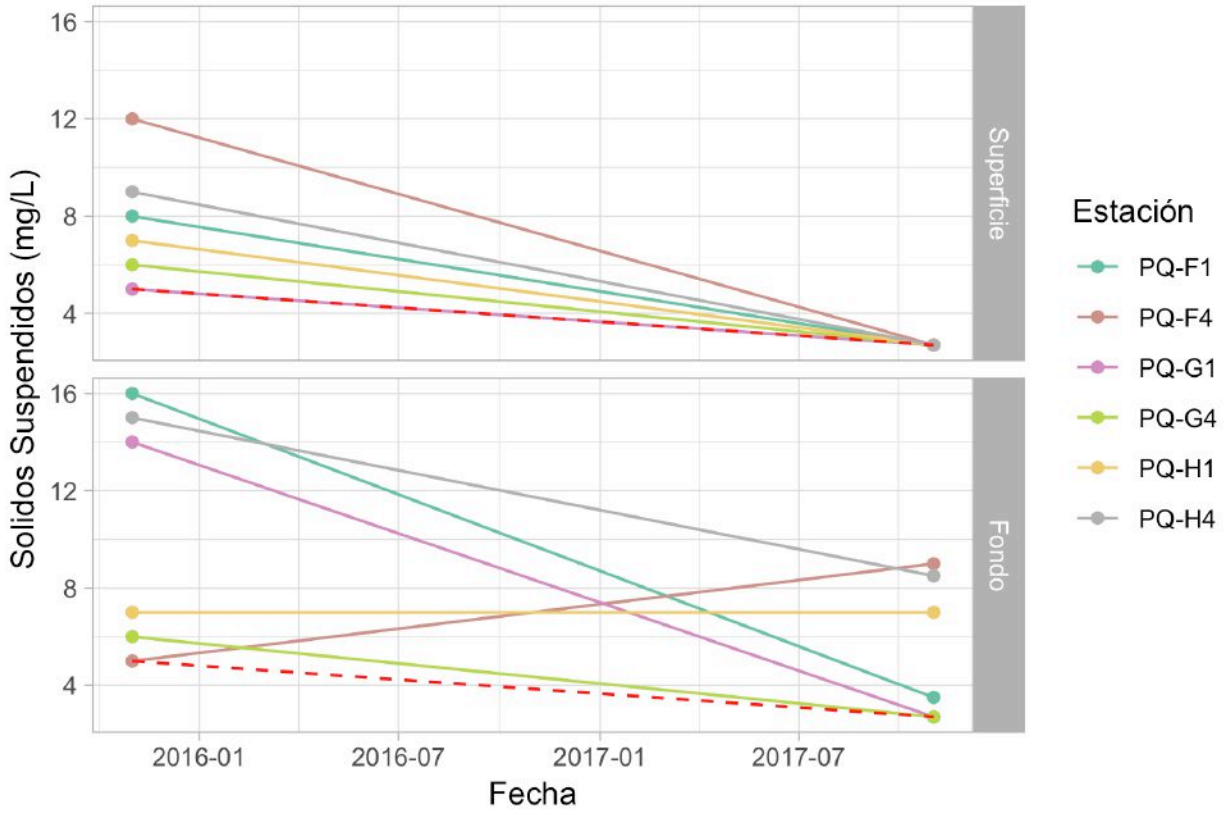


Figura 229. Sólidos suspendidos (mg/L), para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

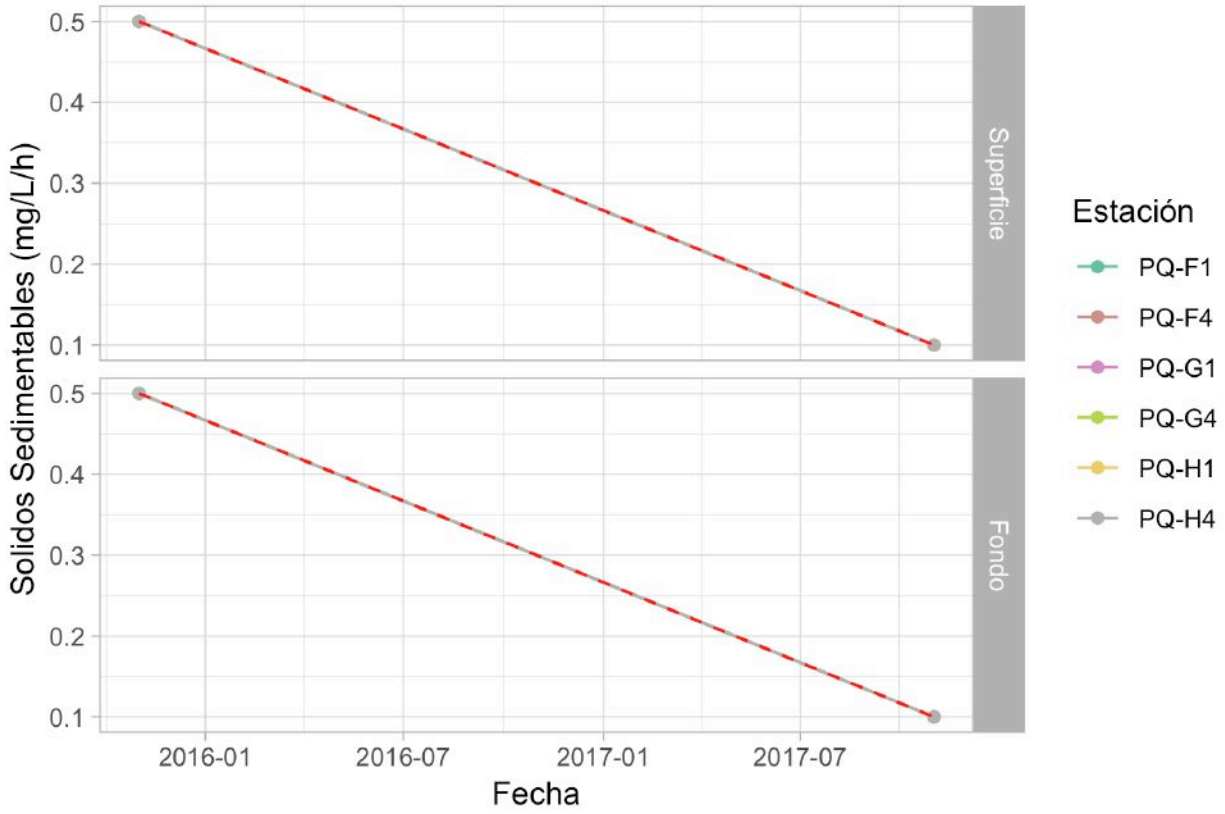


Figura 230. Sólidos sedimentables (mg/L/h) para los estratos superficie y fondo para los años 2015 y 2017.

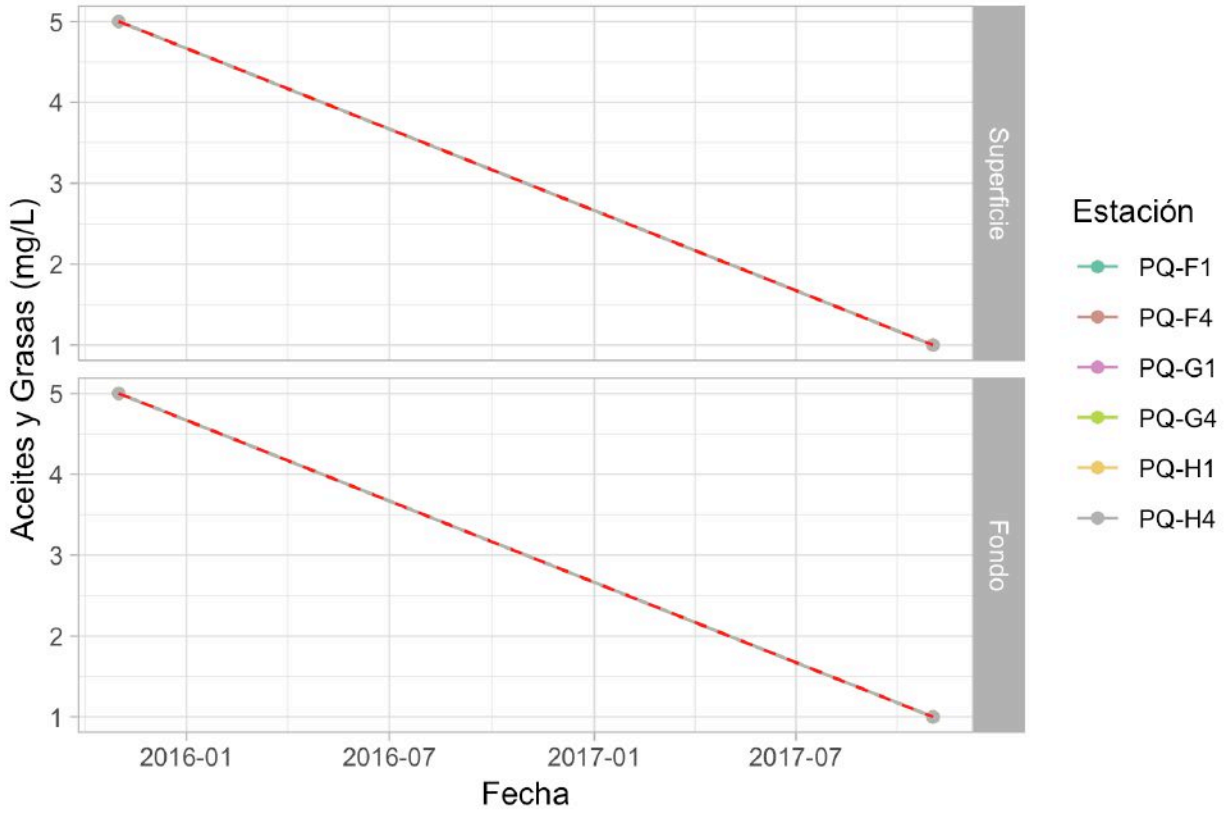


Figura 231. Aceites y grasas (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

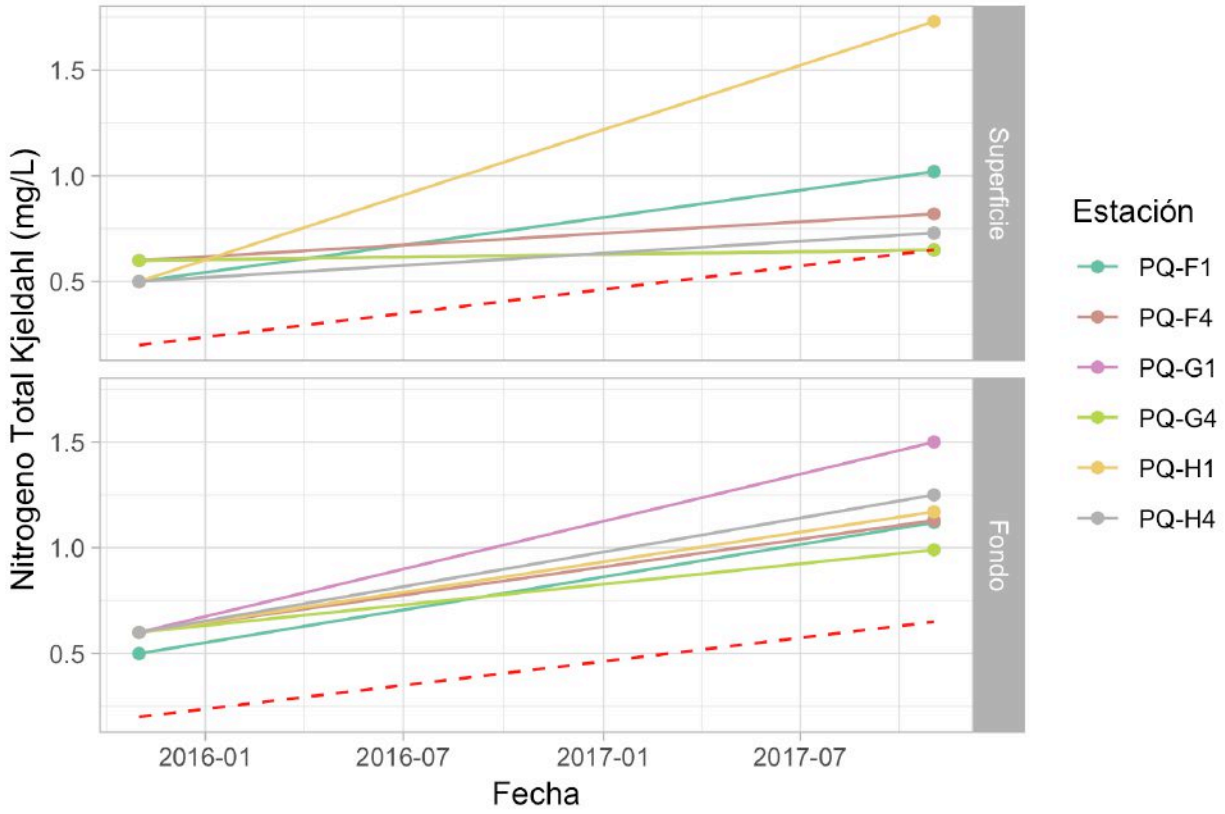


Figura 232. Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

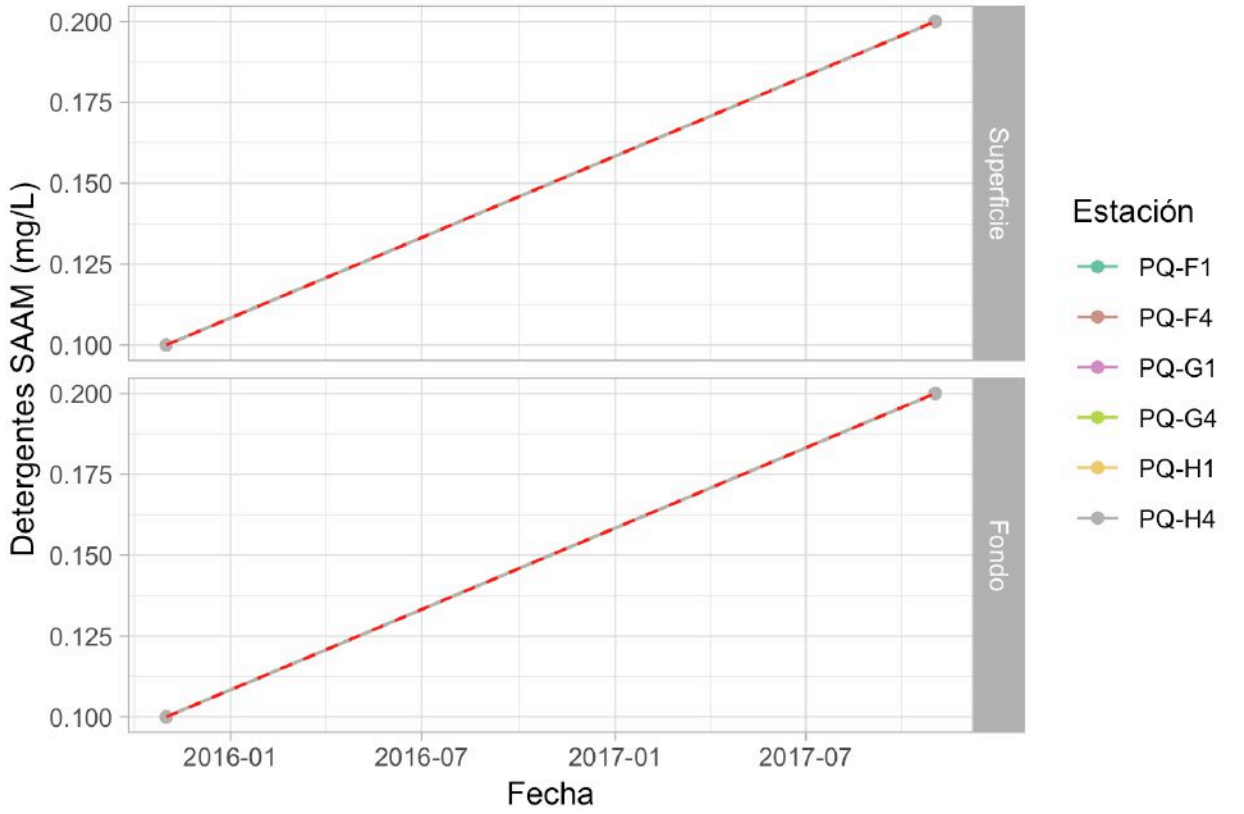


Figura 233. Detergentes SAAM (mg/L) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

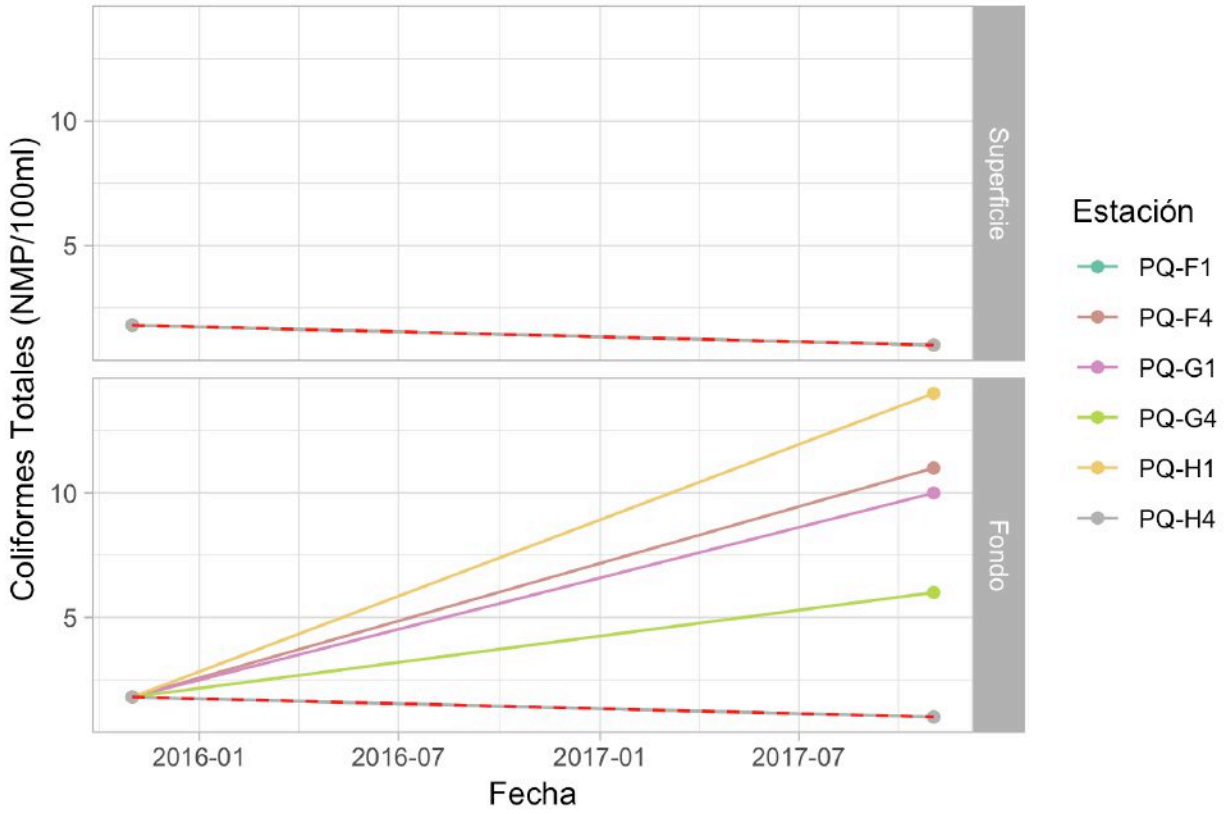


Figura 234. Coliformes totales (NMP/100 ml) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

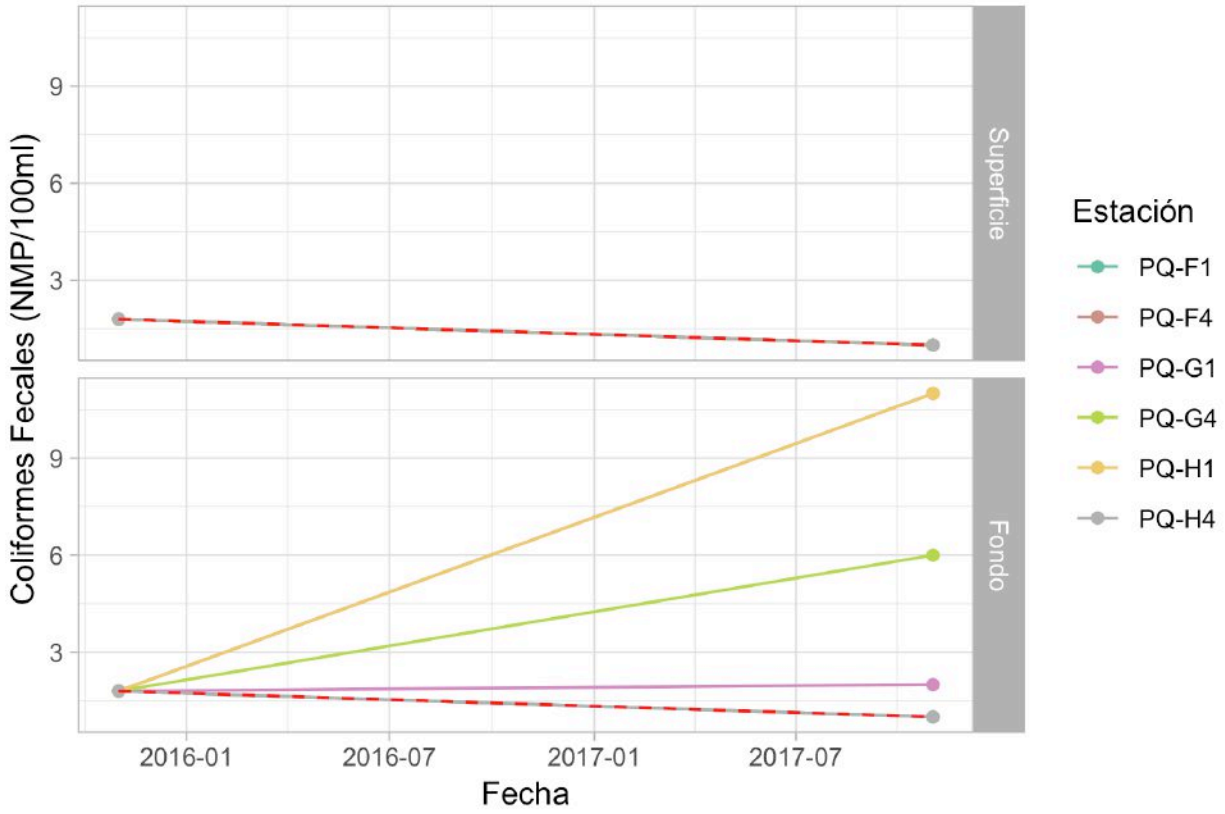


Figura 235. Coliformes fecales (NMP/100 ml) para los estratos superficie y fondo, para los años 2015 y 2017.

5.2.14.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales (**Tabla 93**). En términos generales los parámetros presentan una alta variabilidad, destacando los parámetros cascajo muy fino (CMF), arenas muy finas (AMF) y limos y arcillas (LyA), cuyos coeficientes de variación fueron mayores a 100% (155%, 119% y 107% respectivamente).

Tabla 93. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
MOT	%	12	0,1	0,79	0,38	0,30	79%	0,7579	0,0032	-
CMF	%	12	0	36,92	7,10	11,01	155%	0,6767	0,0005	-
AMG	%	12	0	27,88	10,93	8,63	79%	0,9489	0,6203	-
AG	%	12	0	58,54	19,83	19,15	97%	0,8812	0,0909	-
AM	%	12	4,17	73,34	19,54	19,23	98%	0,7454	0,0024	-
AF	%	12	6,74	45,906	25,08	15,61	62%	0,8736	0,0725	-
AMF	%	12	0,18	51,818	16,77	19,98	119%	0,7886	0,0070	-
LyA	%	12	0,01	2,346	0,75	0,81	107%	0,8125	0,0130	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.14.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 93**.

En la **Figura 236** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el submareal. Se puede observar que para el año 2015, las estaciones PQ-F1 y PQ-F4 presentan una mayor dominancia de arenas finas (AF) y arenas muy finas (AMF), mientras que las estaciones PQ-G1, PQ-G4, PQ-H4 registraron una mayor dominancia de arenas gruesas (AG) y cascajos muy finos (CMF). Durante el año 2017, la estación PQ-F1 se registró una predominancia de arenas gruesas y arenas medias (AM). Por otro lado, en las estaciones PQ-F4 y PQ-H4 dominaron las arenas finas y arenas muy finas y la estación PQ-H1 tuvo una alta dominancia de arenas medias (75%). Cabe destacar que, en la estación PQ-G4 la proporción del tamaño de grano fue homogénea.

En la **Figura 237** se entrega la tendencia de materia orgánica total (MOT) para cada una de las estaciones en los años 2015 y 2017. Se observa que, durante al año 2015 los niveles de materia orgánica fueron variables entre estaciones, fluctuando entre mínimos cercanos a 0,5% y máximos cercanos a 0,8%, mientras que para el año 2017 el valor de materia orgánica fue el mismo en todas las estaciones, en torno a 0,1%.

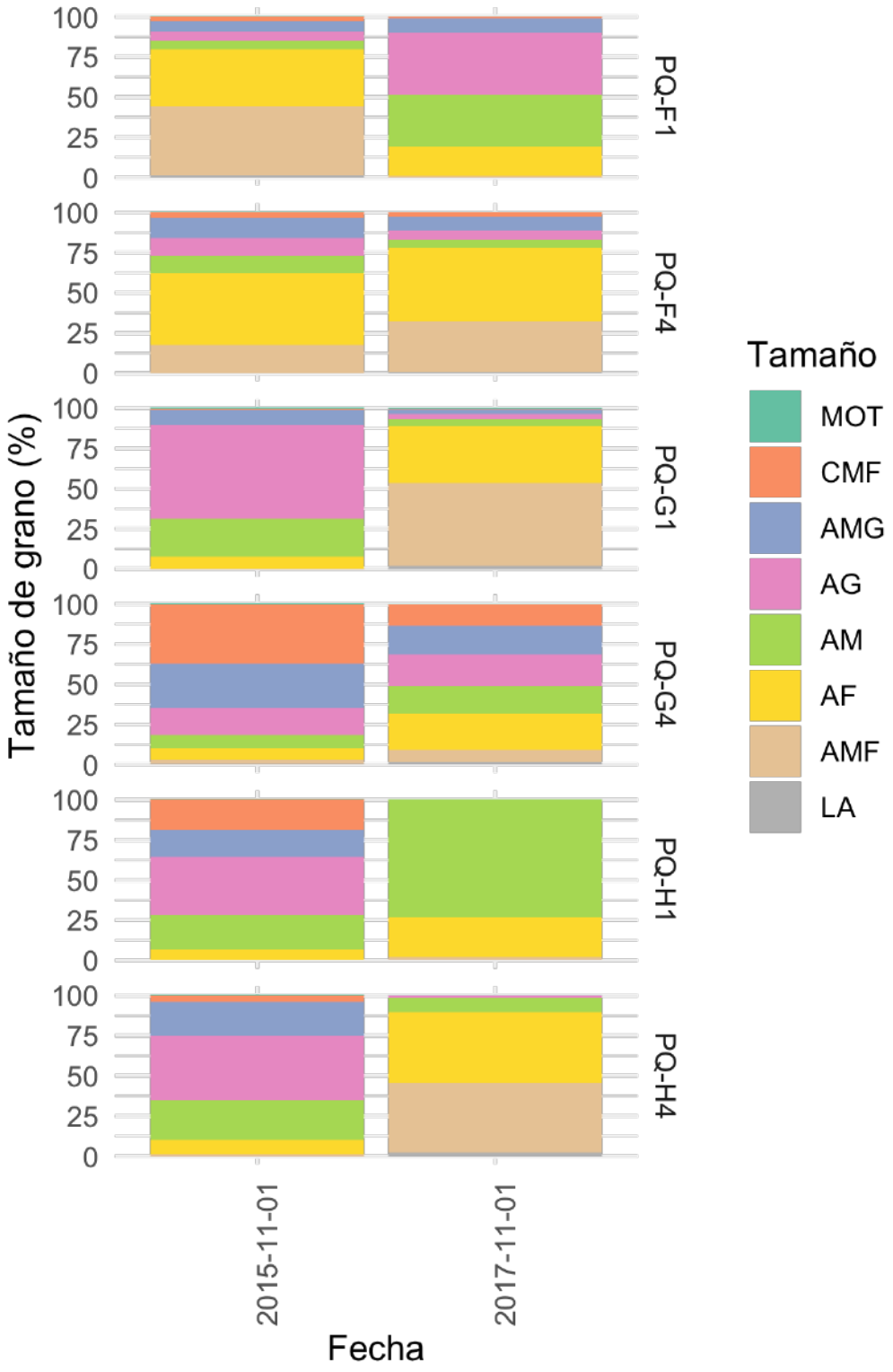


Figura 236. Fracción granulométrica por estación submareal para los años 2015 y 2017.

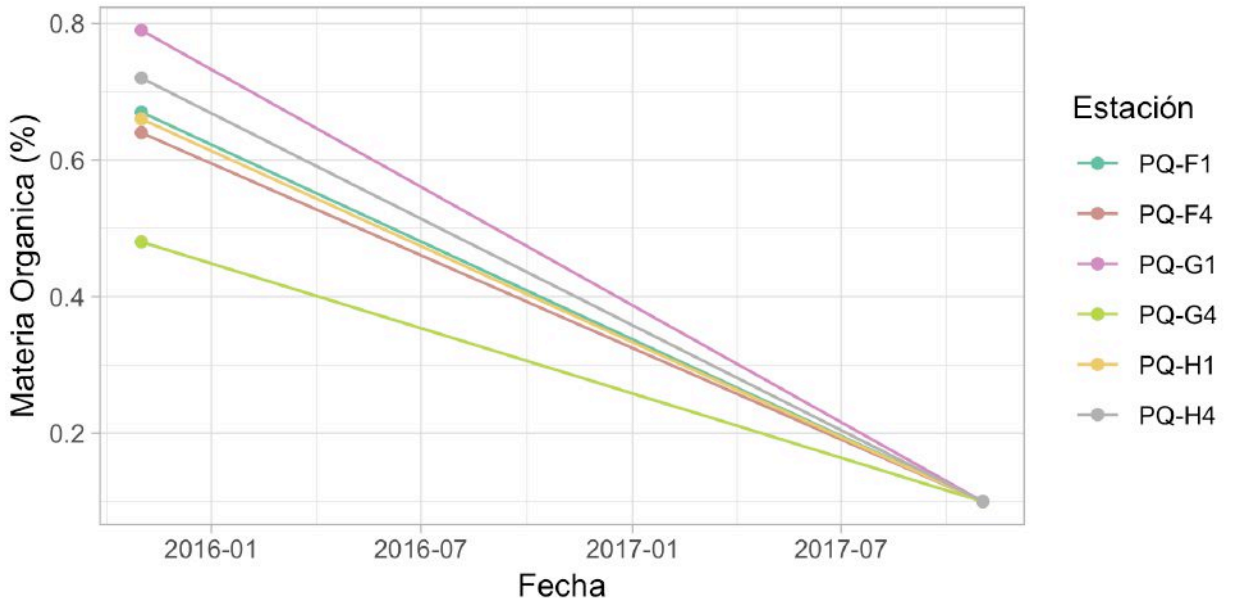


Figura 237. Niveles de materia orgánica total (MOT) en sedimentos submareales por estación, para los años 2015 y 2017.

5.2.14.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal (**Tabla 94**). La abundancia osciló entre 1 y 684 ind/m^2; con una media de 16,66 ind/m^2, mientras que la biomasa fluctuó entre 0,01 y35,54 g/m^2, con una media de 0,47 g/m^2.

Cabe destacar que, tanto la abundancia como la biomasa presentaron una alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores a 300%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente.

Tabla 94. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	394	1	684	16,66	64,33	386%	0,2455	0,0000
Submareal	Biomasa	g/m2	394	0,01	35,54	0,47	2,29	491%	0,1876	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.14.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 94**.

Al igual que lo reportado en Ventanas Unidad 4, la revisión de las bases de datos del bentos submareal arrojó problemas en identificación taxonómica, por lo que no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

5.2.14.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.14.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 95** se entrega un análisis GLM, para las variables temperatura, pH, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de las variables hidrográficas presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas. En el caso de la temperatura y saturación de oxígeno, el Estrato corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=42,5% y 31,2% respectivamente); mientras que, para el pH y oxígeno disuelto, el efecto Año presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=52,9% y 28,7% respectivamente).

Tabla 95. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y pH, en agua para los años 2015 y 2017. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			422		10,30		
Temp	Estación	5	417	3,89	6,40	0,0000	37,82
	Estrato	2	415	4,38	2,02	0,0000	42,55
	Año	1	414	0,53	1,49	0,0000	5,13
			422		1,12		
pH	Estación	5	417	0,28	0,85	0,0000	24,63
	Estrato	2	415	0,19	0,65	0,0000	17,26
	Año	1	414	0,59	0,06	0,0000	52,93
			422		104,39		
Odis	Estación	5	417	29,23	75,15	0,0000	28,01
	Estrato	2	415	29,57	45,59	0,0000	28,32
	Año	1	414	30,00	15,59	0,0000	28,74
			422		1.297,13		
Osat	Estación	5	417	376,64	920,49	0,0000	29,04
	Estrato	2	415	404,67	515,82	0,0000	31,2
	Año	1	414	312,56	203,26	0,0000	24,1

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación en cada una de las variables hidrográficas (**Figura 238**), permite observar para temperatura, que el estrato superior presentó las mayores temperaturas, con valores cercanos a 14,5ºC, mientras que el estrato de fondo presentó las temperaturas más bajas en torno a 13ºC. Para el pH, presentó variaciones entre

años, con valores máximos superiores a 8,10 en el año 2015 y valores mínimos de 7,87 en el año 2017. El oxígeno disuelto también presentó una alta variabilidad entre años, registrando concentraciones en torno a 7 mg/L para el año 2015 y de 8,7 mg/L para el año 2017. Finalmente, la saturación de oxígeno disuelto alcanzó niveles máximos en el estrato superior, en torno a 80%, mientras que los niveles mínimos fueron registrados en el estrato fondo, en torno a 50%. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 12.a.**

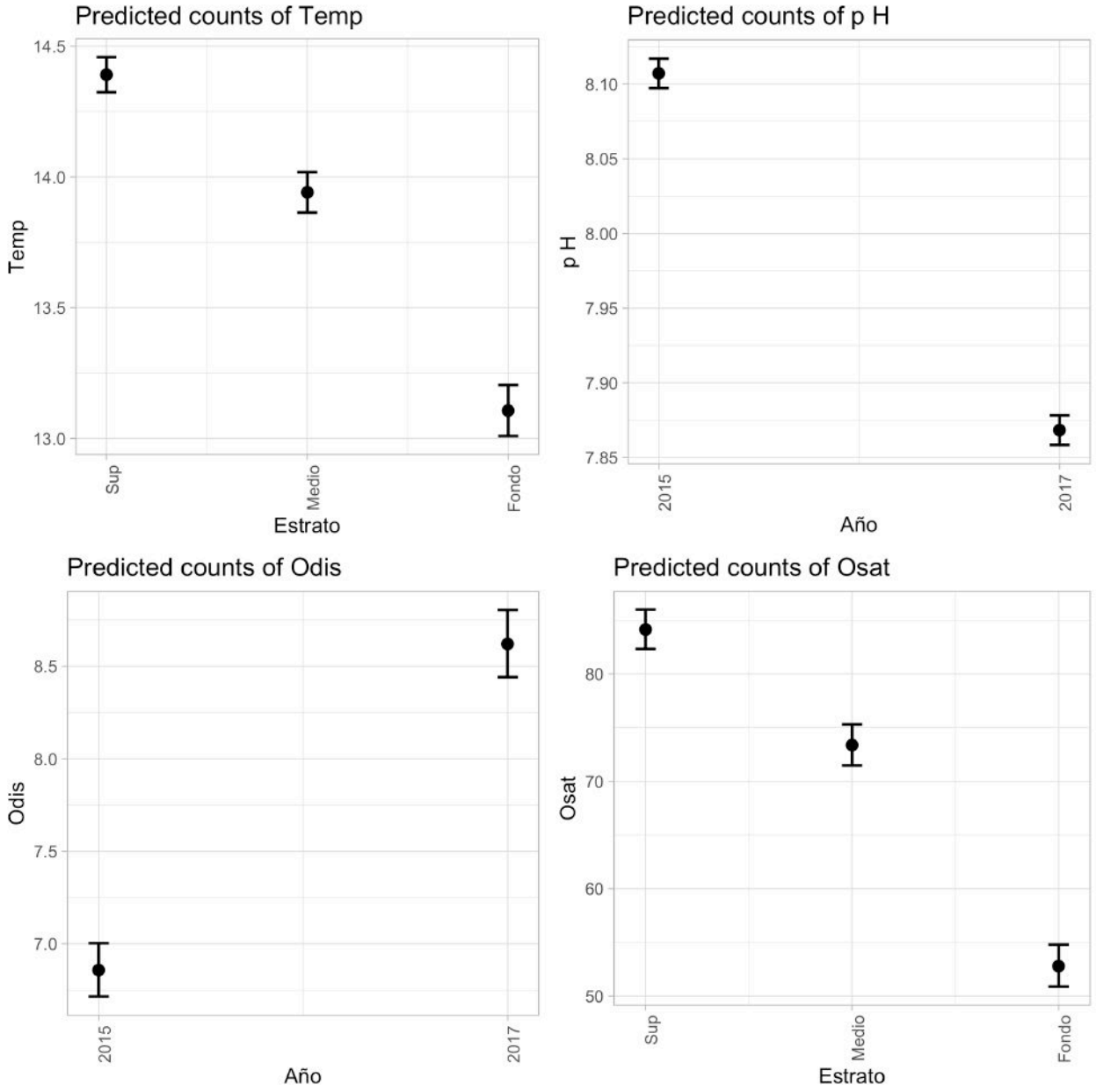


Figura 238. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Variables hidrográficas.

5.2.14.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 96** se entrega un análisis GLM, para los parámetros sólidos suspendidos (SolSus), sólidos sedimentables (SolSed), ácidos y grasas (AyG), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), detergentes SAAM (SAAM), coliformes totales (ColTot) y coliformes fecales (ColFec), utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para la fuente de variación Año, mientras que los parámetros sólidos suspendidos, coliformes totales y coliformes fecales presentaron diferencias significativas para la fuente Estrato y el parámetro de sólidos sedimentables registró diferencias significativas para el efecto Estación. Tanto para los coliformes totales y coliformes fecales, el Estrato fue el efecto con mayor porcentaje de devianza explicada, con DE=30,33% y 25,1% respectivamente, mientras que el resto de los parámetros analizados, el Año fue el efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=41,79%, 100%, 100%, 61,31% y 100% respectivamente).

Tabla 96. Resultados de MLG para los parámetros sólidos suspendidos (SolSus), sólidos sedimentables (SolSed), ácidos y grasas (AyG), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), detergentes SAAM (SAAM), coliformes totales (ColTot) y coliformes fecales (ColFec), en agua de mar, entre 2015 y 2017. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			23		56,08		
SolSus	Estación	5	18	7,29	48,79	0,2601	13,01
	Estrato	1	17	6,96	41,83	0,0127	12,4
	Año	1	16	23,44	18,39	0,0000	**41,79**
			23		3,49		
SolSed	Estación	5	18	0,00	3,49	0,0000	0
	Estrato	1	17	0,00	3,49	1,0000	0
	Año	1	16	3,49	0,00	0,0000	**100**
			23		34,93		
AyG	Estación	5	18	0,00	34,93	1,0000	0
	Estrato	1	17	0,00	34,93	1,0000	0
	Año	1	16	34,93	0,00	0,0000	**100**
			23		3,01		
NKT	Estación	5	18	0,23	2,78	0,4446	7,77
	Estrato	1	17	0,16	2,62	0,0722	5,27
	Año	1	16	1,85	0,77	0,0000	**61,31**
			23		0,41		
SAAM	Estación	5	18	0,00	0,41	1,0000	0
	Estrato	1	17	0,00	0,41	1,0000	0
	Año	1	16	0,41	0,00	0,0000	**100**
			23		67,24		
ColTot	Estación	5	18	13,29	53,95	0,1330	19,76
	Estrato	1	17	20,39	33,56	0,0003	**30,33**
	Año	1	16	10,92	22,64	0,0084	16,24
			23		46,75		
ColFec	Estación	5	18	11,31	35,44	0,1101	24,19
	Estrato	1	17	11,73	23,71	0,0023	**25,1**
	Año	1	16	4,57	19,14	0,0568	9,78

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Figura 239**), indica que los mayores niveles fueron registrados para el año 2015, mientras que el año 2017 se presentaron los niveles más bajos. Los sólidos sedimentables presentaron un patrón similar, con niveles máximos durante el año 2015, y mínimos durante el año 2017. Así mismo, los aceites y grasas registraron, para el año 2015, los niveles más altos, mientras que para el año 2017, se observan los niveles más bajos. Contrariamente, para el nitrógeno total Kjeldahl los mínimos fueron registrados durante el año 2017, mientras que para el año 2015, se registran niveles máximos. Estas mismas tendencias fueron registradas para los detergentes SAAM, con mínimos en 2015 y máximos en 2017. Los coliformes totales registraron máximos para el año 2015 y

mínimos de para el año 2017. Finalmente, para los coliformes fecales se observaron niveles mínimos en 2015 y máximos en 2017. El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 12b.**

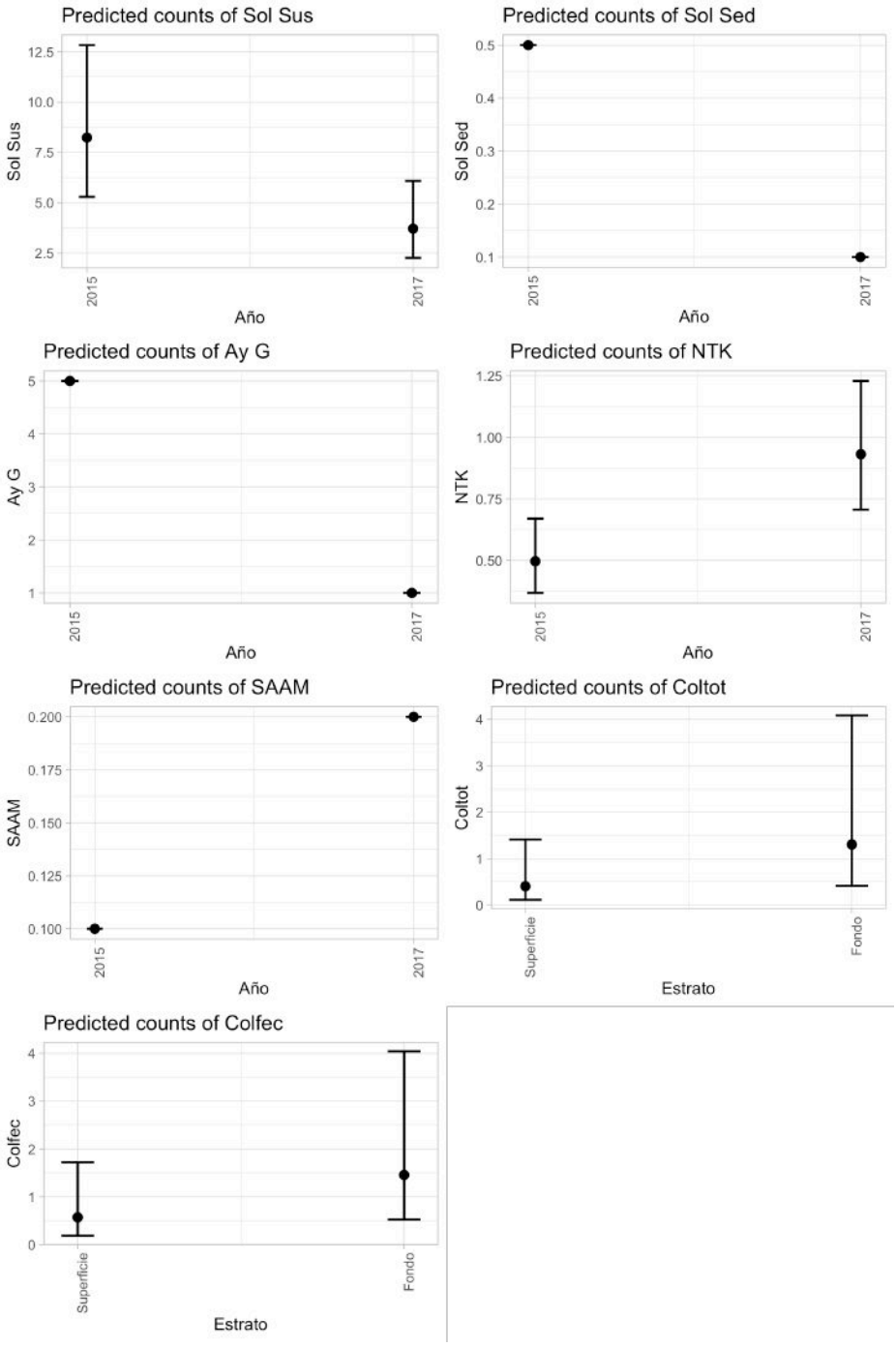


Figura 239. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua.

5.2.14.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Figura 240** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para la composición del sedimento submareal en las distintas estaciones de muestreo. El análisis arrojó diferencias significativas entre años (PERMANOVA R^2=0,27; P<0,05), debido a que el año 2015 presentó una mayor composición de cascajo muy fino, arenas medias gruesas, materia orgánica total y arenas gruesas; mientras que el año 2017, presentó mayor composición de arenas medias finas, limos gruesos arenas finas y arenas medias.

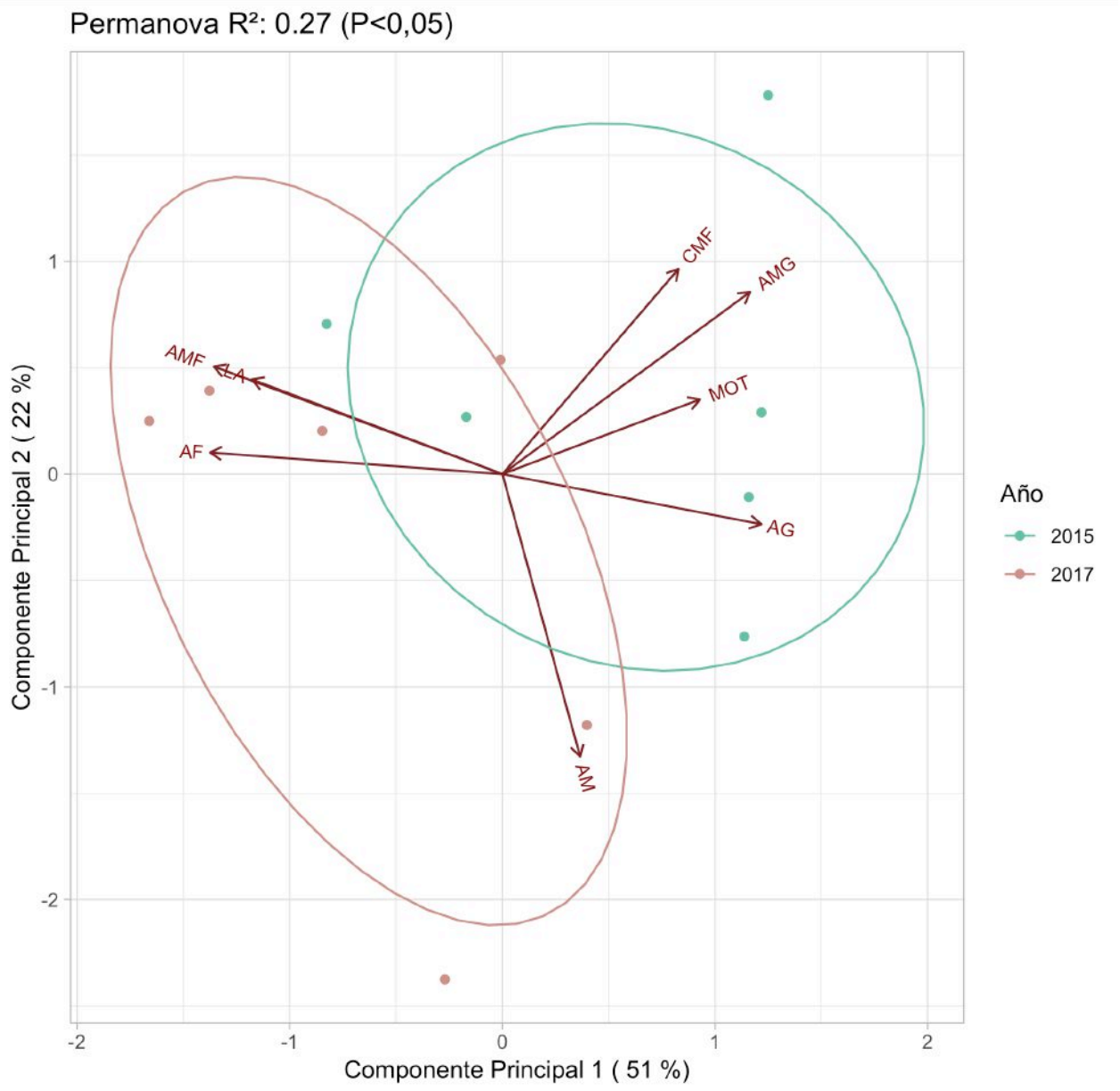


Figura 240. Análisis de componentes principales (PCA) para sedimentos submareales.

5.2.14.5.4 Comunidades

En la **Figura 241** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada presentó diferencias entre años, y en todas las estaciones de muestreo, ésta fue mayor durante el año 2017. Las riquezas registradas para el 2015 fluctuaron entre 8 y 23 especies, mientras para el 2017, las riquezas fluctuaron entre 20 y 31 especies. Cabe destacar que, la estación PQ-H4 fue la estación donde se registraron más mayores riquezas. El resultado del índice de diversidad de Shannon (H') muestra diversidades moderadas a bajas y altamente variables, que oscilan entre 0,25 y 1,2.

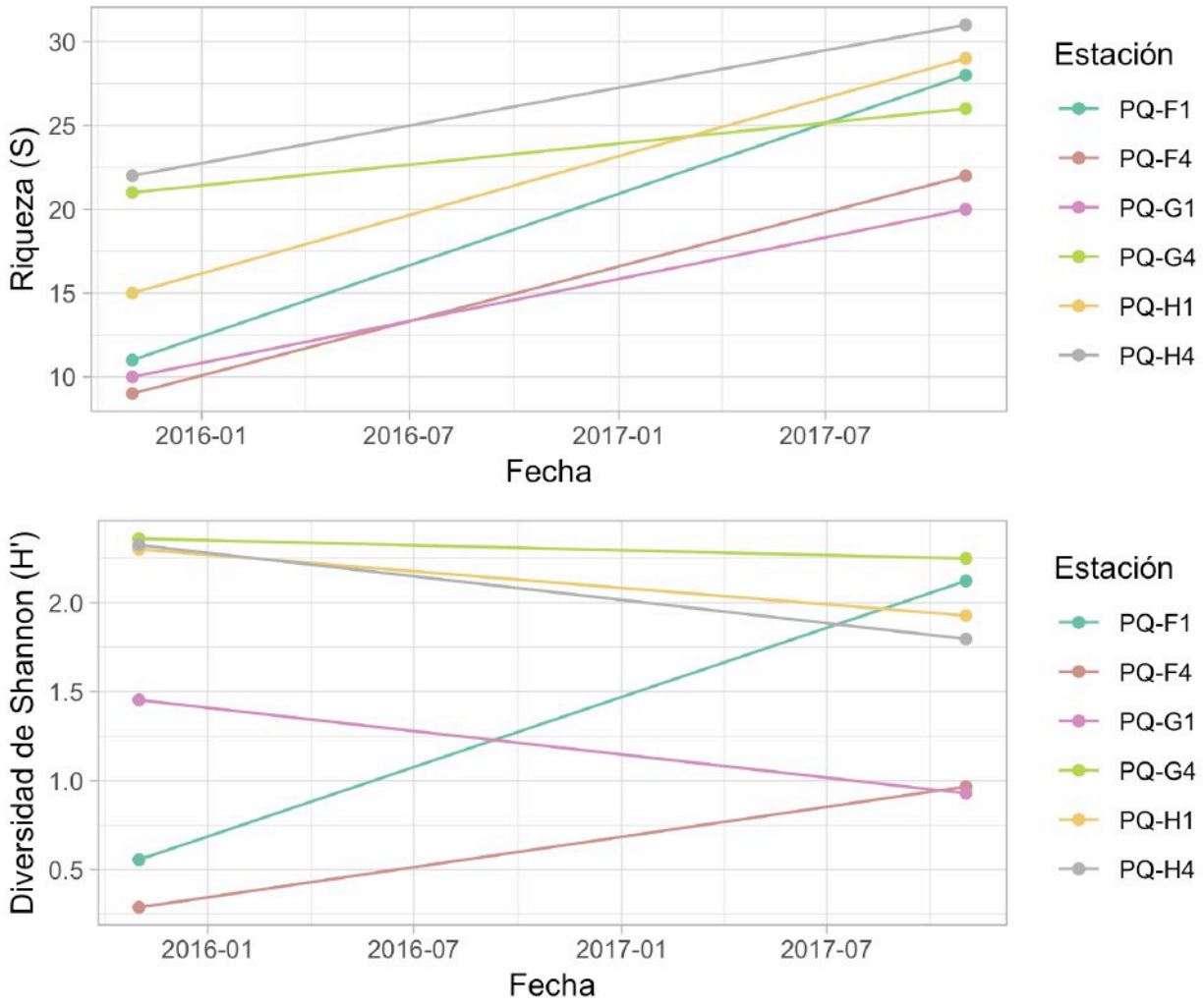


Figura 241. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

5.2.14.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para hidrografía, todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre estratos de profundidad. No obstante, solamente para temperatura y saturación de oxígeno el estrato correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad en los datos, observándose en ambos parámetros mayores niveles en superficie que en fondo.

Para calidad de agua, los solidos suspendidos totales, coliformes totales y coliformes fecales mostraron diferencias significativas entre estratos de profundidad. No obstante, solamente para coliformes el estrato correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad en los datos, observándose en ambos parámetros mayores niveles de coliformes en el estrato de fondo.

Diferencias entre años

Para hidrografía, todos los parámetros, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. No obstante, solo en el caso de pH y oxígeno disuelto, el año correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad de los datos. En el caso del pH, se observa una tendencia descendente entre los años 2015 y 2017; mientras que para oxígeno disuelto se observa una tendencia ascendente entre el 2015 y 2017.

Para calidad de agua, todos los parámetros salvo coliformes fecales, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en la mayoría de los parámetros analizados. En el caso de aceites y grasas y detergentes, las diferencias entre años corresponden a cambios en los límites de detección. En el caso de solidos suspendidos y solidos sedimentables, se observan tendencias descendentes entre los años 2015 y 2017; mientras que para NTK, coliformes totales y coliformes fecales se observan tendencias ascendentes en la serie de datos que va desde 2015 a 2017.

Estacionalidad

Las campañas analizadas para esta UF, corresponden sólo a 2 campañas, efectuadas en noviembre de 2015 y noviembre de 2017, lo que no permite establecer diferencias entre épocas del año.

Diferencias espaciales

Ninguno de los parámetros monitoreados presentó diferencias significativas entre estaciones de monitoreo, lo cual puede deberse a la cercanía entre las estaciones de monitoreo (**Figura 224**).

5.2.15 Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero

5.2.15.1 Ubicación y diseño del programa

En la **Figura 242** y **243** se entrega el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar para el submareal 12 estaciones de monitoreo, y una estación control ubicada hacia el norte fuera de la bahía. Además, se efectúa un monitoreo en 4 puntos del AMERB Embarcadero y un monitoreo de 10 estaciones de playas (intermareal) y 6 puntos en el borde costero (E1 a E6).

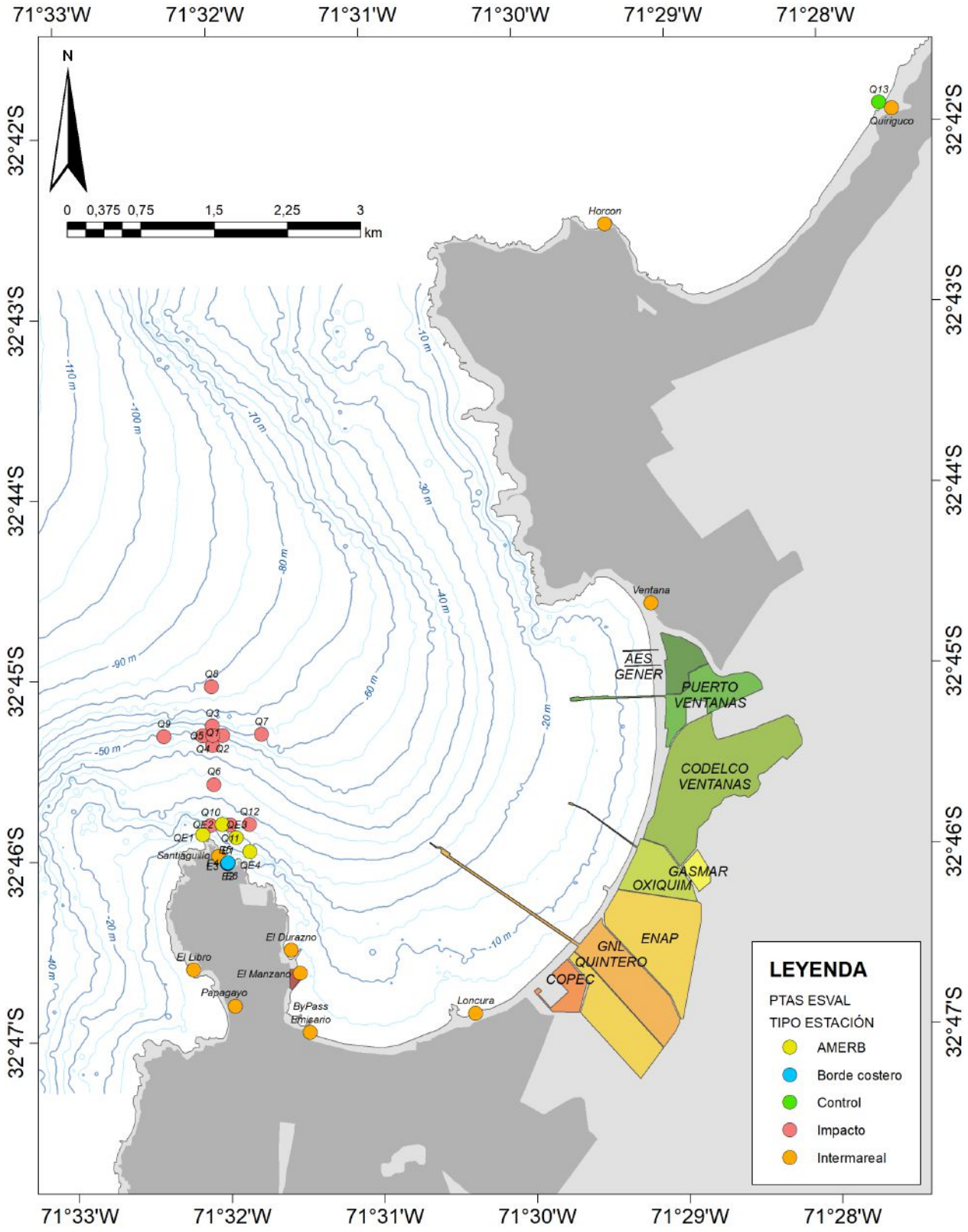


Figura 242. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero.

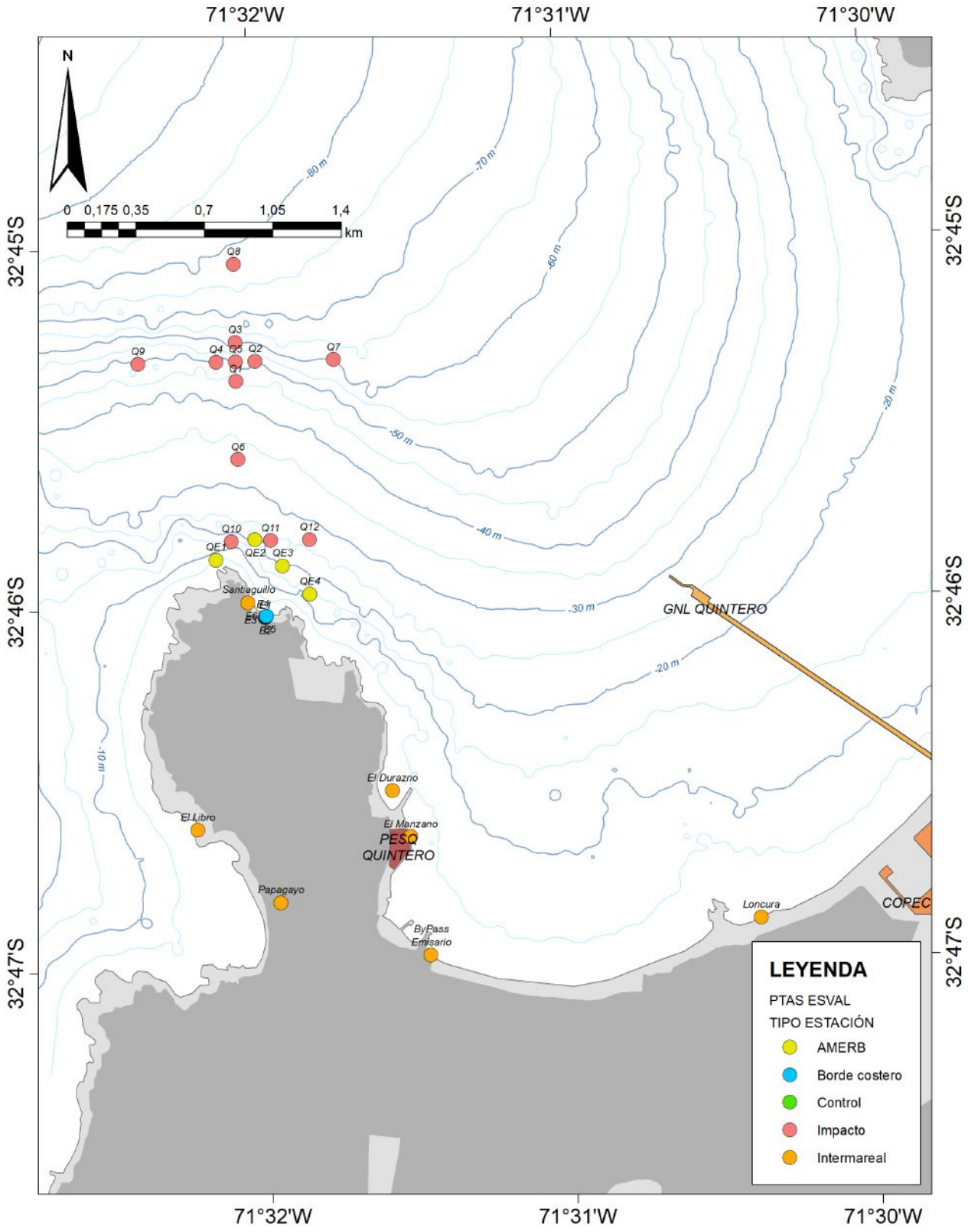


Figura 243. Ubicación y puntos de monitoreo de la UF Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero (zoom).

5.2.15.2 Matrices analizadas

Las matrices analizadas corresponden a corrientes, hidrografía, agua submareal e intermareal, sedimento submareal, macrofauna submareal e intermareal y megafauna. Los análisis estadísticos presentados en este informe no consideran los datos de corrientes, éstos serán analizados en forma integral en el próximo informe (**Tabla 97**).

Tabla 97. Matrices analizadas en cada una de las estaciones del PSBQ Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero.

UF	CÓDIGO UF	ESTACIÓN	TIPO	CORRIENTES	HIDROGRAFIA	AGUA	SEDIMENTOS	MACROFAUNA	MEGAFAUNA
PTAS ESVAL	67_118	Q1	Impacto		X	X	X	X	
PTAS ESVAL	67_118	Q2	Impacto		X	X	X	X	
PTAS ESVAL	67_118	Q3	Impacto		X	X	X	X	
PTAS ESVAL	67_118	Q4	Impacto		X	X	X	X	
PTAS ESVAL	67_118	Q5	Impacto	X	X		X	X	
PTAS ESVAL	67_118	Q6	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q7	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q8	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q9	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q10	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q11	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q12	Impacto		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	Q13	Control		X	X			
PTAS ESVAL	67_118	QE1	AMERB			X			
PTAS ESVAL	67_118	QE2	AMERB			X			
PTAS ESVAL	67_118	QE3	AMERB			X			
PTAS ESVAL	67_118	QE4	AMERB			X			
PTAS ESVAL	67_118	Quiriguco	Intermareal			X		X	
PTAS ESVAL	67_118	Horcón	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	Ventana	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	Loncura	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	El Manzano	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	El Durazno	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	Santiaguillo	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	El Libro	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	Papagayo	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	ByPass Emisario	Intermareal			X			
PTAS ESVAL	67_118	E1	Borde costero						X
PTAS ESVAL	67_118	E2	Borde costero						X
PTAS ESVAL	67_118	E3	Borde costero						X
PTAS ESVAL	67_118	E4	Borde costero						X
PTAS ESVAL	67_118	E5	Borde costero						X
PTAS ESVAL	67_118	E6	Borde costero						X

5.2.15.3 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 98** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Para hidrografía se monitorea temperatura, salinidad, densidad cada 1 metro de profundidad, lo cual permite efectuar perfiles para estas variables. Para corrientes se efectúan lanzamientos de derivadores y se registra la distancia recorrida, dirección y velocidad de la corriente. En el agua submareal se monitorea Coliformes fecales, Coliformes totales, Aceites y Grasas, Compuestos fenólicos, Hidrocarburos Fijos, Hidrocarburos totales, Hidrocarburos Volátiles; mientras que en

agua intermareal se mide solamente coliformes fecales y aceites y grasas, en los puntos del AMERB se miden los coliformes fecales. En el sedimento submareal se miden junto a los parámetros asociados a la granulometría el carbono orgánico total. En las comunidades del submareal se contabiliza la abundancia y biomasa; mientras que para megafauna (borde costero) se analiza la cobertura (%) por taxa.

Tabla 98. Parámetros analizados en cada una de las matrices del PSBQ Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero.

Tipo	Parámetro	Unidad	Sigla
Hidrografía	Temperatura (ºC)	ºC	Temp
Hidrografía	Salinidad (PSU)	PSU	Sal
Hidrografía	Densidad (σt)	σt	Dens
Corrientes	Distancia recorrida (m)	m	Dist
Corrientes	Dirección	º	Dir
Corrientes	Velocidad promedio (cm.s- 1)	cm/s	Veloc
Calidad agua submareal	Profundidad	m	Z
Calidad agua submareal	Coliformes fecales	NMP/100 mL	ColFec
Calidad agua submareal	Coliformes totales	NMP/100 mL	ColTot
Calidad agua submareal	Aceites y Grasas	mg/L	AyG
Calidad agua submareal	Compuestos fenólicos	mg/L	IF
Calidad agua submareal	Hidrocarburos Fijos	mg/L	Hfij
Calidad agua submareal	Hidrocarburos totales	mg/L	HCT
Calidad agua submareal	Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HV
Calidad agua submareal	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST
Calidad agua intermareal	Coliformes fecales	NMP/100 mL	ColFec
Calidad agua intermareal	Aceites y Grasas	mg/L	AyG
Calidad agua AMERB	Profundidad	m	Z
Calidad agua AMERB	Coliformes fecales	NMP/100 mL	ColFec
Calidad de sedimento	Carbono orgánico total	%	COT
Calidad de sedimento	Conchuela	%	CCH
Calidad de sedimento	Arena mediana	%	AM
Calidad de sedimento	Arena fina	%	AF
Calidad de sedimento	Arena muy fina	%	AMF
Calidad de sedimento	Limo	%	LG
Macrofauna submareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna submareal	Biomasa	g/m2	B
Macrofauna intermareal	Abundancia	ind/m2	N
Macrofauna intermareal	Biomasa	g/m2	B
Megafauna	Cobertura	%	Cob

5.2.15.4 Estadística descriptiva

5.2.15.4.1 Hidrografía

Se analizaron los parámetros temperatura, salinidad y densidad del agua de mar. La temperatura osciló entre 10,74ºC y 17,46ºC, con una media de 13,86ºC, y un coeficiente de variación del 12%. La salinidad osciló entre 12,78 PSU y 34,62 PSU, con una media de 34,0 PSU, y un coeficiente de variación del 7%. Finalmente, la densidad osciló entre 24,67 σt y 34,40 σt, con una media de

25,84 σt, y un coeficiente de variación del 4%. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 99**).

Tabla 99. Resumen de estadística descriptiva de los parámetros de hidrografía analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Temp	ºC	703	10,742	17,463	13,86	1,70	12%	0,9581	0,0000
Sal	PSU	703	12,78	34,621	34,00	2,39	7%	0,1256	0,0000
Dens	σt	703	24,6652	34,4	25,84	1,11	4%	0,4166	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.15.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 99**.

En las **Figuras 244** a **246** se entregan el análisis de los parámetros temperatura, salinidad y densidad del agua de mar. Para temperatura se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad, para la mayoría de las estaciones, sin observarse una termoclina en los primeros metros de profundidad. Si bien, no se observan diferencias importantes entre estaciones, la estación Q10 en el año 2012 presenta un patrón diferente al resto de las estaciones monitoreadas ese año, con un aumento en la temperatura entre los 10 y 15 m, para luego disminuir de forma sostenida, hasta los 40 m. Del mismo modo, la estación Q13 en el año 2013, presentan un aumento de la temperatura entre los 25 y 30 m, patrón totalmente diferente al resto de las estaciones monitoreadas ese año. Para la salinidad en cambio, se observa una columna de agua con escasa variabilidad entre estaciones, excepto la estación Q-9 en el año 2017, que presenta notoriamente salinidades menores. Finalmente, la densidad presentó también un patrón homogéneo, con una tendencia a aumentar hacia profundidades mayores. No se observan diferencias importantes entre estaciones, salvo la estación Q-9 el año 2017, que presentó densidades mayores-

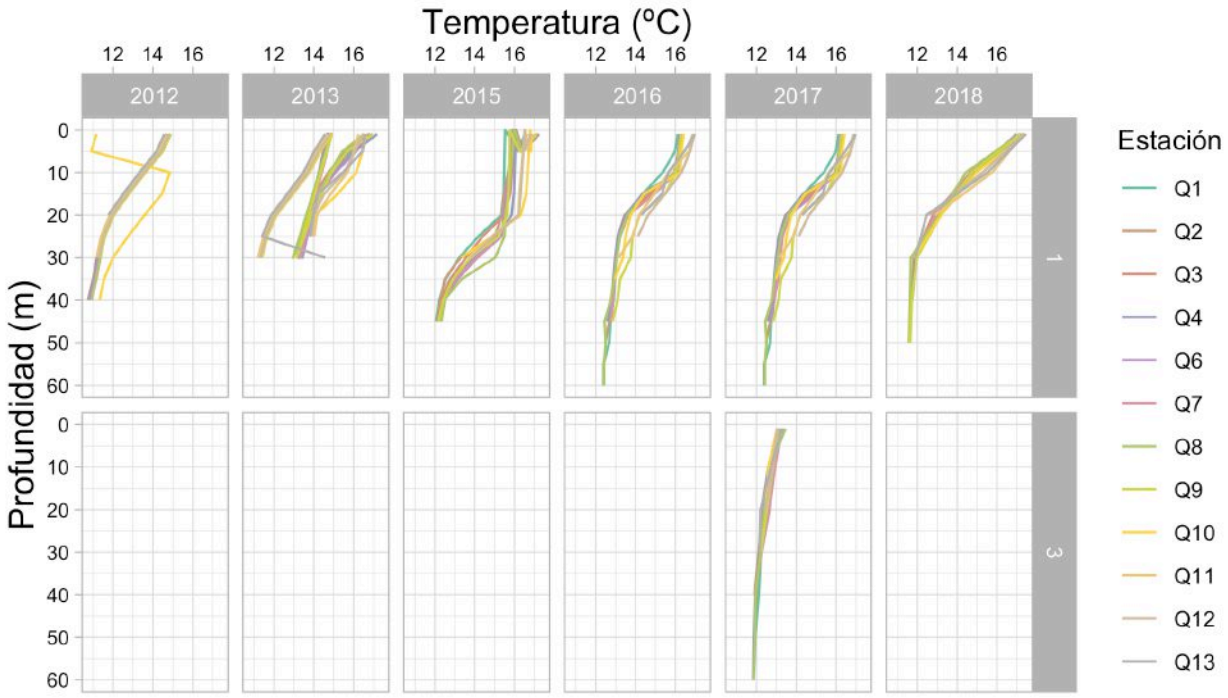


Figura 244. Perfiles de temperatura para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018.

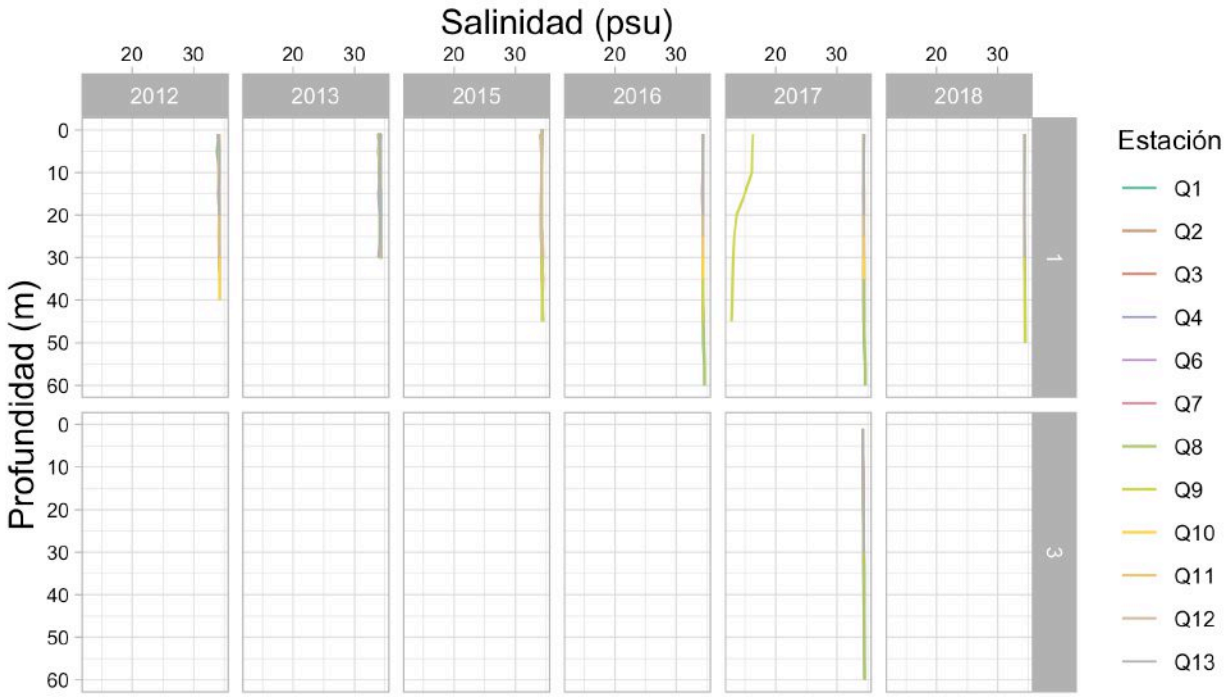


Figura 245. Perfiles de salinidad para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018.

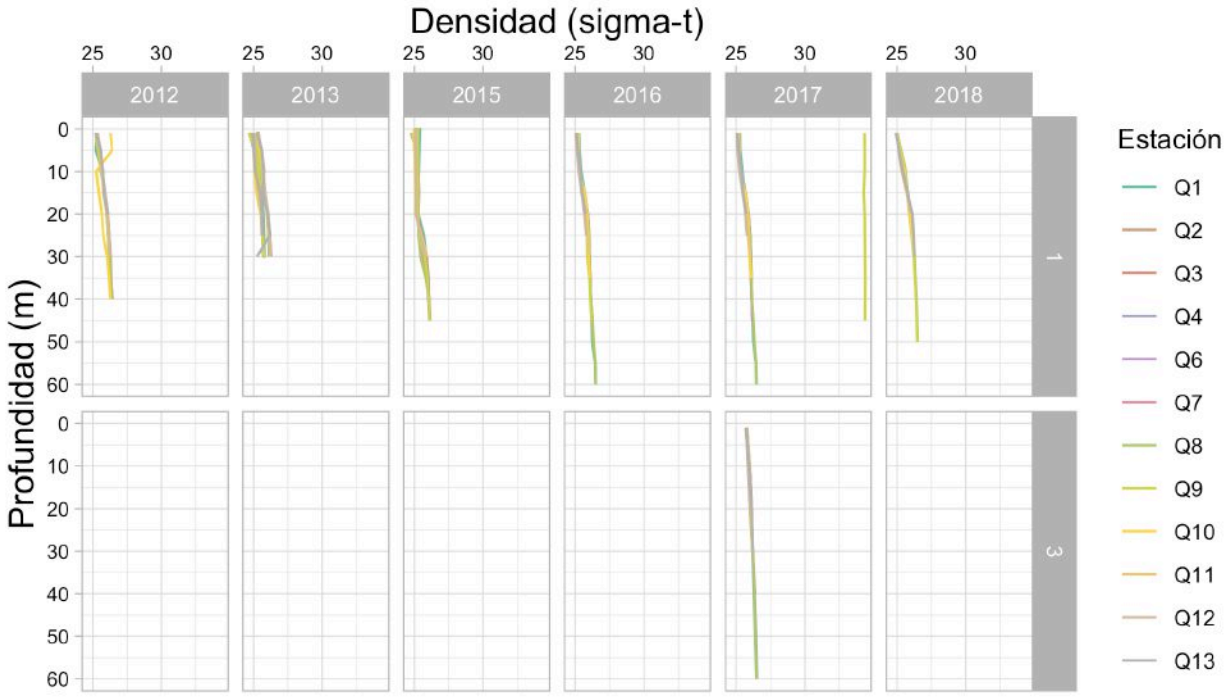


Figura 246. Perfiles de oxígeno disuelto para las estaciones submareales de UF ESVAL Quintero, entre los años 2015 y 2018.

5.2.15.4.2 Calidad de agua

Se entregan los resultados de coliformes fecales, coliformes totales, aceites y grasas, compuestos fenólicos, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales e hidrocarburos volátiles medidos en columna agua submareal y de coliformes totales y aceites y grasas medidos en agua intermareal.

Para el submareal, los coliformes fecales presentaron alta variabilidad oscilando entre 1,8 y 3.500 NMP/100 mL, con una media de 28,72 NMP/100 mL y un coeficiente de variación mayor al 800%. Para coliformes totales, los datos también presentaron alta variabilidad con mínimos de 1,4 y máximos de 5.400 NMP/100 mL, una media de 57,68 NMP/100 mL y un coeficiente de variación mayor al 700%. Para aceites y grasas los datos fluctuaron entre mínimos de 2 mg/L y máximos de 10 mg/L, con una media de 7,95 mg/L, y un coeficiente de variación del 41%. Para los compuestos fenólicos los datos fluctuaron entre mínimos de 0,001 mg/L y máximos de 0,005 mg/L, con una media de 0,001 mg/L, y un coeficiente de variación del 92%. Para los hidrocarburos fijos los datos oscilaron entre mínimos de 3 mg/L y máximos de 5 mg/L, con una media de 4,78 mg/L, y un coeficiente de variación del 13%. Los hidrocarburos volátiles presentaron alta variabilidad fluctuando entre 0,01 mg/L y 1 mg/L, con una media de 0,2 mg/L y un coeficiente de variación del 148%. Los sólidos suspendidos totales presentaron alta variabilidad fluctuando entre 2,9 mg/L y 446 mg/L, con una media de 45,7 mg/L y un coeficiente de variación del 139%. Los hidrocarburos totales e hidrocarburos fijos (destacados en gris) mostraron el 100% de los datos bajo el límite de detección de las técnicas de laboratorio, por lo cual carecen de variabilidad (CV%=0) y de relevancia estadística (**Tabla 100**).

En el intermareal los coliformes fecales presentaron alta variabilidad oscilando entre 0 y 9.200 NMP/100 mL, con una media de 108,4 NMP/100 mL y un coeficiente de variación mayor al 400%. Para aceites y grasas los datos fluctuaron entre mínimos de 1 mg/L y máximos de 10 mg/L, con una media de 2,5 mg/L, y un coeficiente de variación de 84% (**Tabla 100**).

Finalmente, los datos submareales medidos en AMERB, muestran para coliformes fecales alta variabilidad en los datos, oscilando entre 1,8 y 3.500 NMP/100 mL, con una media de 105 NMP/100 mL y un coeficiente de variación mayor al 400% (**Tabla 100**).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros analizados se distribuye normalmente (**Tabla 100**).

Tabla 100. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
Submareal	ColFec([1])	NMP/100 mL	288	1,800	3500,00	28,722	250,634	873%	0,080	5,77E-35	61%
	ColTot([2])	NMP/100 mL	288	1,400	5400,00	57,675	455,289	789%	0,096	9,70E-35	54%
	AyG	mg/L	240	2,000	10,00	7,954	3,240	41%	0,615	7,08E-23	98%
	IF	mg/L	240	0,001	0,01	0,001	0,001	92%	0,623	1,16E-22	73%
	Hfij	mg/L	216	3,000	5,00	4,778	0,630	13%	0,363	6,71E-27	100%
	HCT	mg/L	168	5,000	5,00	5,000	0,000	0%	-	-	100%
	HV	mg/L	216	0,010	1,00	0,199	0,295	148%	0,532	1,12E-23	91%
	SST	mg/L	288	2,900	446,00	45,683	63,628	139%	0,627	1,44E-24	-
Intermareal	ColFec ([3])	NMP/100 mL	693	1,800	9200,00	108,376	475,551	439%	0,187	2,47E-47	15%
	AyG	mg/L	138	1,000	10,00	2,478	2,080	84%	0,625	3,10E-17	99%
AMERB	ColFec([4])	NMP/100 mL	192	1,800	3500,00	104,990	478,080	455%	0,221	1,15E-27	56%

([1]) Media logarítmica = 41,69

([2]) Media logarítmica = 33,94

([3]) Media logarítmica = 105,75

([4]) Media logarítmica = 53,90

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.15.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 100**.

En las Figuras **247 y 257** se muestra la tendencia de estos parámetros entre los años 2012 y 2018. Para coliformes fecales se observa en superficie, alta variabilidad entre las estaciones de muestreo a través del tiempo, observándose peaks de importancia en el año 2014 y 2017, asociado a las estaciones Q4 y Q6, y en el 2017 asociado a la estación Q4. En el fondo también se observan peaks de importancia en el año 2017 asociado a la estación Q4. En general los datos de superficie y fondo muestran un patrón similar a través del tiempo (**Figura 247**). Para coliformes totales se observa un patrón similar a lo observado en coliformes totales, con alta variabilidad entre las estaciones de muestreo a través de los años, y peaks de importancia el año 2014 y 2017 asociado a la estación Q4, en superficie; en el fondo también se observan peaks de importancia el año 2012, asociado a las estaciones Q1, Q2 y Q13, y en el año 2017 asociado a la estación Q4 (**Figura 248**). Para aceites y grasas se observa escasa variabilidad entre las estaciones de muestreo a través del tiempo, donde en la mayoría de los casos los datos se encuentran bajo los límites de detección (5 mg/L, 2 mg/L y 10 mg/L). Sólo en el año 2013 se observa que algunas estaciones se encuentran por sobre el límite de detección, no obstante, los valores no superan los 10 mg/L (**Figura 249**). Los compuestos fenólicos también presentaron escasa variabilidad entre las estaciones de muestreo a través del tiempo, donde en la mayoría de los casos los datos se encuentran bajo los límites de detección (0,001 mg/L, 0,002 mg/L, 0,0005 mg/L, 0,0006 mg/L).

Sólo en los años 2012, 2013 y 2016, se observa algunas estaciones con niveles por sobre los límites de detección. En general, los datos de superficie (0 m) y fondo (15 m) muestran patrones similares (**Figura 250**). En el caso de los hidrocarburos fijos e hidrocarburos totales, todas las estaciones mostraron valores bajo los límites de detección (línea punteada) (**Figuras 251 y 252**). En el caso de los hidrocarburos volátiles, si bien la mayoría de las campañas, mostraron valores bajo los límites de detección (0,001 mg/L, 0,1 mg/L, 1 mg/L) Se observa en algunas estaciones valores levemente superiores a los límites de detección en los años 2012, 2015 2016 y 2017 (**Figura 253**). En el caso de los sólidos suspendidos totales, se observa mayor variabilidad entre estaciones de muestreo, y una tendencia ascendente hasta el año 2017 y una caída hacia el año 2018. Si bien los estratos de superficie y fondo muestran un patrón similar, en superficie la estación Q1 presenta un peak en el año 2014; mientras que en el fondo se observa un peak de la estación Q9 en 2016. Se observa, además, en el año 2015, los valores más bajos de la serie para las estaciones Q3 y Q8 en superficie (**Figura 254**).

En el intermareal, se observa para coliformes fecales alta variabilidad entre las estaciones de muestreo, observándose peaks de importancia en el año 2013, asociado a las estaciones El Durazno, Descarga Plaza y El Libro. Pese a la alta variabilidad en los datos en posible apreciar una tendencia descendente a partir del año 2016. En el caso de aceites y grasas, la mayoría de los valores s e encontró bajo el límite de detección, no obstante, el año 2013, se observa que la estación Santiaguillo presentó peaks de importancia, pero que no superan los 10 mg/L (**Figura 255 y 256**).

Finalmente, para las estaciones asociadas al AMERB, se observó importante variabilidad entre estaciones, especialmente entre los años 2012 y 2014 y entre los años 2017 y 2018. Se observa que la estación QE1 presentó en la mayoría de las campañas, los niveles más altos de coliformes (**Figura 257**).

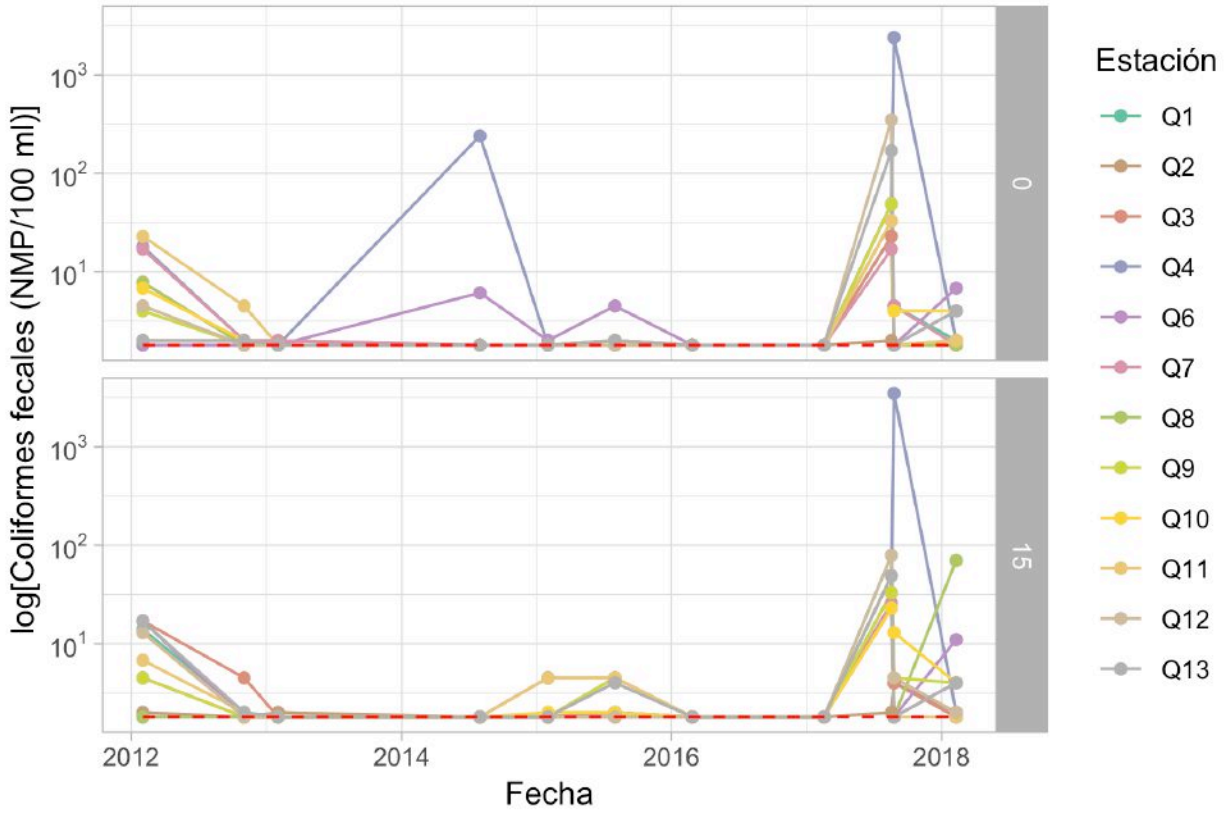


Figura 247. Coliformes fecales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

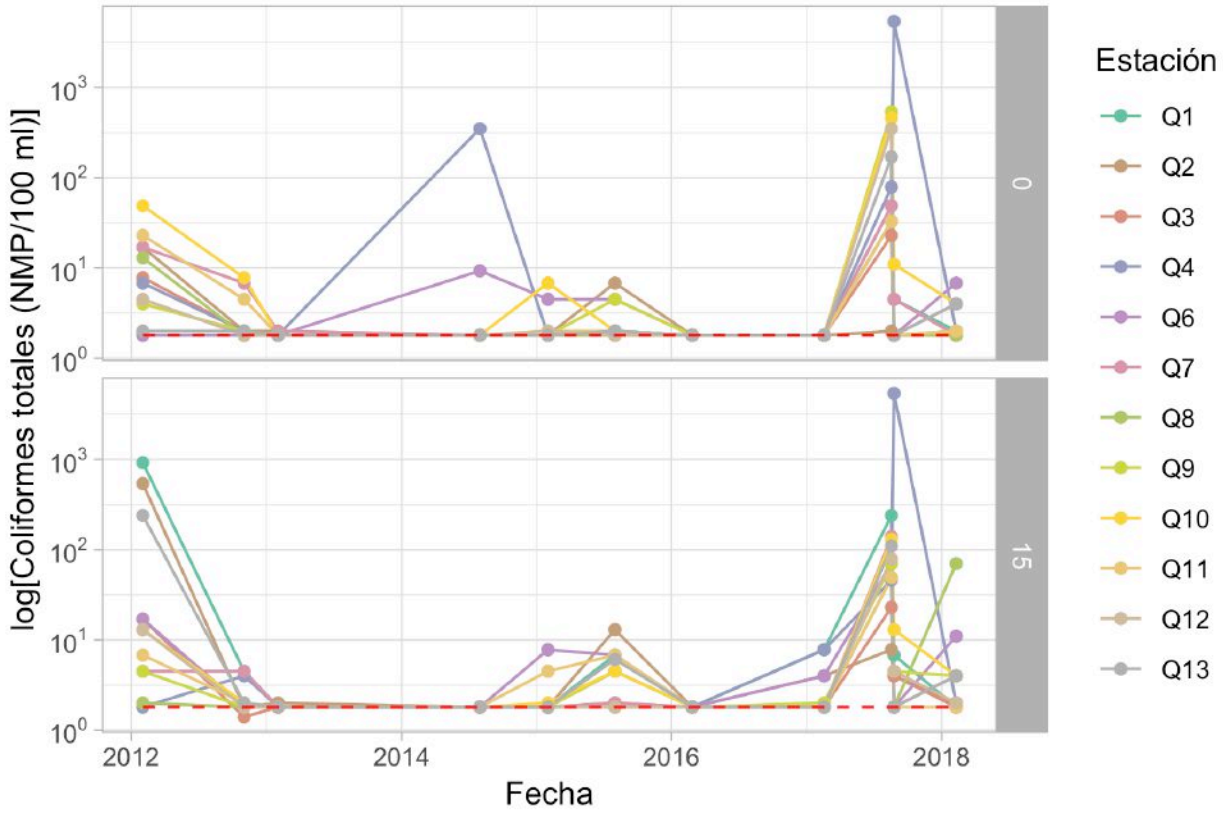


Figura 248. Coliformes totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

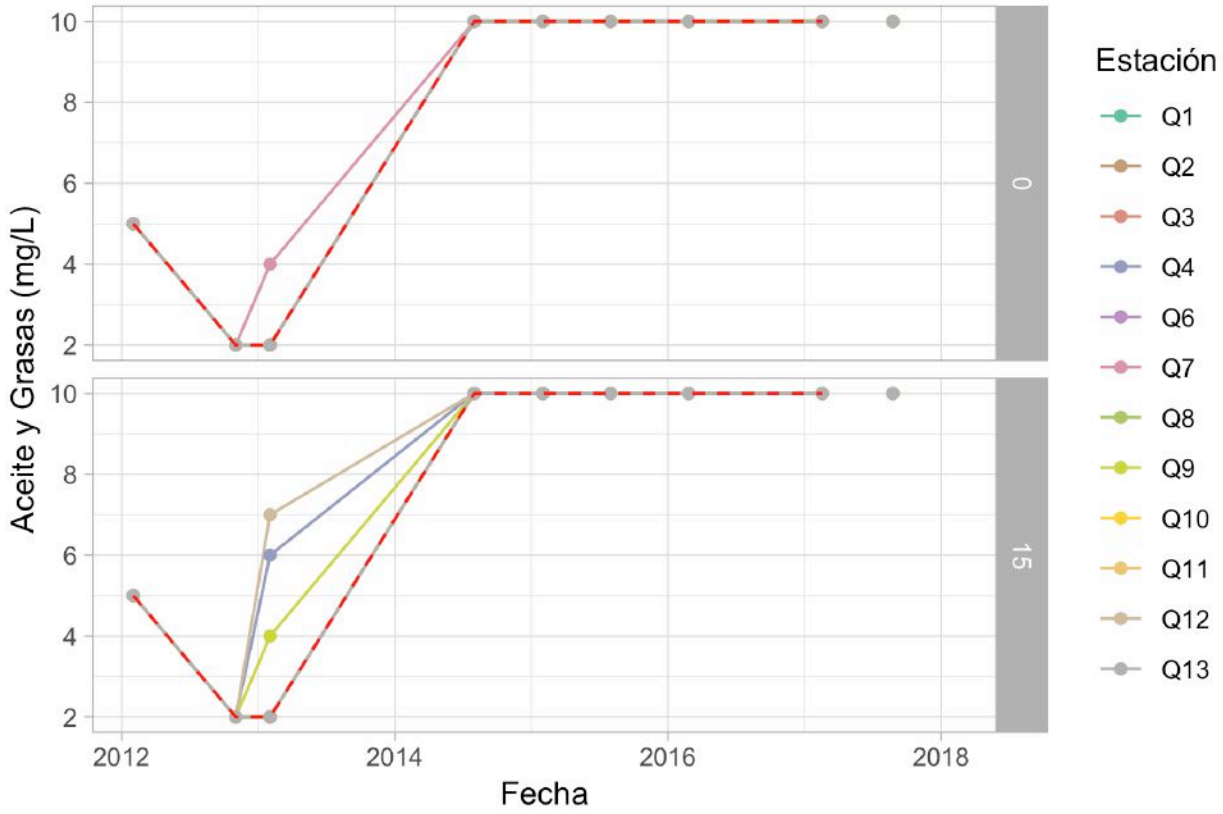


Figura 249. Aceites y grasas en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

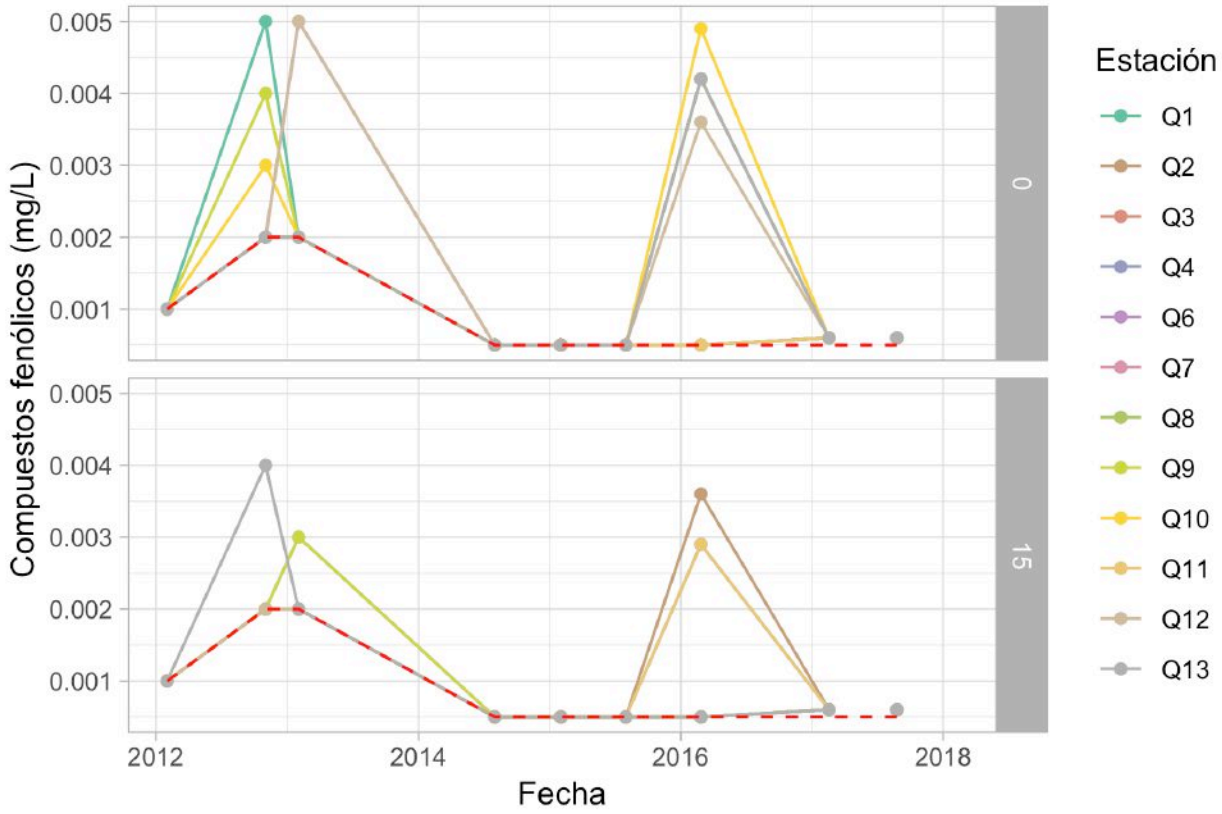


Figura 250. Compuestos fenólicos en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

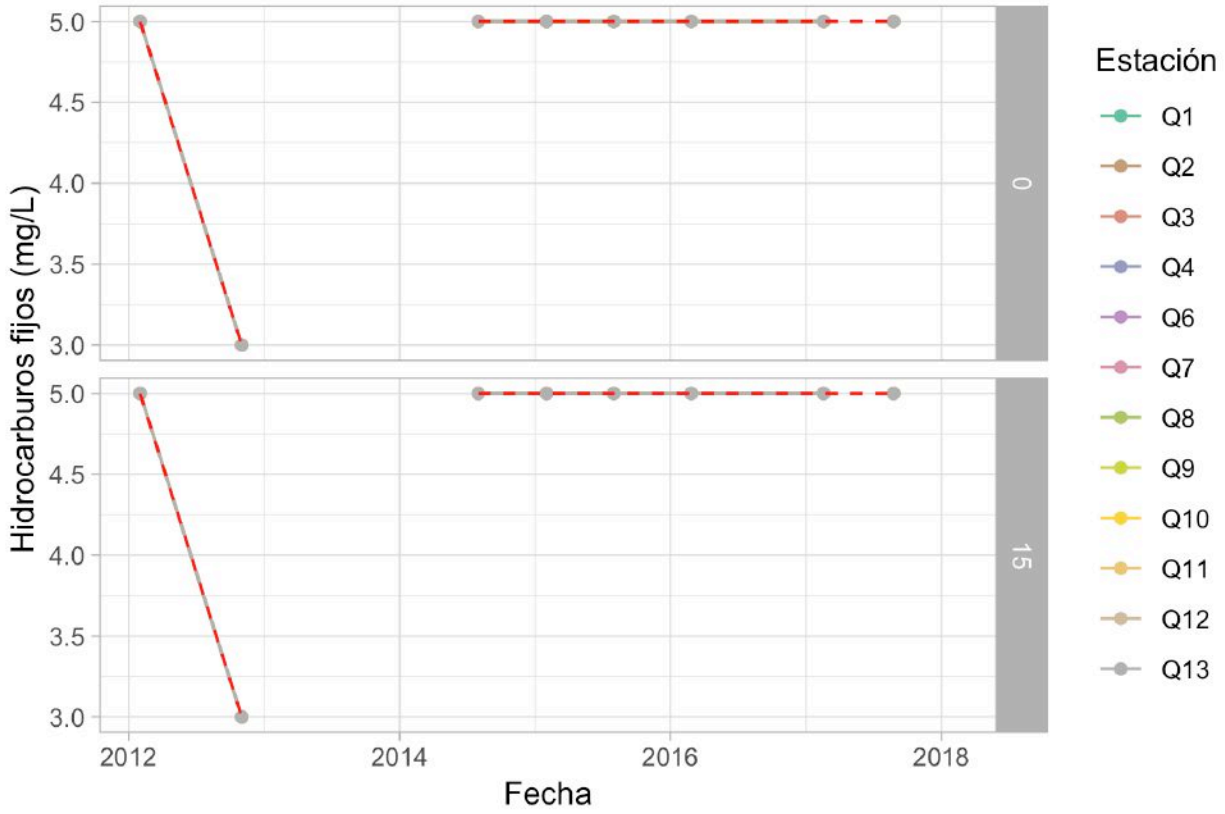


Figura 251. Hidrocarburos fijos en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

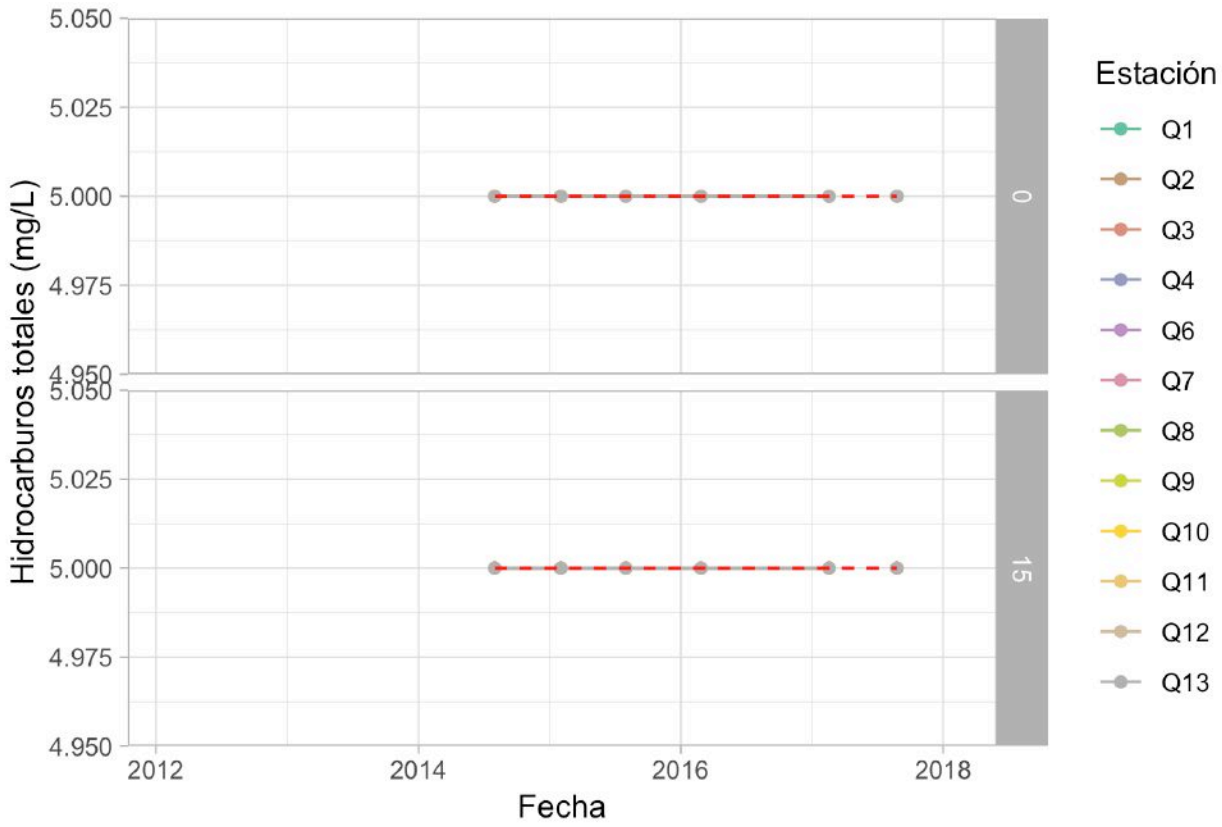


Figura 252. Hidrocarburos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

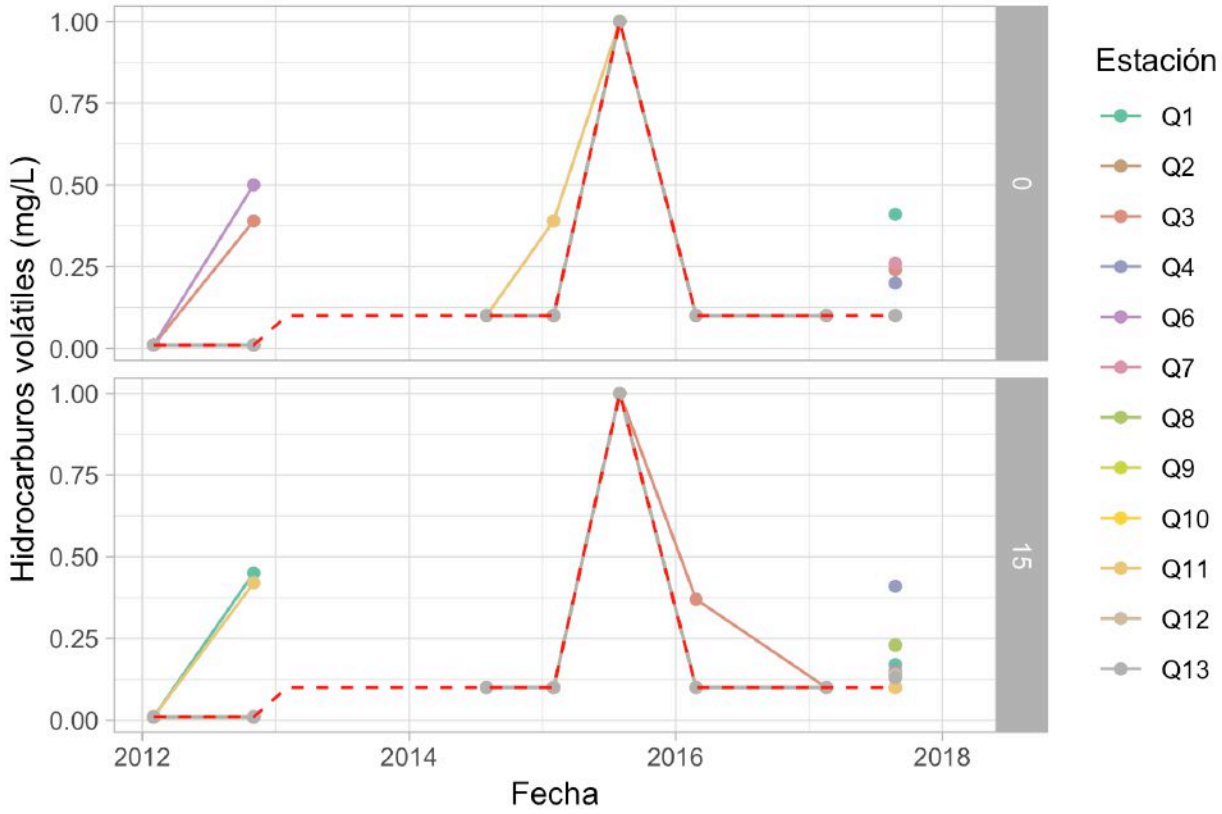


Figura 253. Hidrocarburos volátiles en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

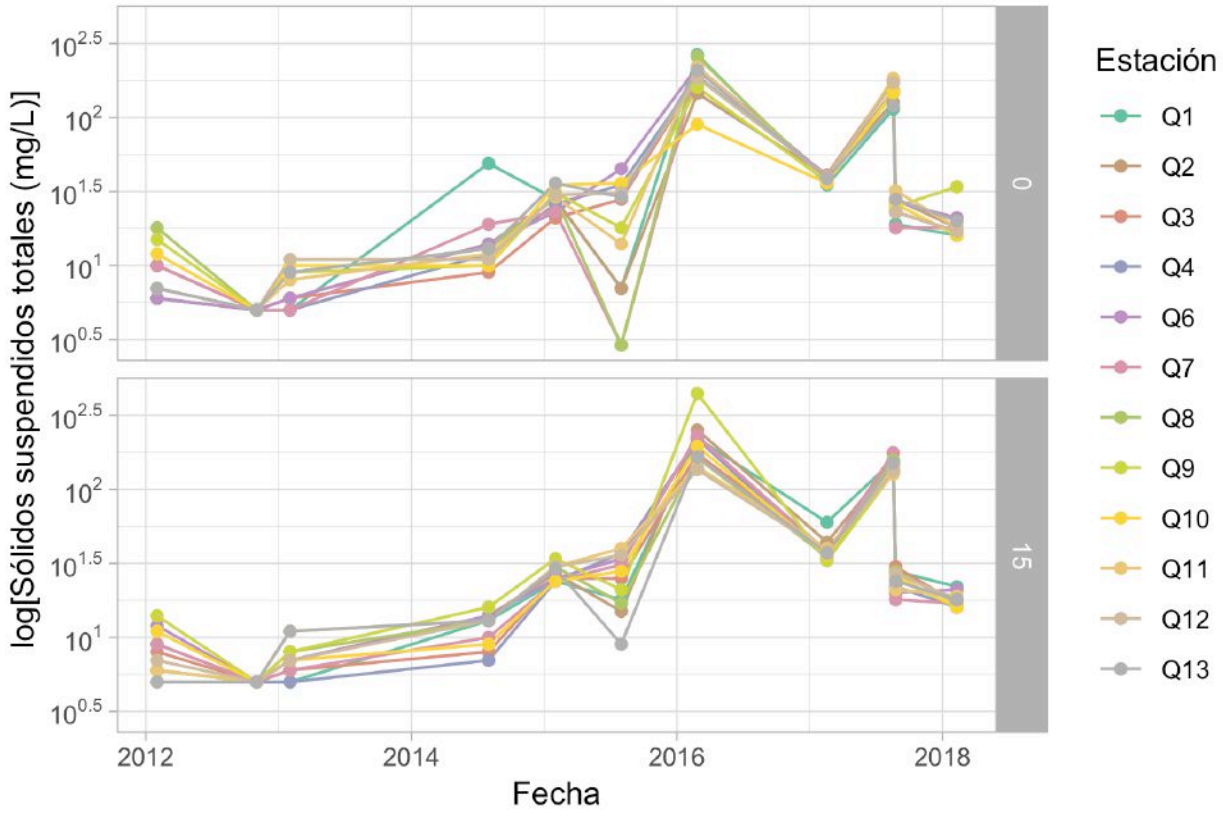


Figura 254. Sólidos suspendidos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018.

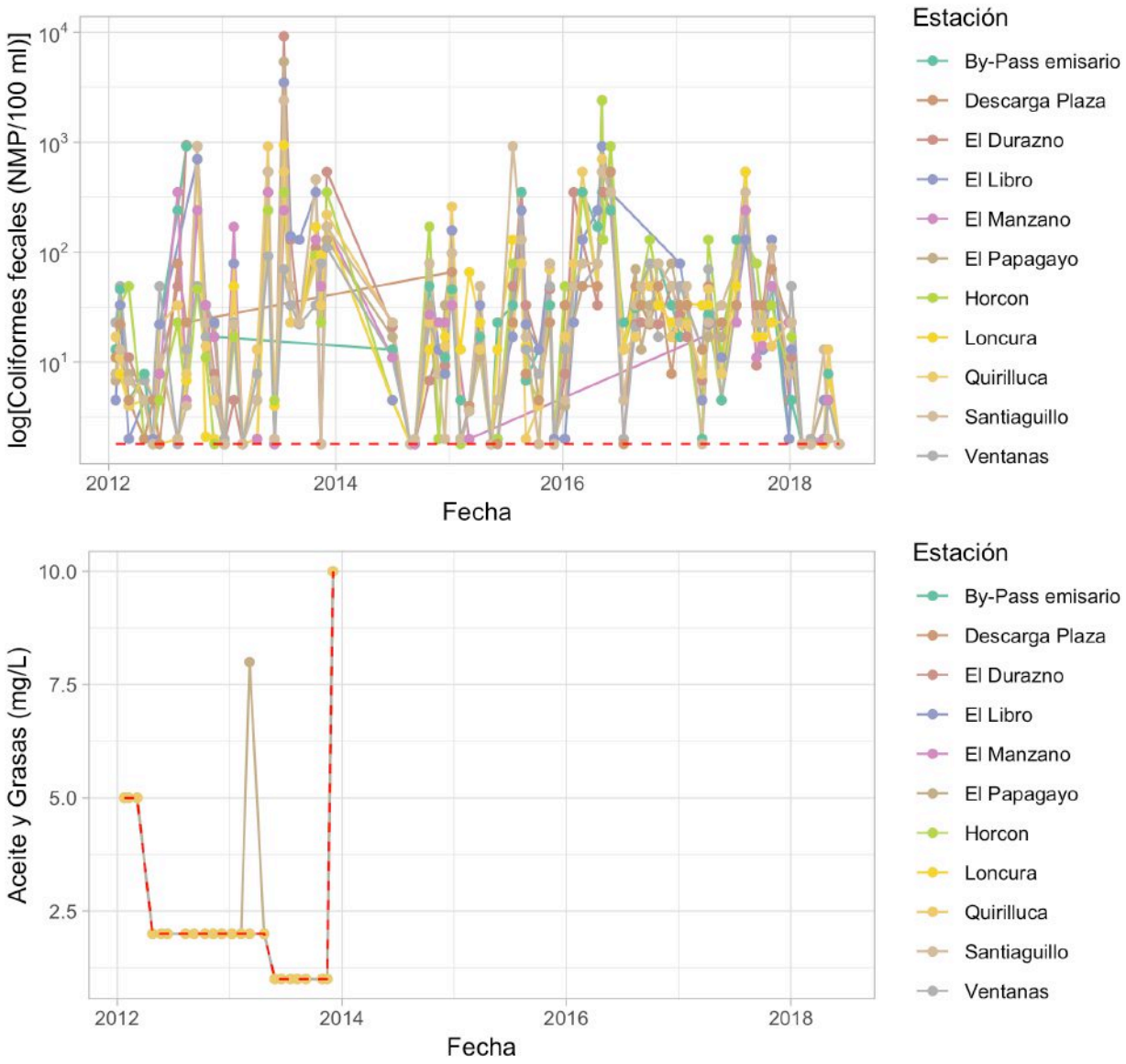


Figura 255. Coliformes fecales y aceites y grasas en agua intermareal, por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

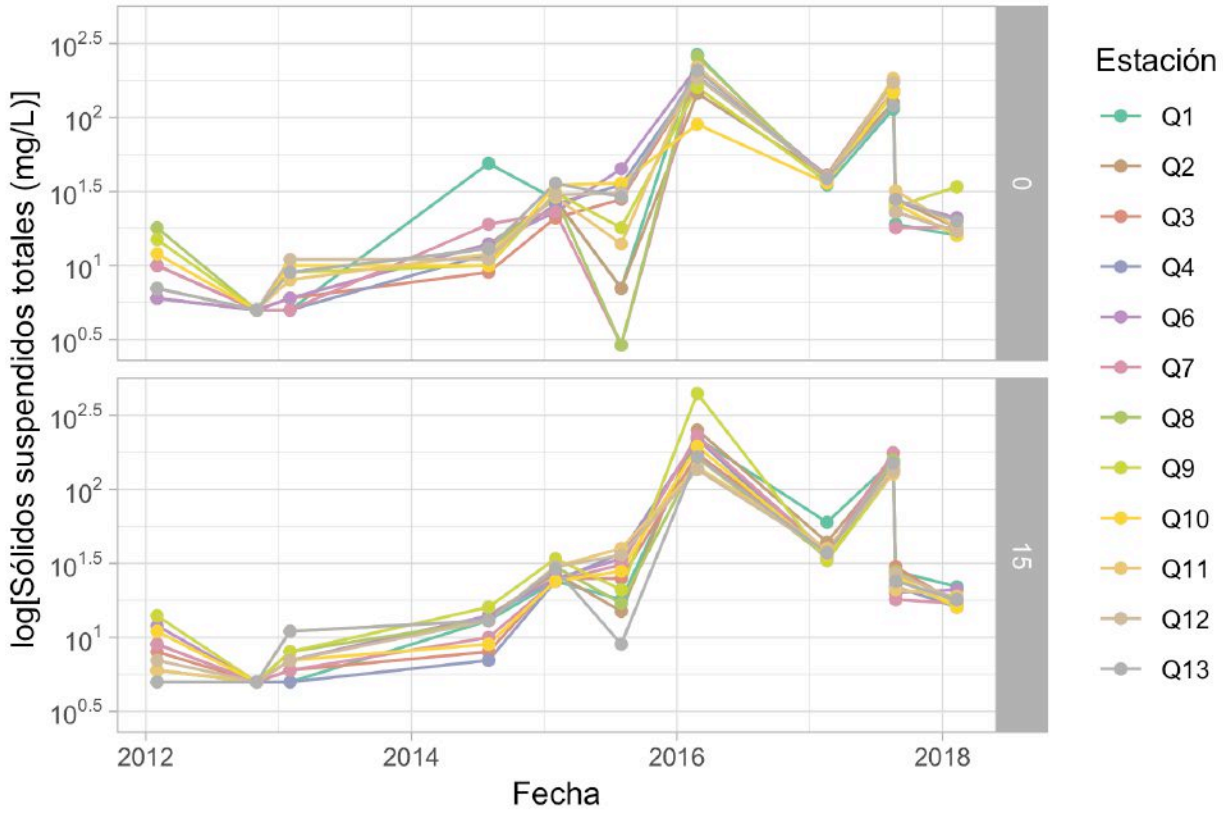


Figura 256. Sólidos suspendidos totales en columna de agua por estación, entre los 2012 y 2018.

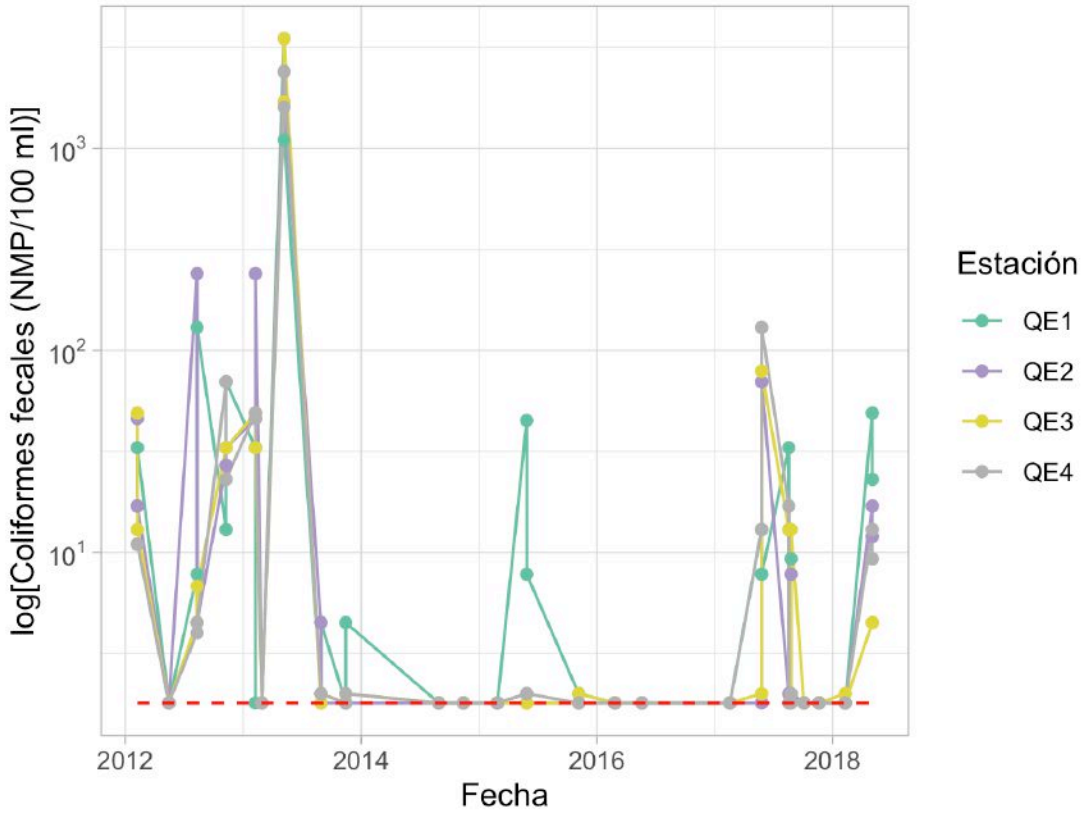


Figura 257. Coliformes fecales en las estaciones del AMERB, por estación, entre los 2012 y 2018. Líneas punteadas indican límite de detección.

5.2.15.4.3 Calidad de sedimento

Se entregan los resultados de los parámetros medidos en sedimentos submareales. En términos generales los parámetros medidos presentan alta variabilidad, exceptuando carbono orgánico total (COT), arenas muy finas y limo (AMF y LG), cuyos coeficientes de variación fueron inferiores al 100% (**Tabla 101**).

Tabla 101. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento submareal analizados.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	BLD
COT	%	135	0,01	5,61	1,21	1,15	95%	0,8520	0,0000	-
CCH	%	25	0	10,998	2,30	3,28	142%	0,7236	0,0000	-
AM	%	45	0	8,221	1,61	1,84	114%	0,8312	0,0000	-
AF	%	55	0	59	14,03	15,37	110%	0,7614	0,0000	-
AMF	%	55	2	80,23	35,02	22,69	65%	0,9308	0,0035	-
LG	%	55	0,04	98	45,80	29,86	65%	0,9374	0,0066	-

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.15.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 101**.

En la **Figura 258** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones y estratos analizados en el submareal, donde se observa una predominancia de arenas muy finas (AMF) y limo (LG) en todas las estaciones, salvo la campaña de noviembre de 2016, donde predominan las arenas finas (AF). Se observa hasta el año 2015, la presencia de conchuela (CCH), el cual desaparece en los últimos años de la serie analizada.

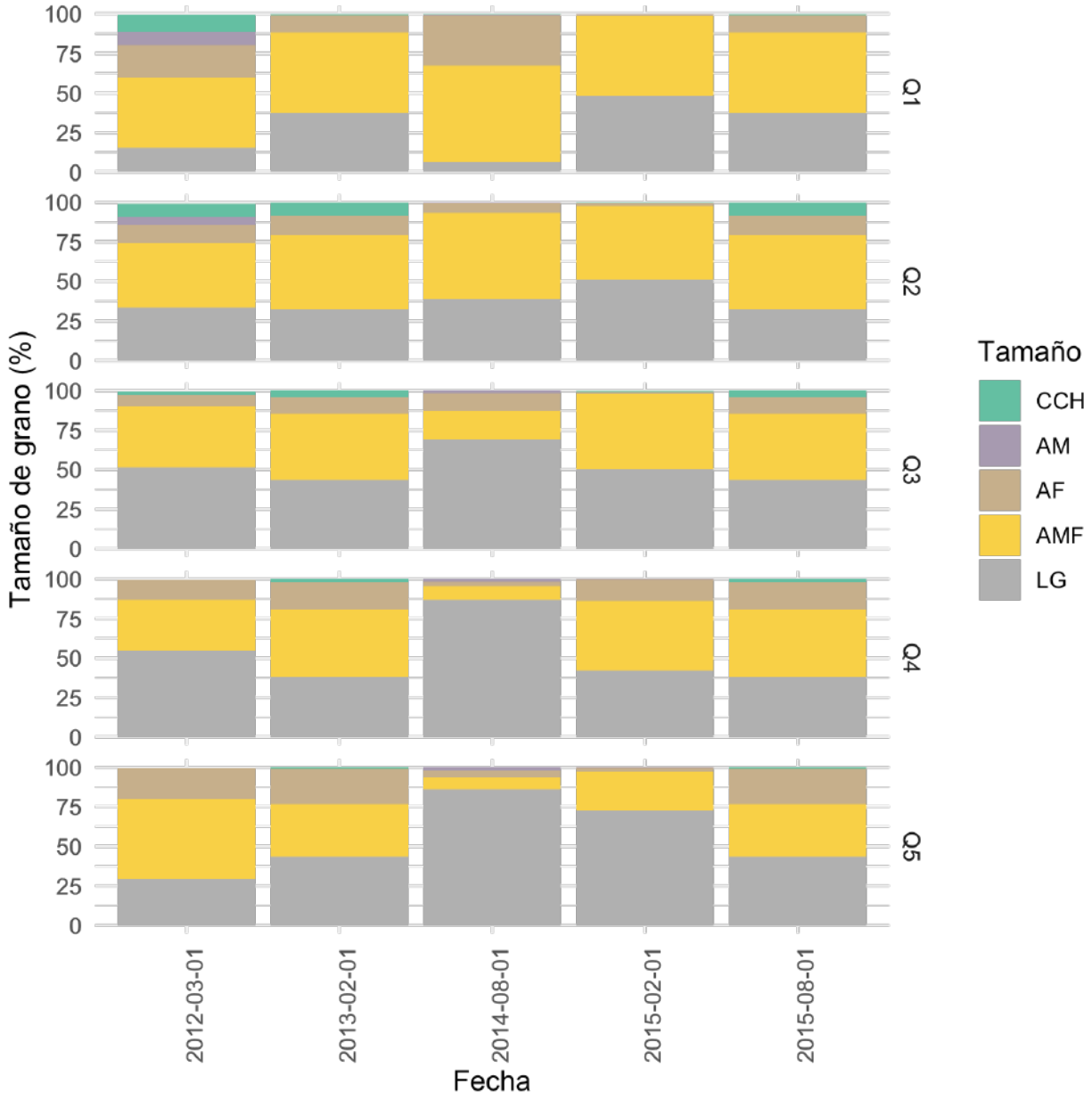


Figura 258. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2012 y 2015.

El carbono orgánico total medido en sedimentos submareales (**Figura 259**), presentó alta variabilidad entre las estaciones de muestreo, y una tendencia descendente hacia los últimos años de la serie analizada. En general, la estación Q3 presentó los valores más altos de este parámetro, mientras que la estación Q2 presentó los valores más bajos.

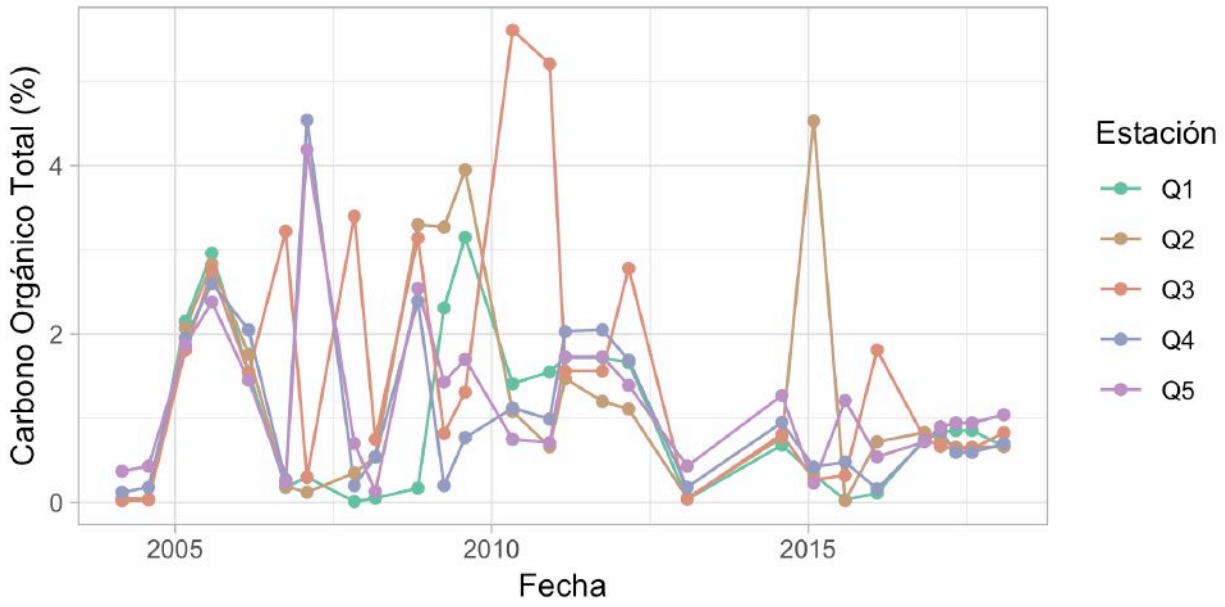


Figura 259. Niveles de hidrocarburos totales en sedimentos submareales por estación, entre los 2013 y 2018.

5.2.15.4.4 Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para el bentos submareal e intermareal, y para los datos de cobertura de la megafauna del AMERB.

Para bentos intermareal la densidad observada osciló entre 0,3 y 99,3 ind/m^2; con una media de 14,44 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,0014 y 93.924 g/m^2, con una media de 2.485,55 g/m^2. Para bentos submareal, la abundancia osciló entre 3,3 y 1.916,7 ind/m^2, con una media de 44,88 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0,00003 y 625,4 g/m^2, con una media de 3,61 g/m^2. En cuanto al AMERB , las coberturas fluctuaron entre 0,3% y 422%, con una media estimada en 10,52%. Cabe destacar que la totalidad de los parámetros presentaron alta variabilidad. con coeficientes de variación superiores a 100%, y que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 102**).

Tabla 102. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados.

Ambiente	Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Bentos	Abundancia	ind/m2	106	0,3	99,3	14,44	23,23	161%	0,6526	0,0000
Intermareal	Biomasa	g/m2	106	0,0014	93924	2.485,55	12.745,13	513%	0,1981	0,0000
Bentos	Abundancia	ind/m2	617	3,3	1916,7	48,88	156,97	321%	0,2693	0,0000
submareal	Biomasa	g/m2	617	0,0003	625,403	3,61	30,08	832%	0,0934	0,0000
AMERB	Cobertura	%	505	0,3	422	10,52	27,51	262%	0,3241	0,0000

Todos los análisis estadísticos que se entregan en la sección de determinación de patrones (**Numeral 5.2.15.5**), mantienen las mismas siglas y unidades de medida indicadas en las **Tabla 102**.

En la **Figura 260** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de macrofauna intermareal de playa Quirilluca, entre los años 2013 y 2018, observándose que en las secciones de 0 a 15m las abundancias son muy bajas. A partir de las secciones 20 m se aprecia un numero mayor de ejemplares siendo *Emerita análoga* la especie que domina en todas las secciones, salvo en la sección de 30 m de agosto del 2015 donde dominó la especie *Orcestoidea tuberculata*; y agosto de 2018, donde dominó *Excirolana hirsuticauda*.

Para el caso de bentos submareal, y cobertura de AMERB, la revisión de las bases de datos arrojó la presencia de problemas graves en términos de identificación taxonómica, tal como ya fue observado para Termo Ventanas Unidad 3. Por este motivo, en el análisis que se presenta en este informe no fue posible efectuar análisis de composición taxonómica para bentos submareal y AMERB, razón por la cual, en la sección de análisis estadístico se entrega únicamente la estimación de los índices comunitarios riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los que fueron calculados directamente a partir de las bases de datos crudas.

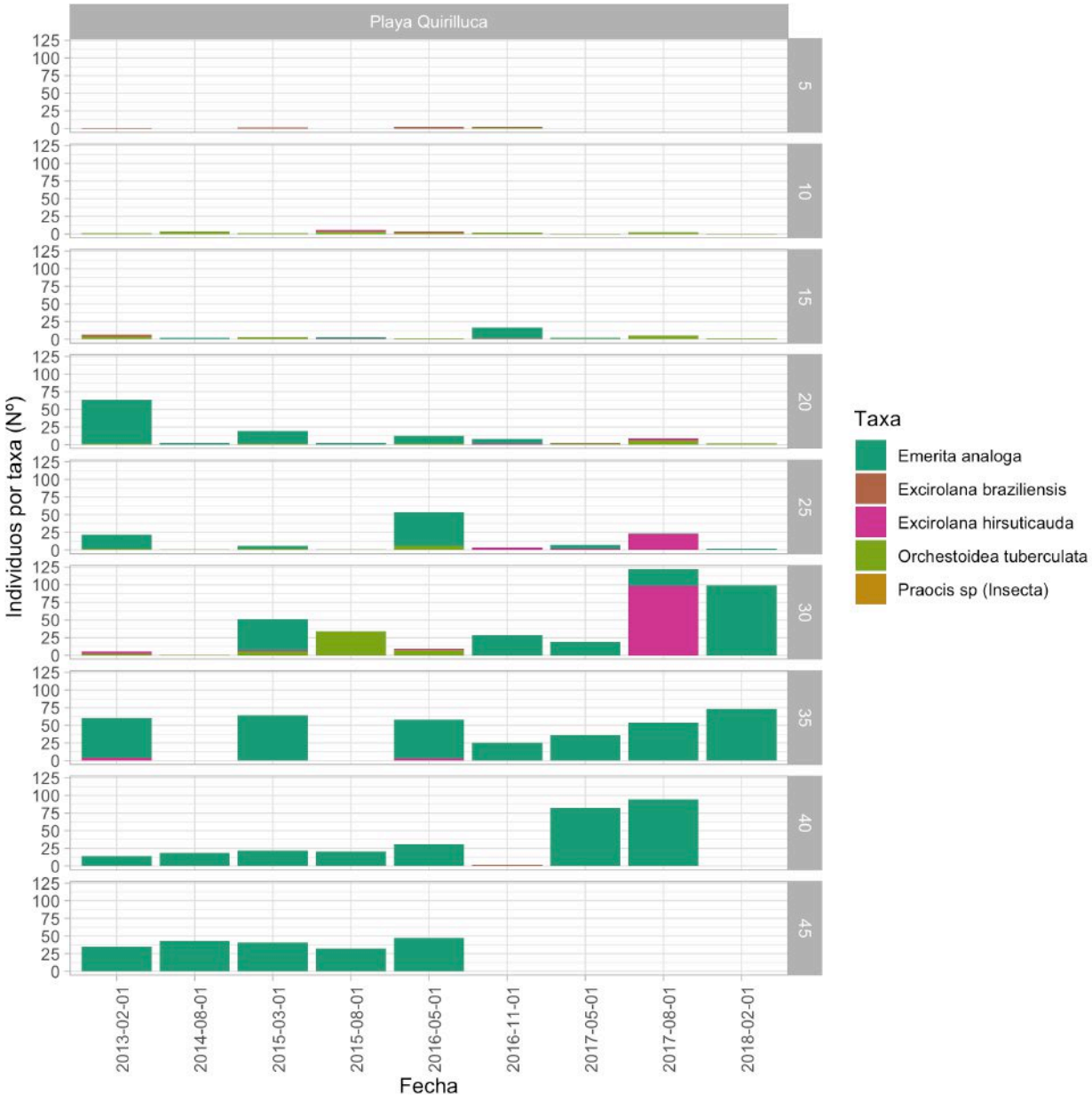


Figura 260. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal entre los años 2017 y 2018.

5.2.15.5 Determinación de patrones espacio-temporales

5.2.15.5.1 Hidrografía

En la **Tabla 103** se entrega un análisis GLM, para los parámetros temperatura, salinidad, y densidad, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), Estrato de profundidad (Estrato), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre). La totalidad de los parámetros presentan diferencias significativas para todas las fuentes de variación consideradas, exceptuando el efecto Estrato para salinidad. En el caso de la temperatura, el Estrato corresponde al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada (DE=50,97%); mientras que, para salinidad, el efecto Estación presentó el mayor porcentaje de devianza explicada (DE=12,3%). Finalmente, para densidad el factor Estación mostró también el mayor porcentaje de devianza explicada con DE=13,85%, respectivamente.

Tabla 103. Resultados de MLG para los parámetros temperatura, salinidad, y densidad, en agua entre 2012 y 2018. Fte Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			702		145,31		
Temp	Estación	11	691	5,14	140,17	0,0000	3,54
	Estrato	2	689	74,06	66,10	0,0000	**50,97**
	Año	5	684	23,78	42,32	0,0000	16,37
	Trimestre	1	683	9,01	33,31	0,0000	6,2
			702		151,52		
Sal	Estación	11	691	18,63	132,89	0,0000	**12,3**
	Estrato	2	689	0,00	132,88	0,9841	0
	Año	5	684	4,89	128,00	0,0000	3,23
	Trimestre	1	683	3,23	124,77	0,0000	2,13
			702		30,90		
Dens	Estación	11	691	4,28	26,62	0,0000	**13,85**
	Estrato	2	689	3,17	23,45	0,0000	10,26
	Año	5	684	2,57	20,87	0,0000	8,33
	Trimestre	1	683	0,26	20,61	0,0041	0,84

Un análisis de efectos para la principal fuente de variación identificada en cada uno de los parámetros de hidrografía (**Tabla 103**) permite observar que, la temperatura superficial presentó las magnitudes más altas, en torno a 14ºC, mientras que el fondo presentó las temperaturas más bajas, en torno a 11ºC. Para la salinidad, se observa que la estación Q9 presentó menores

salinidades (31 PSU), mientras que el resto de las estaciones mostró valores superiores a 34 PSU. Para densidad, nuevamente la estación Q9 presentó densidades superiores a 26 σt superiores al resto de la serie que presentó niveles en torno a 25,5 σt (**Figura 261**). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 13a.**

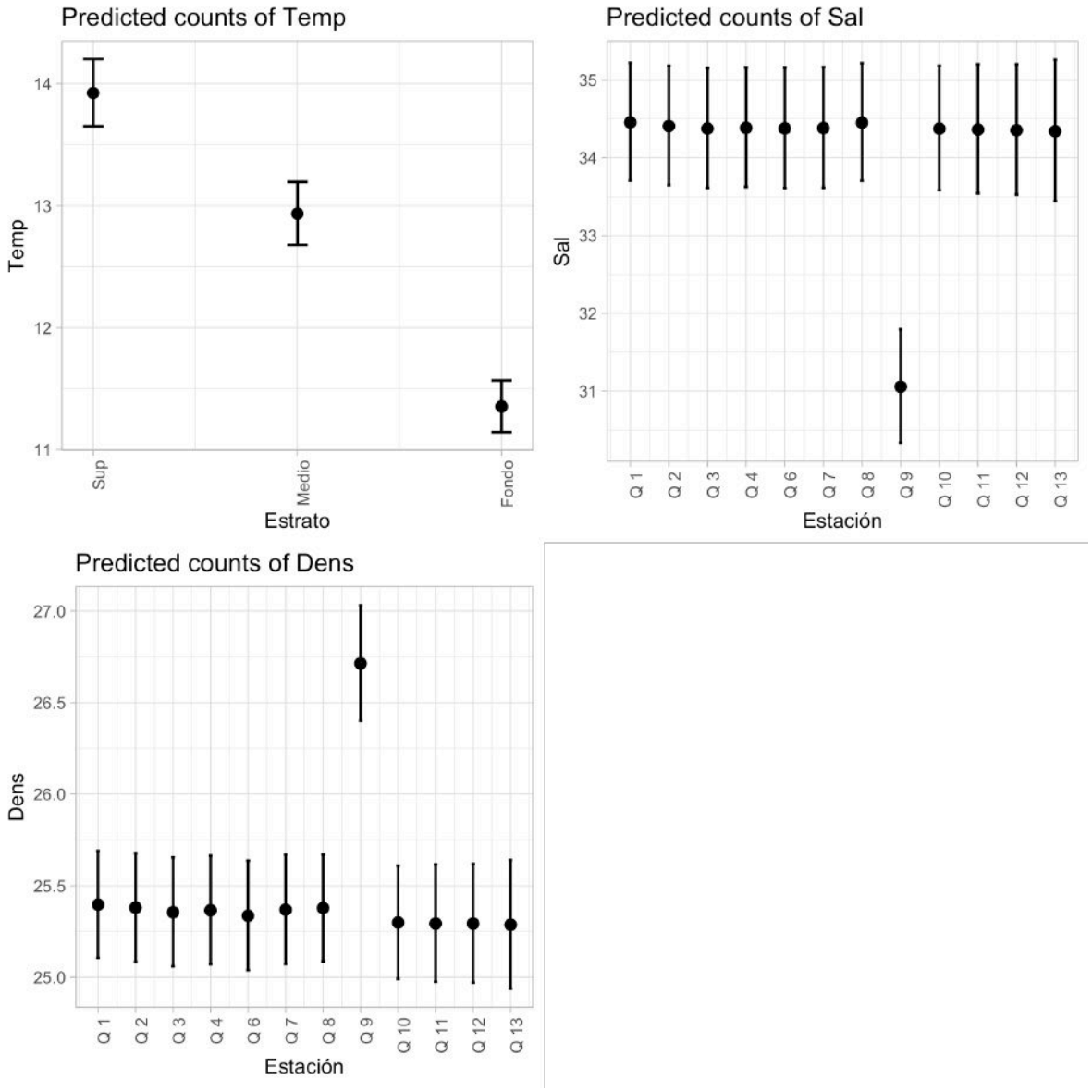


Figura 261. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Parámetros hidrográficos.

5.2.15.5.2 Calidad de agua

En la **Tabla 104** se entrega el resultado del GLM para los parámetros medidos en agua submareal, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año), trimestre (Trimestre) y Estrato de profundidad (Estrato). La mayoría de los parámetros presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación Año y Trimestre. Tanto en coliformes fecales y totales la Estación correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=41,06% y DE=35,08%, respectivamente. Para compuestos fenólicos, y sólidos suspendidos totales el Año correspondió al efecto con mayor devianza explicada, con valores de con DE=61,19%, y DE=78,26%, respectivamente. Finalmente, para hidrocarburos fijos e hidrocarburos volátiles el Trimestre correspondió al efecto con mayor devianza explicada con DE=59,82%, y DE=44,97%, respectivamente.

Tabla 104. Resultados de MLG para los parámetros medidos en agua submareal, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			287		56.044,2		
ColFec	Estación	11	276	23.013,1	33.031,2	0,0000	41,06
	Estrato	1	275	50,5	32.980,6	0,3800	0,09
	Año	6	269	15.474,7	17.506,0	0,0000	27,61
	Trimestre	2	267	5.182,0	12.324,0	0,0000	9,25
			287		110.390,8		
ColTot	Estación	11	276	38.723,2	71.667,7	0,0000	35,08
	Estrato	1	275	21,2	71.646,5	0,7451	0,02
	Año	6	269	28.211,9	43.434,6	0,0000	25,56
	Trimestre	2	267	12.133,7	31.300,9	0,0000	10,99
			239		0,15		
IF	Estación	11	228	0,00	0,15	0,3571	1,63
	Estrato	1	227	0,00	0,15	0,0095	0,91
	Año	5	222	0,09	0,06	0,0000	61,19
	Trimestre	2	220	0,01	0,04	0,0000	8,58
			215		20,28		
HF	Estación	11	204	0,00	20,28	0,0000	0
	Estrato	1	203	0,00	20,28	1,0000	0
	Año	4	199	8,15	12,13	0,0000	40,18
	Trimestre	2	197	12,13	0,00	0,0000	59,82
			215		62,58		
HV	Estación	11	204	0,44	62,13	0,8131	0,71
	Estrato	1	203	0,00	62,13	0,8857	0
	Año	4	199	24,14	37,99	0,0000	38,58
	Trimestre	2	197	28,14	9,85	0,0000	44,97
			287		17.315,8		
SST	Estación	11	276	64,3	17.251,5	0,9210	0,37
	Estrato	1	275	1,4	17.250,1	0,7374	0,01
	Año	6	269	13.550,6	3.699,6	0,0000	78,26
	Trimestre	2	267	340,5	3.359,1	0,0000	1,97

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua (**Tabla 105**), indica para coliformes fecales y totales la estación Q4 presentó las mayores concentraciones, separándose del resto de las estaciones. Para los compuestos fenólicos se observó importantes variaciones entre años siendo el 2013 el año que presentó las mayores concentraciones, mientras que los años 2014, 2015 y 2017, presentaron las menores concentraciones de este parámetro. Para hidrocarburos fijos, el trimestre 4 (octubre – diciembre) se segrega del resto por presentar menores concentraciones, mientras que en hidrocarburos volátiles el tercer (julio – septiembre) y cuarto trimestre (octubre – diciembre) presentan las mayores concentraciones. Finalmente, los solidos suspendidos totales presentaron para el año 2016 concentraciones más altas que el resto de la serie analizada (**Figura 262**). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 13b.**

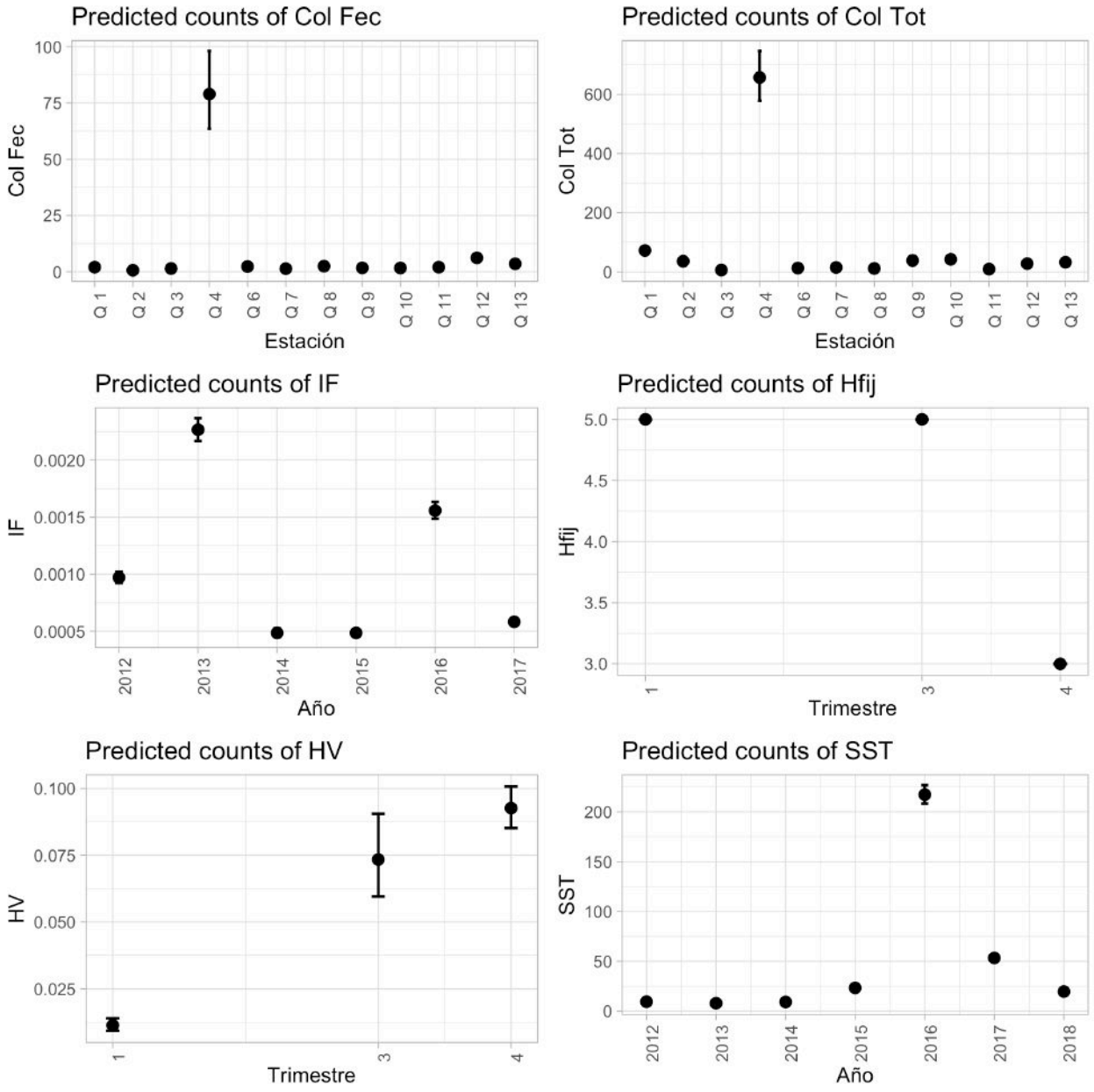


Figura 262. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua submareal.

Para el agua intermareal, en la **Tabla 105** se entrega el resultado del GLM para los parámetros coliformes fecales y aceites y grasas, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año) y trimestre (Trimestre) en ambos parámetros. Todos los parámetros presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación consideradas, excepto aceites y grasas para el efecto estación. En coliformes fecales el Año correspondió al efecto con mayor

porcentaje de devianza explicada con DE=19,71%; mientras que en aceites y grasas el trimestre correspondió al efecto por mayor devianza explicada DE=27,21%.

Tabla 105. Resultados de MLG para los parámetros coliformes fecales y aceites y grasas, en agua intermareal, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			692		274.355,3		
ColFec	Estación	10	682	17.166,0	257.189,3	0,0001	6,26
	Año	6	676	54.062,0	203.127,3	0,0000	19,71
	Trimestre	3	673	26.352,9	176.774,4	0,0000	9,61
			137		175,4		
AyG	Estación	5	132	0,5	174,9	0,9955	0,29
	Año	1	131	5,9	169,0	0,0336	3,36
	Trimestre	3	128	47,5	121,4	0,0000	27,11

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua intermareal (**Figura 263**), indica que los coliformes fecales presentaron una alta variabilidad entre años, con niveles mínimos durante los años 2014 y 2018, y niveles máximos durante el año 2013, mientras que los aceites y grasas presentaron valores altos asociados al primer trimestre (enero -marzo) y valores más bajos en el tercer trimestre (julio – septiembre). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 13c.**

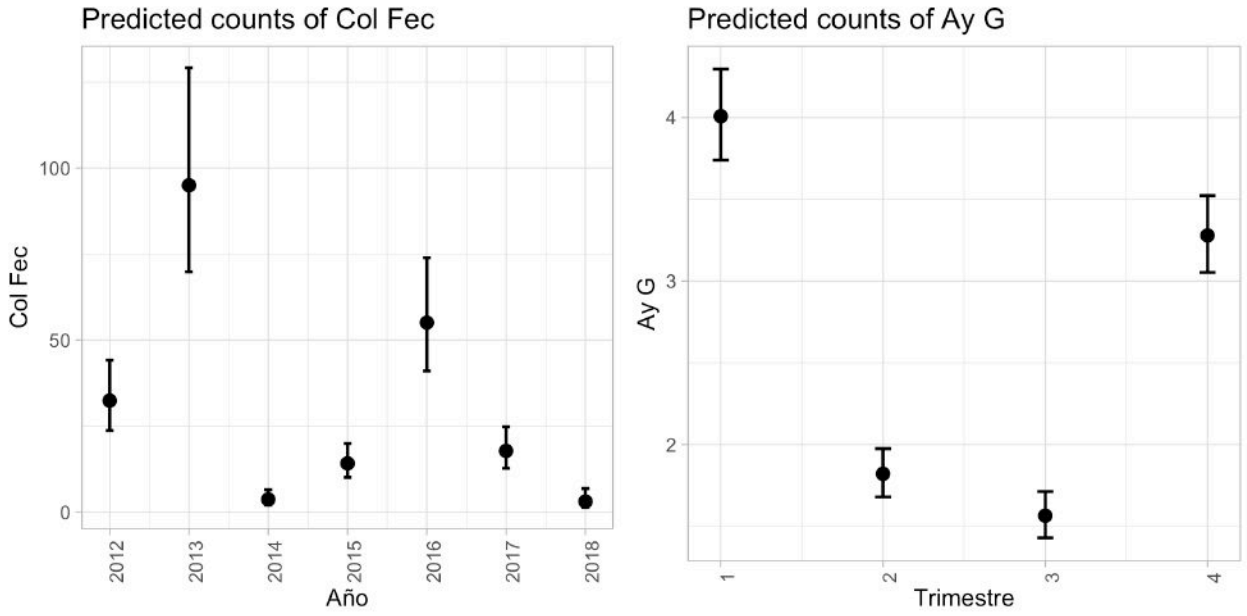


Figura 263. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua intermareal.

Finalmente, para el AMERB, en la **Tabla 106** se entrega el resultado del GLM para el parámetro de coliformes fecales, que corresponde al único parámetro medido en esta matriz, utilizando los efectos Estación de muestreo (Estación), año de muestreo (Año), trimestre (Trimestre) y Estrato de profundidad (Estrato). En este caso, sólo los efectos Año y Trimestre presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación consideradas. El Año correspondió al efecto con mayor porcentaje de devianza explicada con DE=44,58%.

Tabla 106. Resultados de MLG para coliformes fecales en AMERB, entre 2012 y 2018. Fte: fuente de variación, gl: grados de libertad, gl residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, p (> Chi): probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			191		107.997,4		
ColFec	Estación	3	188	136,3	107.861,1	0,8919	0,13
	Estrato	1	187	6,0	107.855,0	0,8683	0,01
	Año	6	181	48.140,2	59.714,8	0,0000	44,58
	Trimestre	3	178	47.971,3	11.743,5	0,0000	44,42

Un análisis de la principal fuente de variación en los parámetros de calidad de agua en AMERB (**Figura 264**), indica que los coliformes fecales presentaron niveles bajos en la mayoría de las

estaciones de muestreo, excepto para el año 2013, donde se registran niveles máximos, con una alta variabilidad.). El análisis de los residuales se entrega en el **Anexo 13d.**

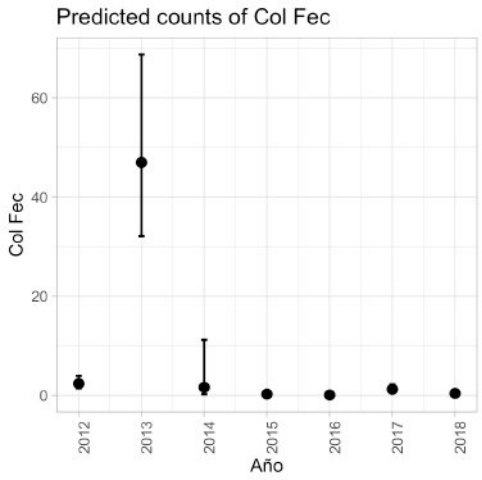


Figura 264. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada. Calidad de agua AMERB.

5.2.15.5.3 Calidad de sedimentos

En la **Figura 265** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para la composición del sedimento submareal. El análisis arrojó diferencias significativas entre campañas de muestreo (PERMANOVA R^2=0,8; P<0,001), siendo la campaña de febrero del año 2015, las que registró menor presencia de arenas medias (AM) y conchuela (CCH) y mayores niveles de limo grueso (LG), segregándose del resto de las campañas.

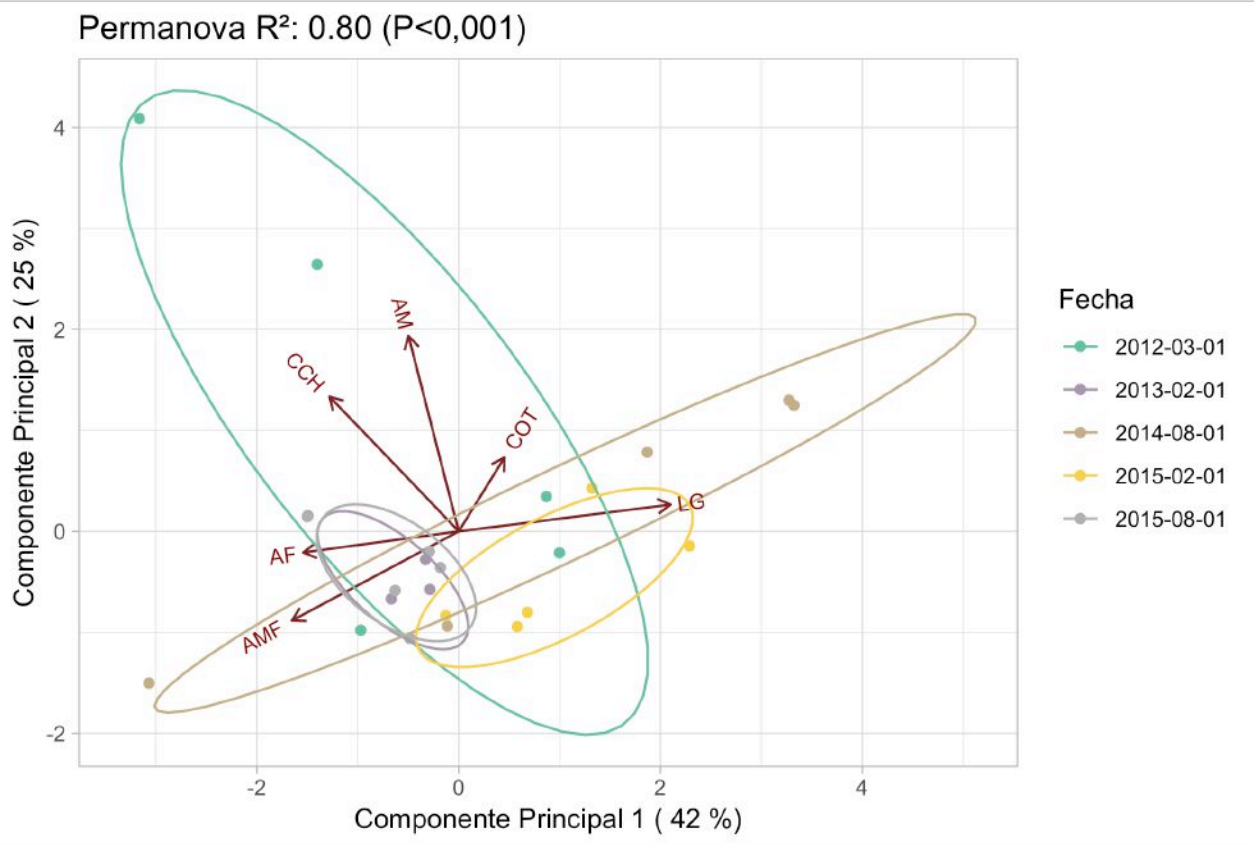


Figura 265. Análisis de componentes principales para sedimentos intermareales.

5.2.15.5.4 Comunidades

En la **Figura 266** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna intermareal. La riqueza observada por campaña de muestreo, presentó alta variabilidad fluctuando entre 1 y 3 especies por estación. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de muestreo presentan diversidades moderadas a bajas y altamente variables, observándose valores que oscilan mayormente entre 0 y 0,7.

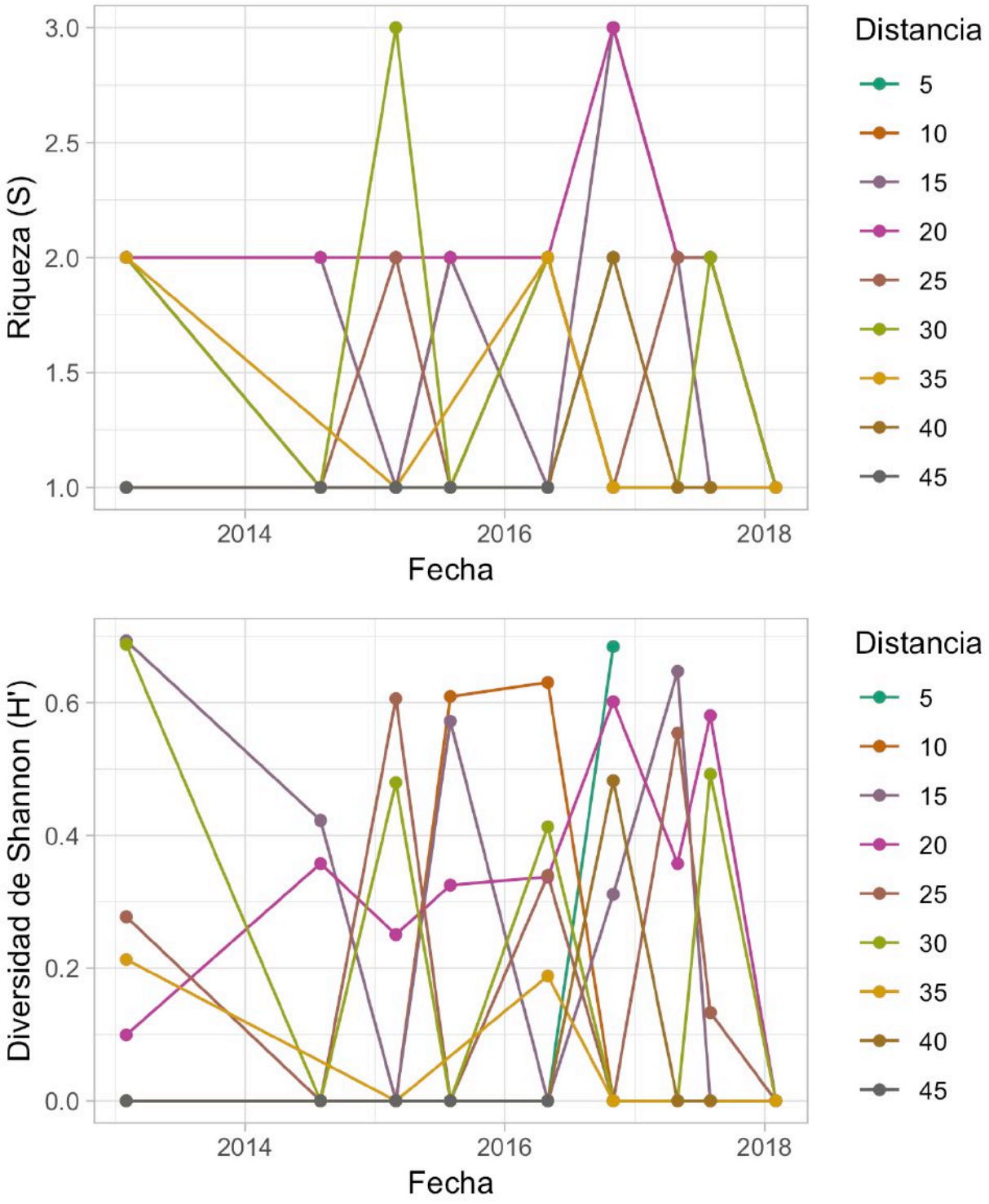


Figura 266. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

El análisis NMDS efectuado para macrofauna intermareal (**Figura 267**), muestra la existencia de un patrón asociado a la diferenciación entre secciones de muestreo, mientras que las secciones 45 m y 35 m tienden a diferenciarse debido a la mayor presencia de la especie *Emerita analoga*, la sección 5 m se diferencia debido a una mayor presencia de la especie *Excirolana hirsuticauda y Excirolana braziliensis*. Estos resultados corroboran que la estructura de las comunidades del intermareal obedece a un cambio en el patrón de secciones, resultado que es estadísticamente significativo (PERMANOVA R^2=0,48; p<0,001).

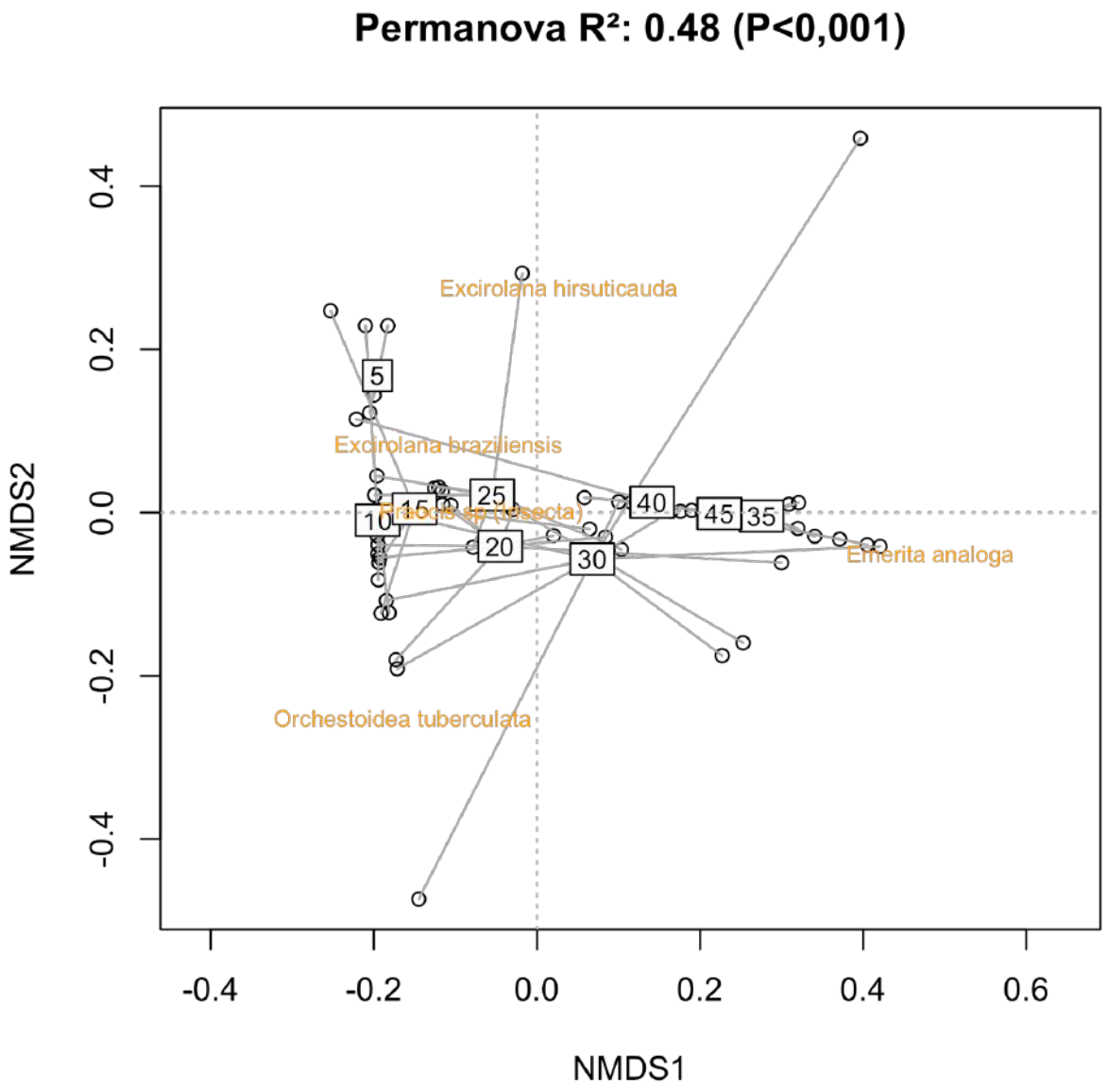


Figura 267. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal.

En la **Figura 268** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. La riqueza observada por campaña de muestreo, presentó alta variabilidad fluctuando mayormente entre 5 y 30 especies por estación. Se destacan las estaciones Q5 por presentar el mayor numero de especies en la mayoría de las campañas analizadas y la estación Q1 la cual presentó la menor riqueza de especies en la mayoría de las campañas. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas de muestreo presentan diversidades moderadas a altas y altamente variables, observándose valores que oscilan mayormente entre 1 y 3. En términos generales, las estaciones Q1 presentó los mayores niveles de diversidad, mientras que la estación Q2 presentó los niveles más bajos de diversidad.

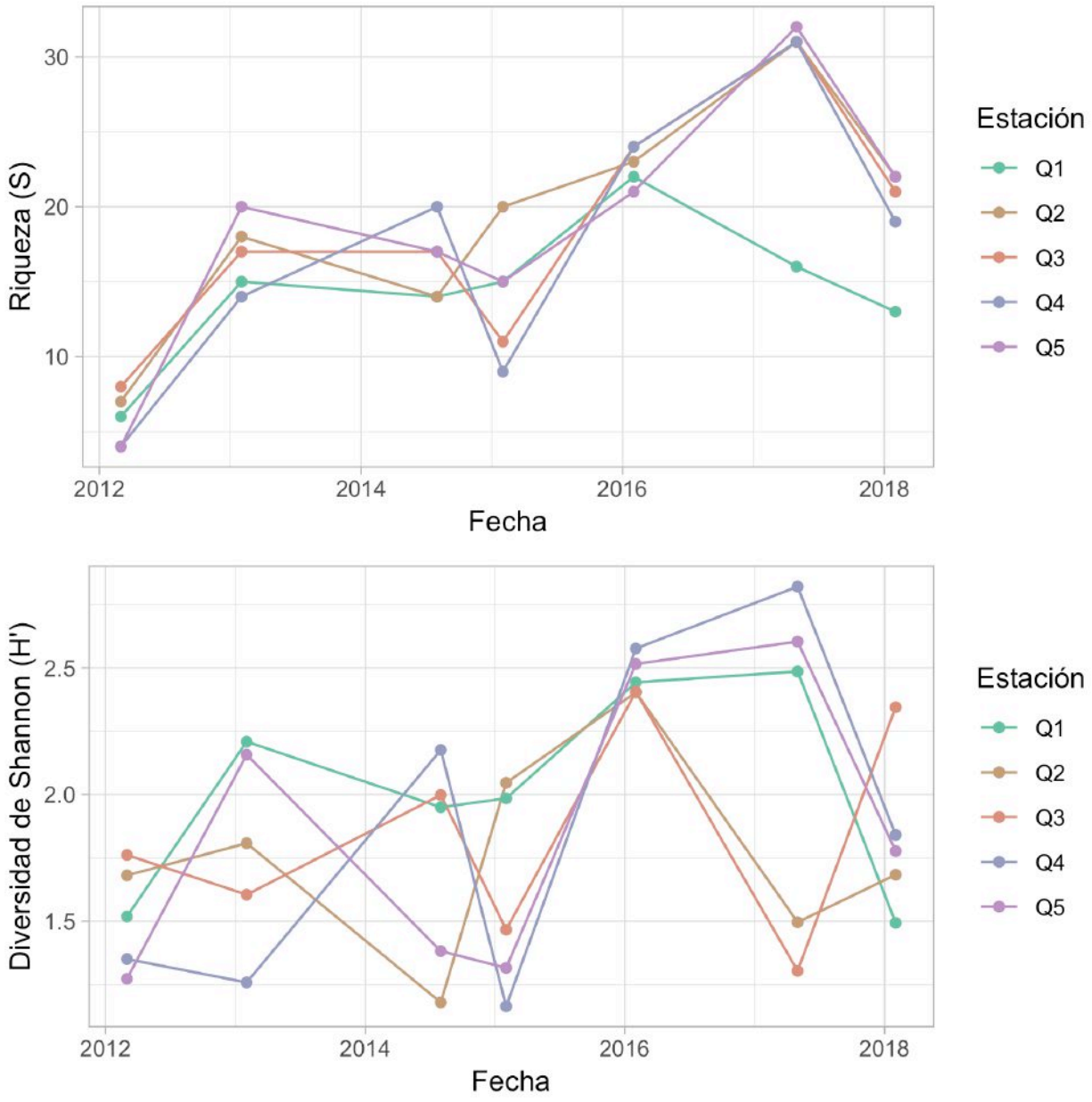


Figura 268. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para la comunidad bentónica submareal.

En la **Figura 269** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para la megafauna del AMERB. La riqueza observada por campaña de muestreo, osciló mayormente entre 1 y 25 especies por estación, siendo la estación E1 la que presentó las riquezas más bajas, mientras que la estación E6, presentó la mayor riqueza de especies en la mayoría de las campañas analizadas. En general se observa una caída en la riqueza de especies hacia el año 2018. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que las campañas presentan

diversidades moderadas, observándose niveles de diversidad que oscilan mayormente entre 1 y 2. En términos generales, campañas del año 2016 presentaron mayores índices de diversidad. Para este indicador se observa también una caída importante en el año 2018.

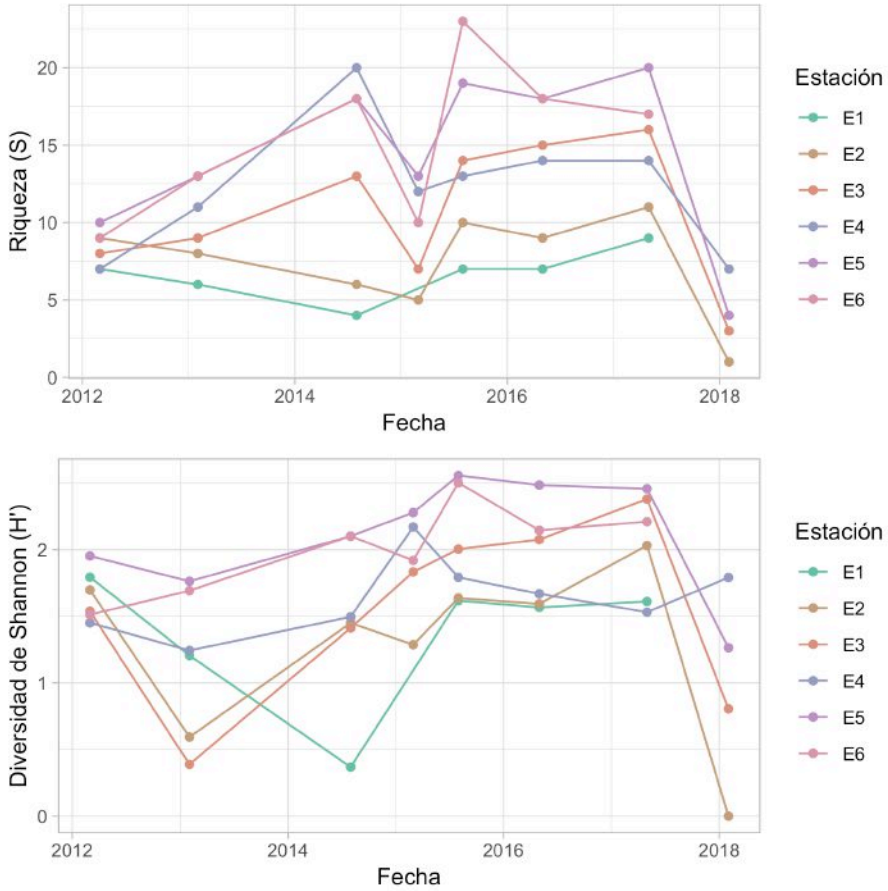


Figura 269. Resultado del análisis de Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H'); por estación de muestreo para las comunidades de la megafauna.

5.2.15.6 Síntesis e interpretación de resultados

A continuación, se entrega una síntesis de resultados sólo para aquellos parámetros que pudieron ser analizados estadísticamente (GLM).

Diferencias entre estratos

Para hidrografía, temperatura y densidad mostraron diferencias significativas entre estratos de profundidad. No obstante, solamente para temperatura el estrato correspondió al efecto que explica la mayor variabilidad en los datos, observándose en superficie mayores concentraciones de oxígeno que en las capas de fondo.

Diferencias entre años

Para hidrografía, todos los parámetros presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo. No obstante, las diferencias entre años de monitoreo, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Para calidad de agua submareal, todos los parámetros, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos. En el caso fenol las diferencias interanuales obedecen en gran parte a cambios en los límites de detección de las técnicas analíticas. En el caso de los sólidos suspendidos totales, se observa un año con niveles particularmente altos de este parámetro (año 2016) que se segrega del resto de la serie analizada.

Para calidad de agua intermareal, tanto coliformes fecales como aceites y grasas, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo para coliformes fecales el efecto que explicó la mayor variabilidad en los datos, con altas concentraciones de coliformes fecales en los anos 2013 y 2016. Sin embargo, se aprecia una tendencia descendente de este parámetro en los últimos años de la serie analizada.

Para calidad de agua en AMERB, los coliformes fecales presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, con altas concentraciones de coliformes fecales en el años 2013, que lo diferencias del resto de los años de la serie.

Estacionalidad

Para hidrografía, todos los parámetros presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo. No obstante, las diferencias entre años de monitoreo, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Para calidad de agua submareal, todos los parámetros, presentaron diferencias significativas entre épocas o estaciones del año, siendo el efecto año el que explica la mayor variabilidad observada en los datos para los parámetros hidrocarburos fijos e hidrocarburos volátiles. En ambos casos las diferencias observadas obedecen a cambios en los límites de detección de las técnicas analíticas entre las campañas de monitoreo.

Para calidad de agua intermareal, tanto coliformes fecales como aceites y grasas, presentaron diferencias significativas entre años de monitoreo, siendo para aceites y grasas el efecto que explicó la mayor variabilidad en los datos, con altas concentraciones de este parámetro en el primer y cuarto trimestre del año, y concentraciones más bajas en el segundo y tercer trimestre de cada año.

Para calidad de agua en AMERB, los coliformes fecales presentaron diferencias significativas entre épocas del año. No obstante, las diferencias entre épocas del año, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

Diferencias espaciales

Para hidrografía, todos los parámetros mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo, siendo para salinidad y densidad el efecto que explica la mayor proporción de la variabilidad de los datos analizados. La estación Q9 se segrega del resto de las estaciones de monitoreo, con menores valores de salinidad y mayores valores de densidad. Cabe destacar que esta estación se ubica al Weste del resto de las estaciones, donde probablemente tenga mayor influencia oceánica que las estaciones localizadas dentro de la bahía (**Figura 242** y **243**).

Para calidad de agua submareal, sólo coliformes fecales y totales mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo, donde la estación Q4 se segrega del resto de las estaciones de monitoreo, con valores más altos de coliformes. Cabe destacar que esta estación se ubica al centro del diseño de muestreo establecido (**Figura 242** y **243**).

Para calidad de agua intermareal, sólo coliformes fecales mostraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo. No obstante, las diferencias entre estaciones de monitoreo, no corresponden al efecto que explica la mayor variabilidad de la serie de datos analizada.

5.3 Análisis de efluentes

De acuerdo a la información proporcionada por la contraparte técnica, sólo 9 de las 12 UF analizadas en este proyecto, presentan información respecto a la descarga de sus efluentes y únicamente entre los años 2013 y 2019. Cabe destacar que los límites máximos permitidos para estas descargas, estan reguladas por el D.S. 90, decreto que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos liquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Las 9 UF para las cuales se analizó la infromación fueron: AES GENER UNIDAD 3, AES GENER UNIDAD 4, AES GENER UNIDAD 1 Y 2, CODELCO, GASMAR, ENAP, GNL QUINTERO, TM COPEC y PESQUERA QUINTERO. En la **Figura 270**, se entregan los puntos de descarga, de las UF analizadas en bahía Quintero.

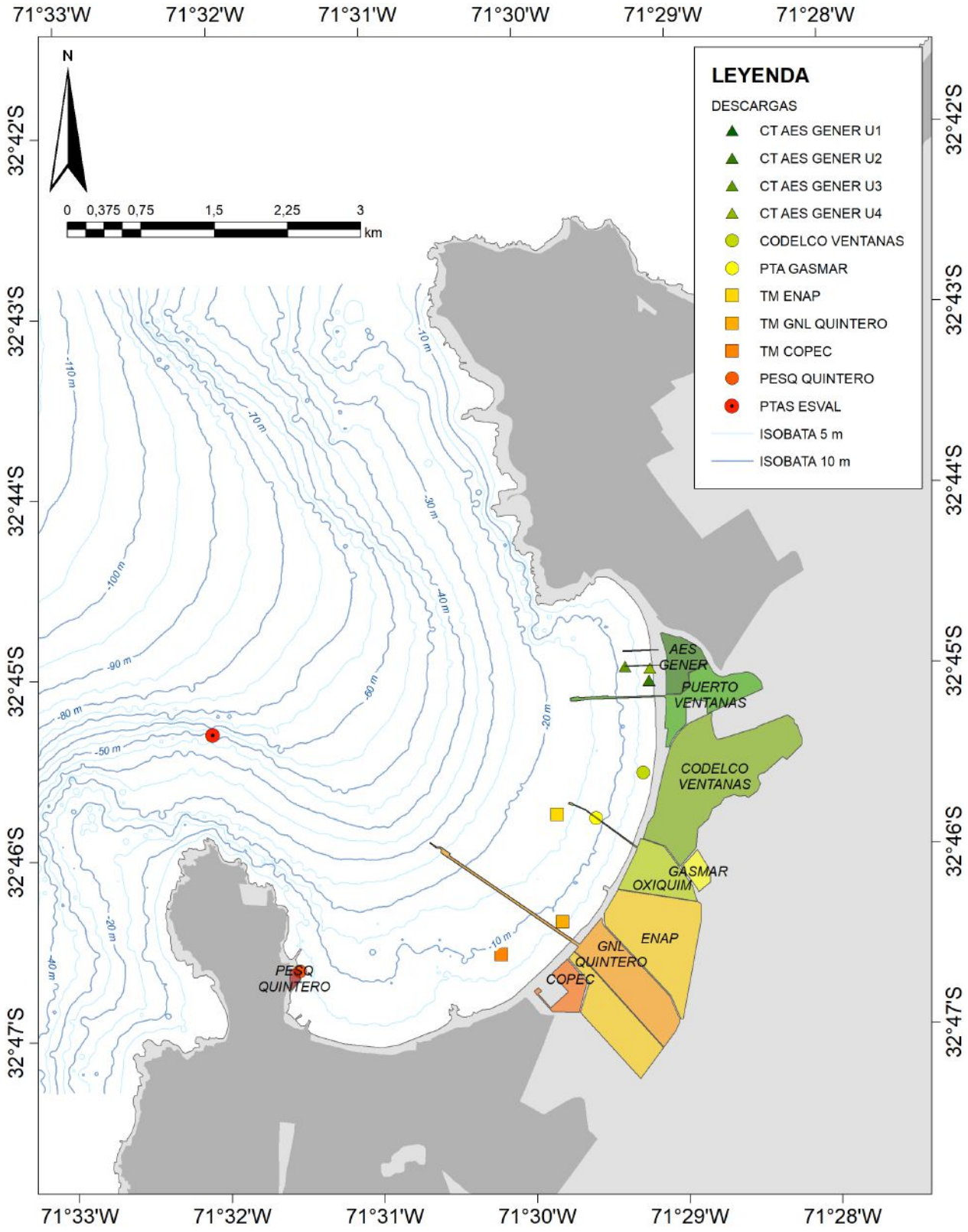


Figura 270. Ubicación de los puntos de descarga de las UF analizadas en bahía Quintero.

5.3.1 Parámetros medidos por UF

En terminos generales, entre los años 1993 y 2019, se ha monitoreado un total de 41 parámetros. El análisis por UF indica que CODELCO es la UF que monitorea la mayor cantidad de parámetros (N=27); por el contrario, COPEC corresponde a la UF donde se monitorea la menor cantidad de parámetros (N=6). En la **Tabla 107**, se entrega el total de parametros analizados por UF.

Tabla 107. Numero de determinaciones y numero de parámetros medidos por Unidad Fiscalizable, entre los años 1993 y 2019.

Parámetro	AES GENER UNIDAD 3	AES GENER UNIDAD 4	AES GENER UNIDAD 1 Y 2	CODELCO	GASMAR	ENAP	GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQUERA QUINTERO	UF
Al			434	75	3	69	244			**5**
As	221		434	75	3	69	353		76	**7**
AyG	221	208		75	53	69	369		79	**7**
B	3		6						1	**3**
Cd			434	75	3	69			3	**5**
CLB	221						319			**2**
Cloru	3		6						1	**3**
Cn				75	3	69				**3**
ColFec			434	76			21			**3**
Cr6					3	69				**2**
CrTot	221	208	434	75	3	69				**6**
Cu		208			3	68			38	**4**
CuTot	221		434	75					38	**4**
DBO5				75			22		78	**3**
Fe	3		2						1	**3**
FeDis			434	75			19		75	**4**
Fenol				75	3	69	19		76	**5**
Flro		208	435	75	3	69			76	**6**
HCT				75	53	69	244	55	77	**6**
Hfij									26	**1**
Hg			434	75	3					**3**
HV					53	71	100	55	79	**5**
Mn			434	75	3	69	244			**5**
Mo			442	75	3	69				**4**
Ni		208	434	75	3	69				**5**
NTK				75			20		76	**3**
P							20		76	**2**
Pb		208	220	75	3	69	244		76	**7**
pH	221	208	346	75	53	68	1126	56		**8**
SAAM	221		434	75	3	69	44		76	**7**
Se	229		448	75	3	69		55		**6**
Sn				75	3	69				**3**
SO4			6						1	**2**
Ssed		208		75	53	69	144			**5**
SST	226	208	442	75	53	69	370		76	**8**
Sulf		208			3	69	75			**4**
TCM	3								1	**2**
Temp	221	208	435	75		67	19	55		**7**
TN									1	**1**
Xi									1	**1**
Zn	221	208	434	74	3	3	244	55	76	**9**
PARÁMETROS	**15**	**12**	**23**	**27**	**25**	**25**	**21**	**6**	**25**	**41**

En las **Figuras 271 a 273** se muestran las concentraciones por UF, para metales, parámetros inorgánicos, parámetros orgánicos, parámetros biológicos y parámetros físico-químicos. En términos generales, se observan diferencias en las concentraciones reportadas por cada UF.

Para metales, el aluminio presentó concentraciones promedio cercanas a 0,1 mg/L en ENAP y CODELCO; mientras que para boro y cromo hexavalente las mayores concentraciones promedio se registraron en AES GENER UNIDAD 1 y 2 con niveles cercanos a 5 mg/L y 0,02 mg/L, respectivamente. Para el arsénico, las mayores concentraciones promedio se registraron en CODELCO con niveles cercanos a 0,5 mg/L; mientras que para cadmio y cromo total las UF CODELCO Y ENAP presentaron las mayores concentraciones, con niveles en torno a 0,01 mg/L y 0,02 mg/L (**Figura 271**).

El cobre presentó en promedio mayores concentraciones en ENAP y PESQUERA QUINTERO con valores cercanos a 0,1 mg/L; mientras que el cobre total y hierro disuelto presentaron niveles promedio más altos en CODELCO, con valores en torno a 0,1 mg/L en ambos casos. Los niveles promedio de hierro fueron mayores en PESQUERA QUINTERO con niveles superiores a 0,04 mg/L; mientras que el manganeso fue más alto en las UF CODELCO y ENAP, con valores promedio de 0,1 mg/L. Finalmente, los niveles de mercurio fueron similares en las 3 UF donde fue medido este parámetro, con niveles en torno a 0,001 mg/L (**Figura 272**).

El molibdeno y níquel presentaron mayores valores en las UF CODELCO y ENAP, con valores de 0,02 mg/L y 0,05 mg/L, respectivamente. Por otro lado, el plomo presentó niveles promedio mayores en AES GENER UNIDAD 1 y 2 y AES GENER UNIDAD 4, con niveles promedio cercanos a 0,05 mg/L; mientras que el selenio fue mayor CODELCO Y GASMAR, con niveles en torno a 0,05 mg/L. El estaño presentó mayores niveles promedio en GASMAR, con valores en torno a 0,05 mg/L; mientras que para zinc se registraron niveles promedio más altos en ENAP con valores promedio superiores a 0,005 mg/L (**Figura 273**).

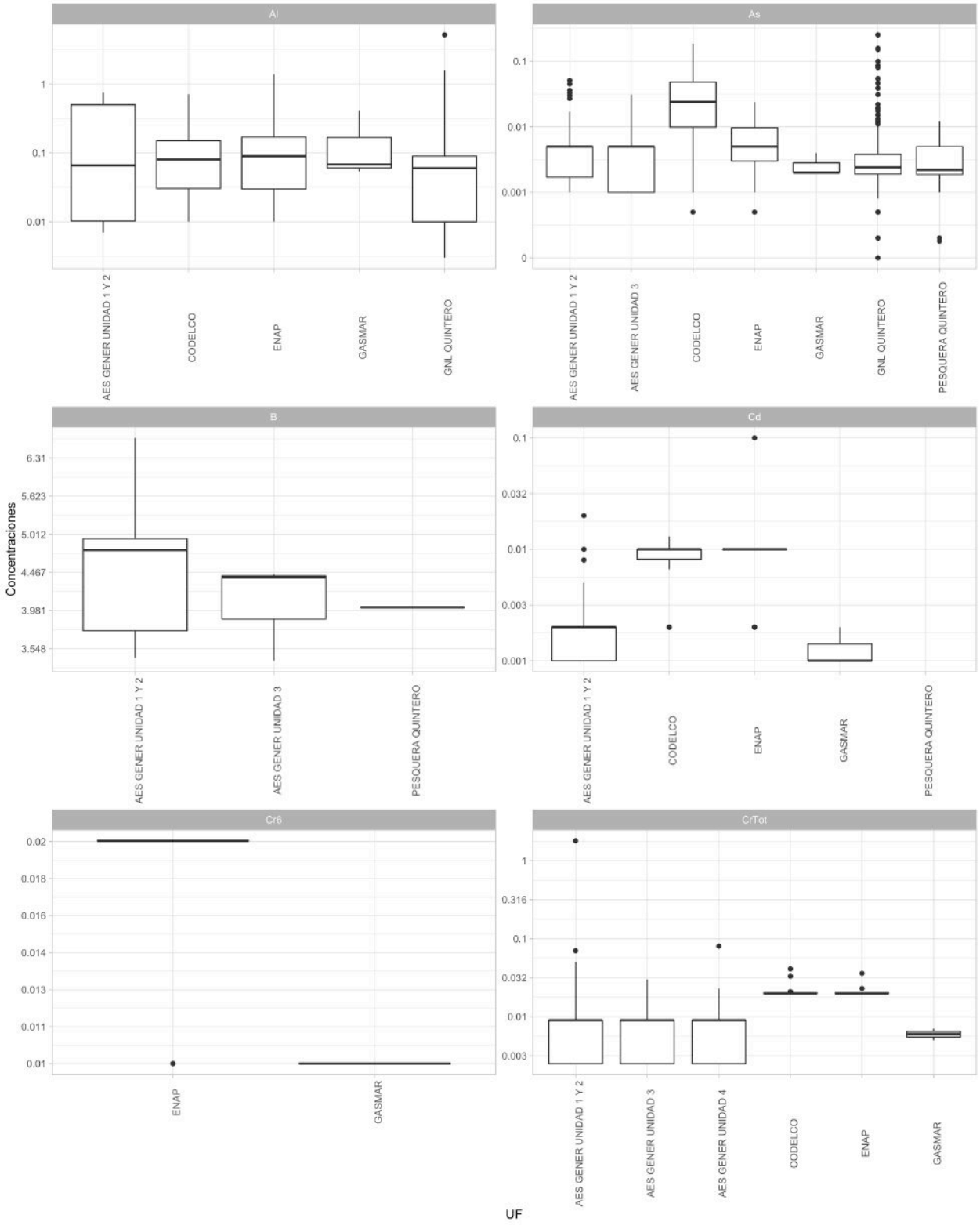


Figura 271. Box-plot de niveles de concentración, para los metales aluminio, arsénico, boro, cadmio, cromo hexavalente, cromo total, medidos en efluentes.

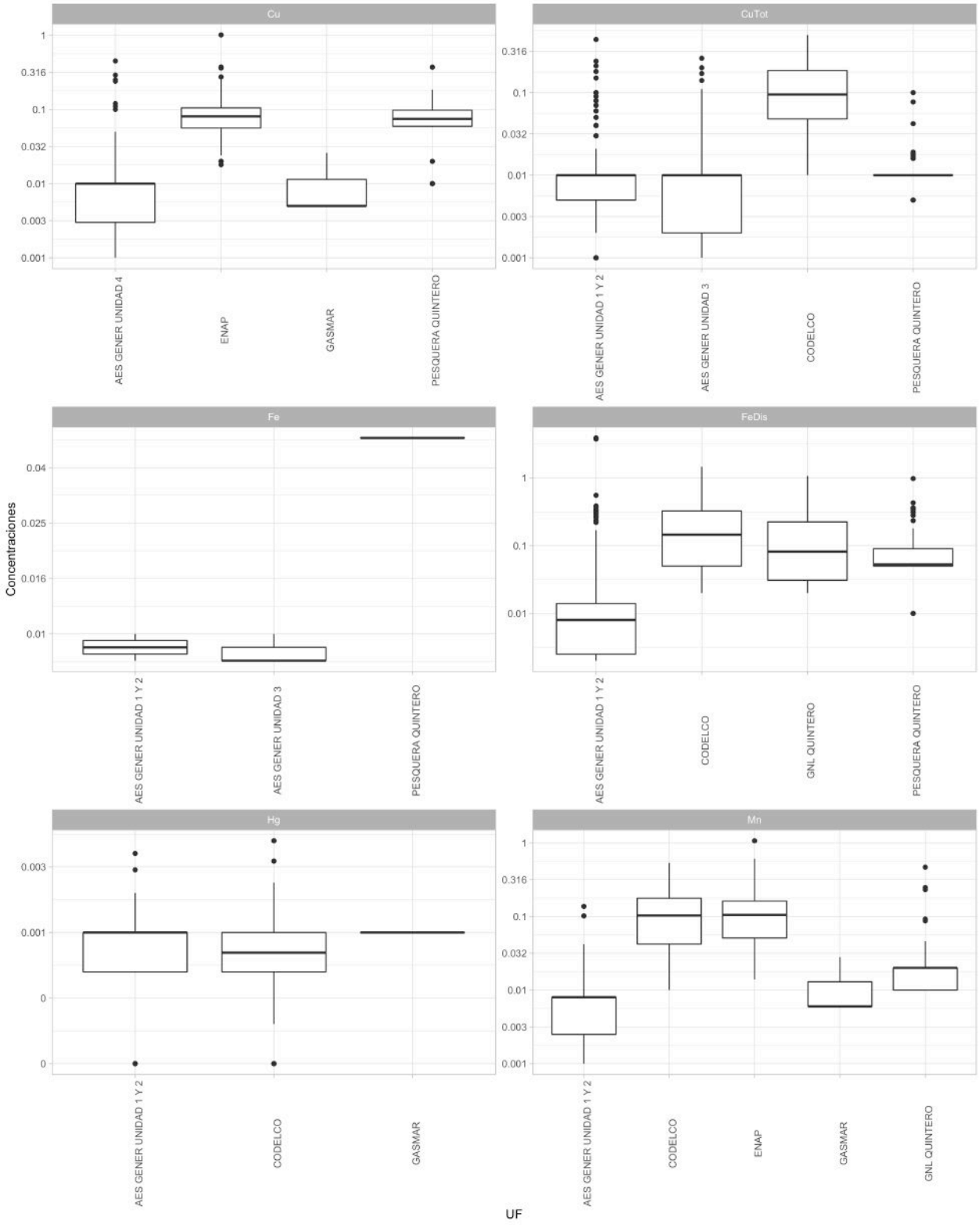


Figura 272. Box-plot de niveles de concentración, para los metales cobre, cobre total, hierro, hierro disuelto, mercurio y manganeso, medidos en efluentes.

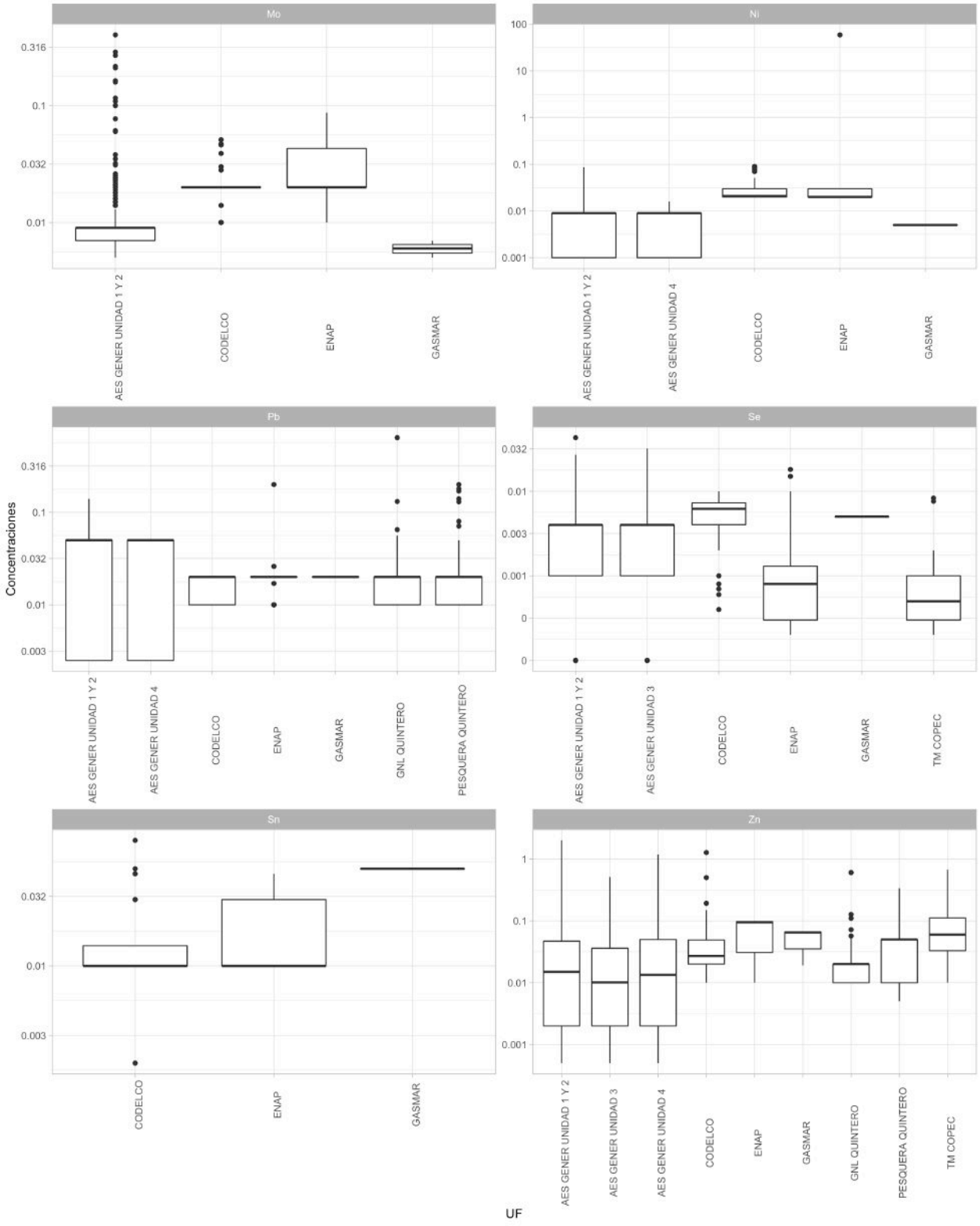


Figura 273. Box-plot de niveles de concentración, para los metales molibdeno, níquel, plomo, selenio, estaño y zinc, medidos en efluentes.

En cuanto a los parámetros inorgánicos se registraron en GNL QUINTERO niveles más altos de cloro libre residual, cloruros, nitrógeno total kjeldahl y fósforo; mientras que el cianuro y sulfuros presentaron altos niveles promedio en GASMAR. Los fluoruros, presentaron niveles similares en todas las UF donde este parámetro fue analizado, en torno a 1 mg/L, situación similar se observa con los detergentes SAAM, los cuales mostraron niveles promedio en torno a 0,1 mg/L en todas las UF donde fue analizó este parámetro. Finalmente, los sulfatos presentaron niveles promedio cercanos a 3000 mg/L en AES GENER UNIDAD 1 y 2, muy por sobre lo reportado para PESQUERA QUINTERO cuyos niveles promedio están en torno a 1300 mg/L (**Figura 274**).

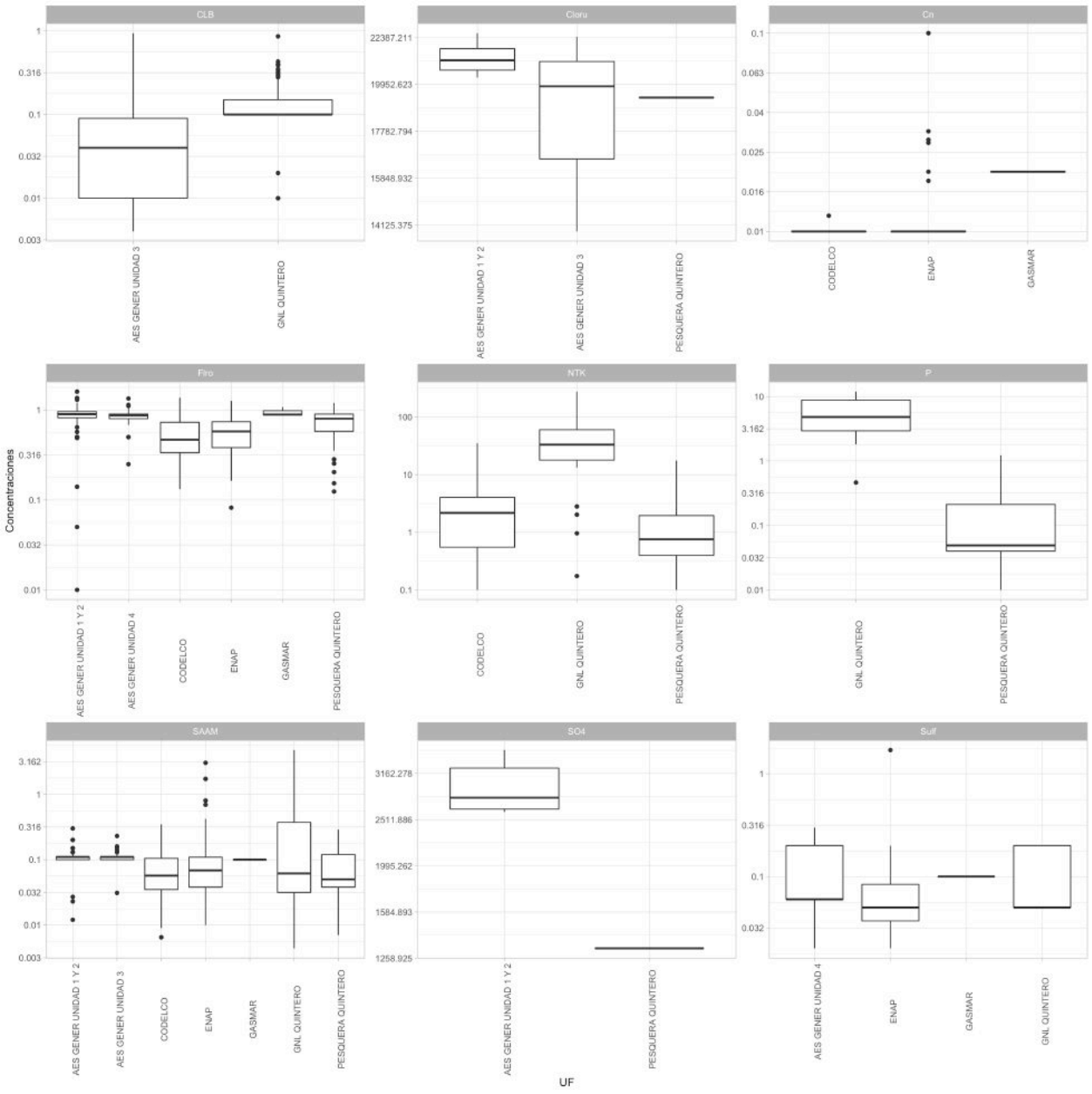


Figura 274. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros inorgánicos, medidos en efluentes.

En cuanto a los parámetros orgánicos se registraron en AES GENER UNIDAD 3 Y UNIDAD 4 niveles más altos de aceites y grasas con niveles en torno a 10 mg/L. ENAP presentó los niveles promedio más altos de fenol con valores superiores a 0,01 mg/L; mientras que esta misma UF presentó los niveles más bajos de hidrocarburos totales con niveles en torno a 0,5 mg/L, muy por debajo del resto de las UF que miden este parámetro, cuyos niveles promedio son superiores a

3 mg/L. En cuanto a hidrocarburos volátiles este parámetro fue más alto en PESQUERA QUINTERO con niveles promedio en torno a 1 mg/L; mientras que el triclorometano presentó niveles en torno a 0,1 mg/L en AES GENER UNIDAD 3 y niveles en torno a 0,001 mg/L en PESQUERA QUINTERO. Finalmente, los parámetros hidrocarburos fijos, tolueno y xileno medidos en PESQUERA QUINTERO no presentan variabilidad (**Figura 275**).

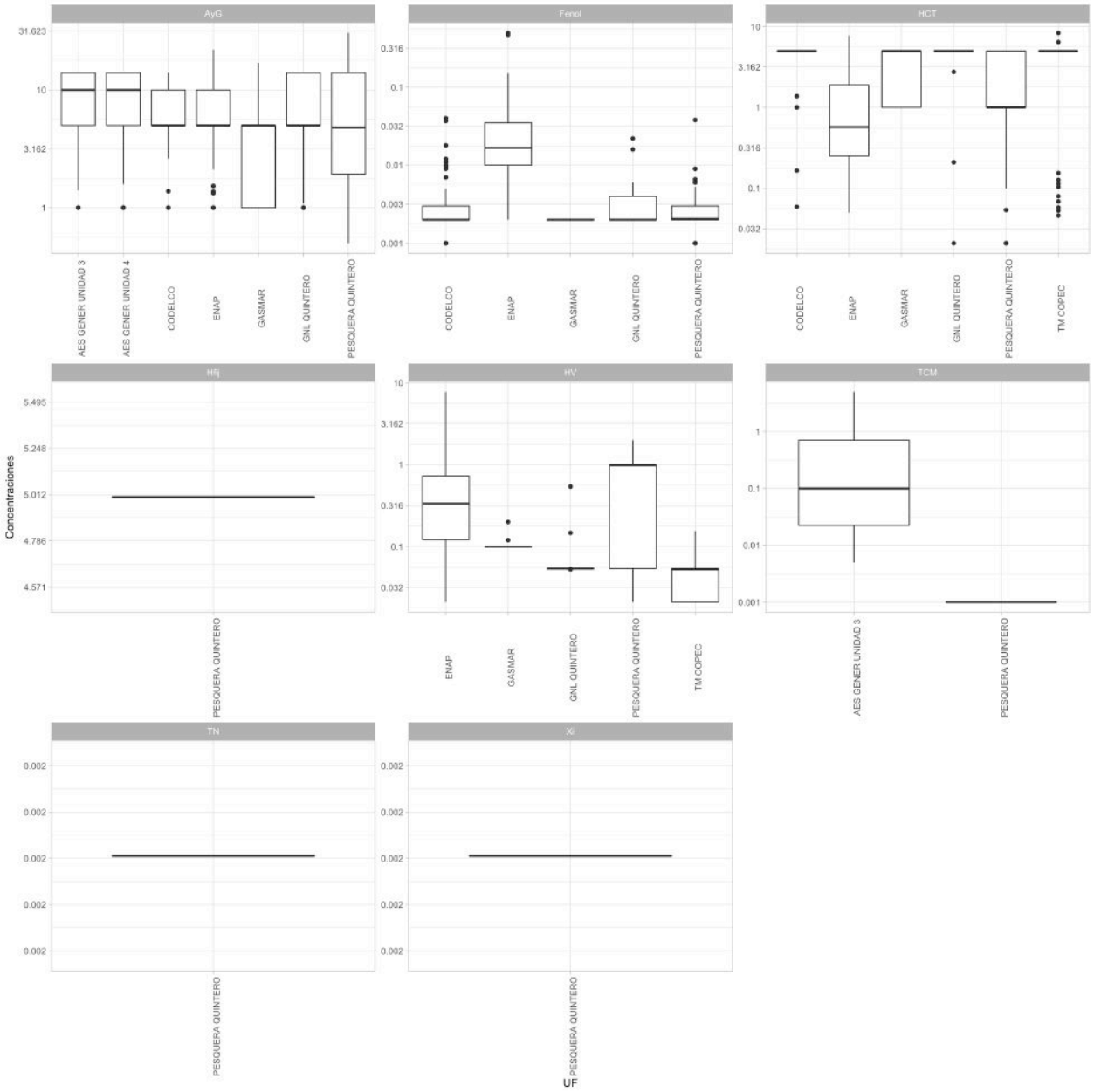


Figura 275. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros orgánicos, medidos en efluentes.

En cuanto a los parámetros físico-químicos y biológicos se observa que coliformes fecales presentaron niveles similares en torno a 1 NMP/100 ml para las UF donde es monitoreado este parámetro; mientras que la DBO5 presentó niveles promedio superiores en GNL QUINTERO con niveles promedio superiores a 30 mgO2/L. El pH presentó niveles similares en torno 8, en la mayoría de las UF donde fue analizado, salvo AES GENER 1 y 2, ENAP y TM COPEC, donde este parámetro es levemente inferior. Los solidos sedimentables fueron mayores en CODELCO, ENAP y GNL QUINTERO con niveles en torno a 1 mg/L. Por otro lado, los sólidos suspendidos totales, presentaron mayores niveles en ENAP y GNL QUINTERO con niveles promedio superiores a 10 mg/L. Finalmente, la temperatura presentó los niveles más altos en las 3 termoeléctricas que operan en la bahía (AES GENER UNIDAD 3; AES GENER UNIDAD 4; AES GENER UNIDAD1 Y 2) con niveles superiores a 20ºC (**Figura 276**).

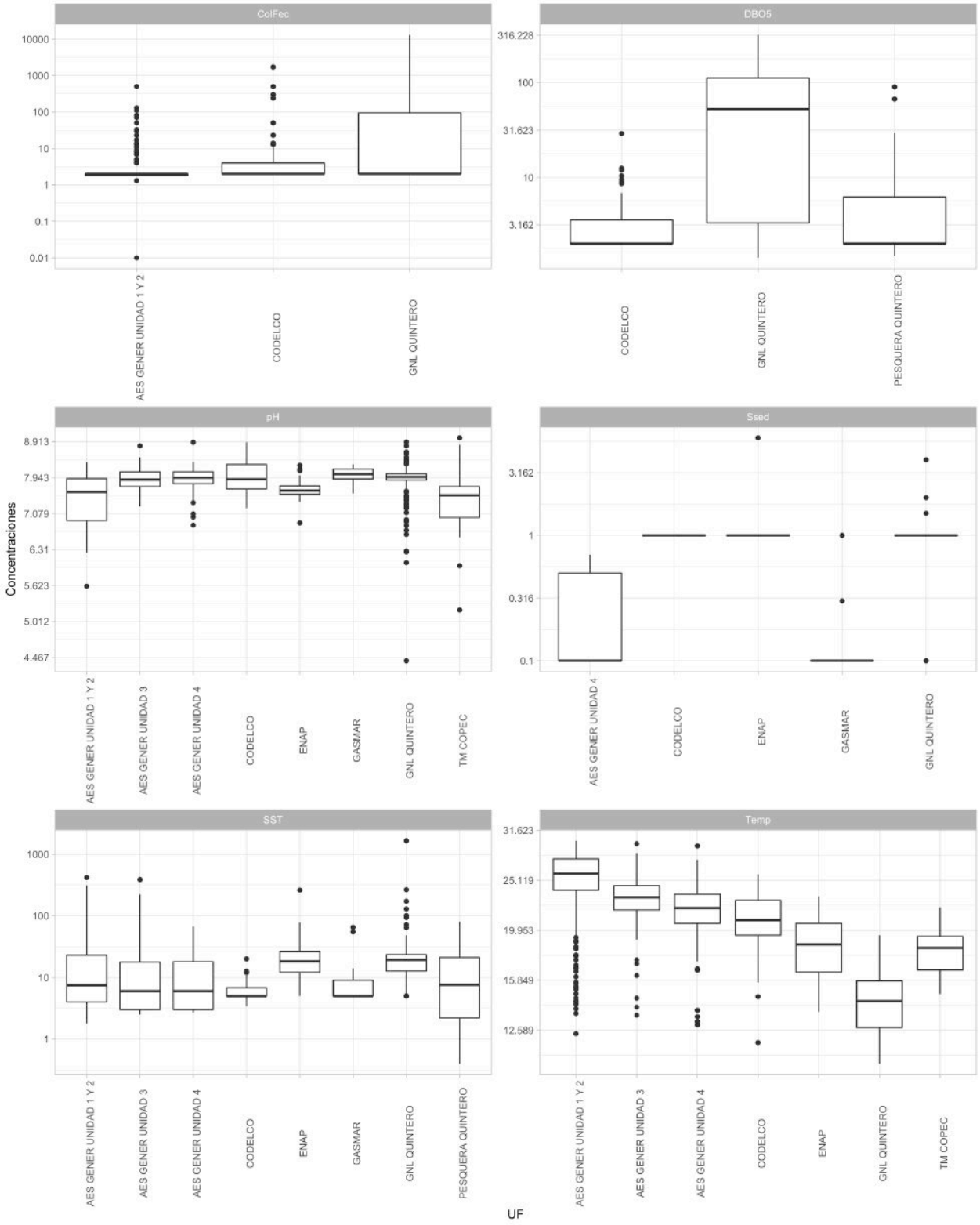


Figura 276. Box-plot de niveles de concentración, para parámetros físico-químicos y biológicos, medidos en efluentes.

La estadística descriptiva para cada una de las UF que presentan datos de efluentes se entrega a continuación:

5.3.1.1 AES GENER UNIDAD 3

Se analizó un total de 13 parámetros, de los cuales, cloro libre residual, cobre total, sólidos suspendidos totales, triclorometano y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que boro, cloruros, pH, triclorometano tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 108**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 108**.

Tabla 108. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 3.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
B	3	3,42	4,44	4,08667	0,5777	14%	0,7794	0,0661
CLB	221	0,004	0,94	0,0831	0,12291	148%	0,6130	0,0000
Cloru	3	13909	22431	18733,7	4371,42	23%	0,9501	0,5698
CrTot	221	0,0025	0,03	0,00682	0,00396	58%	0,7102	0,0000
CuTot	221	0,001	0,26	0,01232	0,02752	223%	0,3111	0,0000
Fe	3	0,008	0,01	0,00867	0,00115	13%	0,7500	0,0000
pH	221	7,24	8,79	7,89086	0,25108	3%	0,9899	0,1244
SAAM	221	0,031	0,23	0,10648	0,01249	12%	0,4635	0,0000
Se	229	0	0,032	0,00378	0,00375	99%	0,6094	0,0000
SST	226	2,5	387	17,3279	36,6039	211%	0,3833	0,0000
TCM	3	0,005	5	1,70167	2,85684	168%	0,7643	0,0318
Temp	221	13,5	29,7	23,174	2,30104	10%	0,9524	0,0000
Zn	221	0,0005	0,512	0,02983	0,05495	184%	0,4961	0,0000

5.3.1.2 AES GENER UNIDAD 4

Se analizó un total de 10 parámetros, de los cuales, cobre, solidos suspendidos totales, y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 109**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 109**.

Tabla 109. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 4.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Cu	208	0,001	0,45	0,01571	0,04496	286%	0,2627	0,0000
Flro	208	0	1,34	0,85428	0,13606	16%	0,7973	0,0000
Ni	208	0,001	0,016	0,00583	0,00385	66%	0,7362	0,0000
Pb	208	0,0025	0,05	0,02874	0,02292	80%	0,6676	0,0000
pH	208	6,82	8,89	7,93024	0,25199	3%	0,9340	0,0000
Ssed	208	0,1	0,7	0,24519	0,19431	79%	0,6195	0,0000
SST	208	2,7	67	11,975	12,1471	101%	0,7627	0,0000
Sulf	208	0,02	0,3	0,11514	0,06671	58%	0,6937	0,0000
Temp	208	12,9	29,4	21,9779	2,6523	12%	0,9569	0,0000
Zn	208	0	1,18	0,03746	0,09303	248%	0,3210	0,0000

5.3.1.3 AES GENER UNIDAD 1 y 2

Se analizó un total de 21 parámetros, de los cuales, coliformes fecales, coliformes totales, cobre total, hierro disuelto, manganeso, molibdeno, selenio, sólidos suspendidos totales, y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que boro, cloruros, y sulfatos tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 110**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 110**.

Tabla 110. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF AES GENER UNIDAD 1 y 2.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
B	6	3,45	6,71	4,69367	1,19998	26%	0,8908	0,3225
Cd	434	0,001	0,02	0,00174	0,00124	72%	0,3929	0,0000
Cloru	6	20295	22629	21293,5	884,636	4%	0,9392	0,6524
ColFec	434	0,01	500	5,93735	26,2241	442%	0,1219	0,0000
CrTot	434	0,0025	1,8	0,01132	0,08624	762%	0,0399	0,0000
CuTot	434	0,001	0,44	0,01495	0,03202	214%	0,3417	0,0000
Fe	2	0,008	0,01	0,009	0,00141	16%	-	-
FeDis	434	0,002	3,91	0,04283	0,26566	620%	0,1099	0,0000
Flro	435	0,01	1,6	0,88526	0,14965	17%	0,8603	0,0000
Hg	434	0	0,004	0,00082	0,00038	46%	0,6072	0,0000
Mn	434	0,001	0,137	0,00668	0,00915	137%	0,3303	0,0000
Mo	442	0,005	0,402	0,01448	0,03309	229%	0,2345	0,0000
Ni	434	0,001	0,087	0,00697	0,00624	90%	0,6244	0,0000
Pb	220	0,0025	0,14	0,02947	0,02379	81%	0,7384	0,0000
pH	346	5,61	8,34	7,42957	0,57263	8%	0,9350	0,0000
SAAM	434	0,012	0,3	0,10687	0,0163	15%	0,4038	0,0000
Se	448	0	0,043	0,00366	0,00372	102%	0,5872	0,0000
SO4	6	2609	3552	2961,17	404,371	14%	0,8449	0,1430
SST	442	1,8	417	19,2631	34,869	181%	0,4484	0,0000
Temp	435	12,4	30,11	25,2835	3,45551	14%	0,8734	0,0000
Zn	434	0,0005	2	0,04059	0,12038	297%	0,2500	0,0000

5.3.1.4 CODELCO

Se analizó un total de 25 parámetros, de los cuales, coliformes fecales, DBO5, hierro disuelto, fenol, mercurio, nitrógeno total kjeldahl, y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que únicamente la temperatura tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 111**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 111**.

Tabla 111. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF CODELCO.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
AyG	75	1	14	6,93893	4,33234	62%	0,7848	0,0000
Cd	75	0,002	0,013	0,00809	0,00349	43%	0,5882	0,0000
Cn	75	0,01	0,012	0,01005	0,00032	3%	0,1503	0,0000
ColFec	76	2	1700	41,3421	205,457	497%	0,1897	0,0000
CrTot	75	0,02	0,041	0,02047	0,00283	14%	0,1572	0,0000
CuTot	75	0,01	0,499	0,13985	0,12393	89%	0,8535	0,0000
DBO5	75	2	29	3,79493	4,06837	107%	0,5002	0,0000
FeDis	75	0,02	1,46	0,24687	0,31165	126%	0,6869	0,0000
Fenol	75	0,001	0,04	0,00456	0,00666	146%	0,4847	0,0000
Flro	75	0,132	1,37	0,55261	0,28657	52%	0,9169	0,0001
HCT	75	0,059	5	4,0214	1,75938	44%	0,5495	0,0000
Hg	75	0,0001	0,005	0,00089	0,0009	101%	0,6595	0,0000
Mn	75	0,01	0,538	0,12561	0,10543	84%	0,8716	0,0000
Mo	75	0,01	0,051	0,01985	0,0075	38%	0,6115	0,0000
Ni	75	0,02	0,09	0,02888	0,01471	51%	0,6292	0,0000
NTK	75	0,1	35,3	3,43832	4,95594	144%	0,6005	0,0000
Pb	75	0,01	0,02	0,01711	0,00448	26%	0,5892	0,0000
pH	75	7,2	8,9	7,96173	0,37611	5%	0,9708	0,0799
SAAM	75	0,0065	0,347	0,08365	0,07199	86%	0,8140	0,0000
Se	75	0	0,01	0,00569	0,00264	46%	0,9580	0,0141
Sn	75	0,002	0,08	0,01525	0,01261	83%	0,5533	0,0000
Ssed	75	1	1	1	0	0%	-	-
SST	75	3,4	20	6,28987	2,35874	38%	0,6341	0,0000
Temp	75	11,9	25,8	21,1147	2,70254	13%	0,9692	0,0641
Zn	74	0,01	1,27	0,06119	0,15555	254%	0,2669	0,0000

5.3.1.5 GASMAR

Se analizó un total de 23 parámetros, de los cuales, cobre, sólidos sedimentables y solidos suspendidos totales, presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 112**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 112**.

Tabla 112. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF GASMAR.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
AyG	53	1	17	4,17	2,52	61%	0,5618	0,0000
Cd	3	0,001	0,002	0,0013	0,0006	43%	-	-
Cn	3	0,02	0,02	0,02	0,00	0%	-	-
Cr6	3	0,01	0,01	0,01	0,00	0%	-	-
CrTot	3	0,005	0,007	0	0	17%	-	-
Cu	3	0,005	0,026	0,0120	0,0121	101%	-	-
Fenol	3	0,002	0,002	0,0020	0,0000	0%	-	-
Flro	3	0,87	1,08	0,9467	0,1159	12%	-	-
HCT	53	1	5	3,9434	1,7804	45%	0,5504	0,0000
Hg	3	0,001	0,001	0,0010	0,0000	0%	-	-
HV	53	0,1	0,2	0,1026	0,0142	14%	0,1869	0,0000
Mn	3	0,006	0,028	0,0133	0,0127	95%	-	-
Mo	3	0,005	0,007	0,0060	0,0010	17%	-	-
Ni	3	0,005	0,005	0,0050	0,0000	0%	-	-
Pb	3	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-
pH	53	7,55	8,29	8,0270	0,1691	2%	0,9629	0,0989
SAAM	3	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-
Se	3	5,00E-03	5,00E-03	0,0050	0,0000	0%	-	-
Sn	3	0,05	0,05	0,0500	0,0000	0%	-	-
Ssed	53	0,1	1	0,1208	0,1261	104%	0,1581	0,0000
SST	53	5	65	8,7925	10,6000	121%	0,3658	0,0000
Sulf	3	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-
Zn	3	0,019	0,067	0,0503	0,0272	54%	-	-

5.3.1.6 ENAP

Se analizó un total de 23 parámetros, de los cuales, la mayoría presento altos coeficientes de variación (CV>100%), exceptuando aceites y grasas, cromo hexavalente, cromo total, fluoruros, molibdeno, pH, selenio, solidos sedimentables, temperatura y zinc.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que únicamente fluoruros tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 113**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 113**.

Tabla 113. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF ENAP.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
AyG	69	1	22	7,42217	4,84132	65%	0,8682	0,0000
Cd	69	0,002	0,1	0,0098	0,01146	117%	0,2378	0,0000
Cn	69	0,01	0,1	0,01426	0,0158	111%	0,2923	0,0000
Cr6	69	0,01	0,02	0,01855	0,00355	19%	0,4192	0,0000
CrTot	69	0,02	0,036	0,02028	0,00195	10%	0,1265	0,0000
Cu	68	0,018	1,01	0,10716	0,13065	122%	0,4745	0,0000
Fenol	69	0,002	0,497	0,04237	0,08325	196%	0,4262	0,0000
Flro	69	0,082	1,26	0,57041	0,24785	43%	0,9812	0,3867
HCT	69	0,05	7,74	1,51035	1,90224	126%	0,7202	0,0000
HV	71	0,021	7,74	0,73683	1,21925	165%	0,5704	0,0000
Mn	69	0,014	1,07	0,14278	0,15654	110%	0,6505	0,0000
Mo	69	0,01	0,087	0,03225	0,01859	58%	0,7850	0,0000
Ni	69	0,02	59	0,87739	7,10004	809%	0,0995	0,0000
Pb	69	0,01	0,2	0,02048	0,02234	109%	0,2003	0,0000
pH	68	6,87	8,26	7,64176	0,21246	3%	0,9450	0,0047
SAAM	69	0	3,03	0,16391	0,42231	258%	0,3268	0,0000
Se	69	0	0,0181	0,00166	0,00311	188%	0,4800	0,0000
Sn	69	0,01	0,046	0,01614	0,01097	68%	0,5897	0,0000
Ssed	69	1	6	1,07246	0,60193	56%	0,0992	0,0000
SST	69	5	261	24,318	31,4998	130%	0,3971	0,0000
Sulf	69	0,02	1,7	0,0957	0,20367	213%	0,2775	0,0000
Temp	67	13,7	23,3	18,539	2,54156	14%	0,9673	0,0747
Zn	3	0,01	0,1	0,06833	0,05058	74%	-	-

5.3.1.7 GNL QUINTERO

Se analizó un total de 19 parámetros, de los cuales, coliformes fecales, DBO5, hierro disuelto, fenol, manganeso, nitrógeno total kjeldahl, plomo, SAAM, sólidos suspendidos totales y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que únicamente fósforo y temperatura tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 114**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 114**.

Tabla 114. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF GNL QUINTERO.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
AyG	369	1	14	7,21957	4,42055	61%	0,7582	0,0000
CLB	319	0,01	0,86	0,13564	0,07396	55%	0,5939	0,0000
ColFec	21	2	13000	1239,43	3164,62	255%	0,4657	0,0000
DBO5	22	1,418	319	87,6054	95,5311	109%	0,8404	0,0023
FeDis	19	0,02	1,07	0,21058	0,2851	135%	0,7052	0,0001
Fenol	19	0,002	0,022	0,00447	0,00533	119%	0,5233	0,0000
HCT	244	0,021	5	4,93111	0,55401	11%	0,1017	0,0000
HV	100	0,053	0,54	0,05962	0,04941	83%	0,0999	0,0000
Mn	244	0,01	0,468	0,02266	0,04146	183%	0,2228	0,0000
NTK	20	0,174	276	57,9226	72,4823	125%	0,7332	0,0001
P	20	0,462	11,9	5,5461	3,38136	61%	0,9263	0,1312
Pb	244	0,01	0,643	0,02293	0,05738	250%	0,1267	0,0000
pH	429	4,42	8,79	7,92169	0,29094	4%	0,5466	0,0000
SAAM	44	0,0044	4,74	0,33462	0,74304	222%	0,4245	0,0000
Ssed	144	0	4	1,01111	0,302	30%	0,1918	0,0000
SST	370	5	1646	28,6866	121,01	422%	0,0981	0,0000
Sulf	75	0,05	0,2	0,09005	0,06675	74%	0,5532	0,0000
Temp	19	10,8	19,5	14,6263	2,51127	17%	0,9614	0,6011
Zn	244	0,01	0,604	0,02323	0,05426	234%	0,1481	0,0000

5.3.1.8 TM COPEC

Se analizó un total de 4 parámetros, de los cuales, selenio y zinc presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que únicamente temperatura tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 115**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 115**.

Tabla 115. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF TM COPEC.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
pH	56	5,2	9,02	7,40375	0,62215	8%	0,9462	0,0145
Se	55	0	0,0083	0,00091	0,00146	160%	0,4423	0,0000
Temp	55	14,88	22,14	18,1285	1,88722	10%	0,9716	0,2162
Zn	55	0,01	0,672	0,09291	0,11956	129%	0,5811	0,0000

5.3.1.9 PESQUERA QUINTERO

Se analizó un total de 23 parámetros, de los cuales, cobre total, DBO5, hierro disuelto, fenol, nitrógeno total kjeldahl, fósforo, plomo, sólidos suspendidos totales y zinc, presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 116**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados en esta UF, se entrega en la **Tabla 116**.

Tabla 116. Resumen de estadística descriptiva para las variables monitoreadas en los efluentes, en la UF PESQUERA QUINTERO.

Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
B	1	4,02	4,02	4,02	-	-	-	-
Cd	3	0	0	0	0	-	-	-
Cloru	1	19322,8	19322,8	19322,8	-	-	-	-
Cu	38	0,01	0,371	0,07784	0,06363	82%	0,7375	0,0000
CuTot	38	0,005	0,1	0,015	0,01882	125%	0,4427	0,0000
DBO5	78	1,5	90,2	7,46833	13,5296	181%	0,4505	0,0000
Fe	1	0,051	0,051	0,051	-	-	-	-
FeDis	75	0,01	0,98	0,10704	0,13671	128%	0,5206	0,0000
Fenol	76	0,001	0,038	0,0033	0,00433	131%	0,3300	0,0000
Flro	76	0,124	1,2	0,74513	0,24485	33%	0,9178	0,0001
HCT	76	0	5	2,38312	2,04405	86%	0,7153	0,0000
Hfij	26	0	5	4,80769	0,98058	20%	0,1980	0,0000
HV	79	0	2	0,54677	0,52872	97%	0,7426	0,0000
NTK	76	0,1	17,5	1,99626	3,0396	152%	0,6219	0,0000
P	76	0,01	1,22	0,16257	0,21455	132%	0,6293	0,0000
Pb	76	0,01	0,2	0,02967	0,04088	138%	0,4845	0,0000
SAAM	76	0,007	0,29	0,07457	0,0476	64%	0,8352	0,0000
SO4	1	1322,1	1322,1	1322,1	-	-	-	-
SST	76	0	80,2	13,7487	14,1218	103%	0,8166	0,0000
TCM	1	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-
TN	1	0,002	0,002	0,002	-	-	-	-
Xi	1	0,002	0,002	0,002	-	-	-	-
Zn	76	0,005	0,337	0,04114	0,0416	101%	0,5591	0,0000

5.3.2 Excedencias a los límites exigidos en DS 90

En la **Tabla 117**, se entrega la proporción de determinaciones que están por sobre los límites exigidos por el DS 90. En general, se observa que la mayoría de los parámetros no presenta excedencias a la norma (0%), no obstante, se observan casos para los cuales el total de determinaciones esta por sobre lo exigido por el DS 90 (100%).

Los parámetros aluminio, arsénico, aceites y grasas, cadmio, cianuro, cromo hexavalente, cromo tototal, cobre, fenol, fluoruro, hidrocarburos totales, mercurio, manganeso, níquel, plomo, pH, SAAM, estaño, solidos sedimentables, sulfuro, zinc, presentaron 0% de excedencias en todas las UF analizadas, cuyo número de determinaciones osciló entre mínimos de 3 registros, como ocurre en GASMAR para la mayoría de los parámetros, y 1126 determinaciones en GNL Quintero para pH.

Los parámetros boro, cloruros, hierro, sulfatos, triclorometano, y xileno mostraron 100% de excedencias para todas las UF donde fueron monitoreados. Sin embargo, en todos estos casos, el numero de determinaciones fue bajo e inferior a 6 registros.

Respecto a los parámetros que presentaron diferencias entre UF, se observa que el cloro libre residual presentó excedencias del 100% en AES GENER UNIDAD 3, y 0% de excedencias en GNL Quintero. Los coliformes fecales, presentaron excedencias del 100% en GNL Quintero, pero excedencias inferiores al 1% en AES GENER UNIDAD 1 Y 2 y CODELCO. El cobre total presentó excedencias del 100% en AES GENER UNIDAD U3, AES GENER UNIDAD 1 Y 2 y PESQUERA QUINTERO, pero 0% de excedencias en CODELCO. La DBO5 presentó excedencias del 100% en GNL Quintero, pero porcentajes de excedencias muy bajo en CODELCO y PESQUERA QUINTERO. El hierro disuelto presentó 0% de excedencias en todas las UF donde fue analizada, salvo en GNL QUINTERO donde se registró un 100% de excedencias. Los hidrocarburos fijos, monitoreados sólo en PESQUERA QUINTERO presentaron excedencias del 96%. Los hidrocarburos volátiles, molibdeno, selenio y solidos suspendidos totales, presentaron en general excedencias por debajo del 10%. Parámetros como el nitrógeno total kjeldahl y fósforo presentaron excedencias del 100% en GNL QUINTERO y 0% en PESQUERA QUINTERO. Finalmente, la temperatura presentó excedencias del 100% en ENAP, GNL QUINTERO y TM COPEC; pero 0% en AES GENER UNIDAD 3, AES GENER UNIDAD 4, AES GENER UNIDAD 1 Y 2 y CODELCO. En todos estos casos el número de determinaciones por UF osciló entre

mínimos de 3 registros, como ocurre en GASMAR para la mayoría de los parámetros, y más de 400 determinaciones en GNL Quintero para la mayoría de los parámetros.

Tabla 117. Porcentajes de excedencias al DS 90, por parámetro y UF entre 1993 y 2019.

Parámetro	AES GENER UNIDAD 3	AES GENER UNIDAD 4	AES GENER UNIDAD 1 Y 2	CODELCO	GASMAR	ENAP	GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQUERA QUINTERO
Al			0%	0%	0%	0%	0%		
As	0%		0%	0%	0%	0%	0%		0%
AyG	0%	0%		0%	0%	0%	0%		3%
B	100%		100%						100%
Cd			0%	0%	0%	0%			0%
CLB	100%						0%		
Cloru	100%		100%						100%
Cn				0%	0%	0%			
ColFec			0%	1%			100%		
Cr6					0%	0%			
CrTot	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
Cu		0%			0%	0%			0%
CuTot	100%		100%	0%					100%
DBO5				0%			100%		3%
Fe	100%		100%						100%
FeDis			0%	0%			100%		0%
Fenol				0%	0%	0%	0%		0%
Flro		0%	0%	0%	0%	0%			0%
HCT				0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hfij									96%
Hg			0%	0%	0%				
HV					0%	7%	0%	0%	4%
Mn			0%	0%	0%	0%	0%		
Mo			2%	0%	0%	0%			
Ni		0%	0%	0%	0%	1%			
NTK				0%			100%		0%
P							100%		0%
Pb		0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%
pH	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
SAAM	0%		0%	0%	0%	0%	0%		0%
Se	3%		3%	0%	0%	0%		0%	
Sn				0%	0%	0%			
SO4			100%						100%
Ssed		0%		0%	0%	0%	0%		
SST	3%	0%	3%	0%	0%	0%	1%		0%
Sulf		0%			0%	0%	0%		
TCM	100%								100%
Temp	0%	0%	0%	0%		100%	100%	100%	
TN									100%
Xi									100%
Zn	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

5.4 Análisis integrado de PSBQ

Análisis integrado de PSBQ

En la **Tabla 118** se entrega el análisis de transversalidad de los subprogramas de monitoreo por UF, observándose que los subprogramas Hidrografía, Calidad de Agua, Calidad de Sedimentos y Macrofauna corresponden a los tipos de monitoreo analizados más transversalmente en Bahía Quintero (en más del 75% de las UF), mientras que Corrientes, Calidad de organismos, Fitoplancton, Zooplancton, Megafauna y Bioensayos corresponden a subprogramas ejecutados en menos del 25% de las UF.

Tabla 118. Tipos de monitoreo efectuados por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera monitoreo, Transv: porcentaje de UF que incorpora el subprograma.

SUBPROGRAMA	CT AES GENER U3	CT AES GENER U4	CT AES GENER U1U2	TM VENTANAS	CODELCO VENTANAS	PTA GASMAR	TM OXIQUIM	TM ENAP	TM GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQ QUINTERO	PTAS ESVAL	TRANSV
HIDROGRAFIA	1	1	1	1			1	1	1		1	1	75%
CORRIENTES	1	1										1	25%
AGUA	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	92%
SEDIMENTOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%
ORGANISMOS					1								8%
MACROFAUNA	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	92%
FITOPLANCTON	1	1							1				25%
ZOOPLANCTON	1								1				17%
MEGAFAUNA							1		1			1	25%
BIOENSAYOS						1			1				17%

Temporalmente, el periodo en el cual existe una mayor cantidad de datos analizables de manera transversal, corresponde al periodo 2013-2018 (**Tabla 119**), fase en el cual existe información para 11 UF. Destaca Gasmar, que sólo posee 1 campaña de monitoreo y en el año 2019, por lo cual esta UF no podrá ser incluida en los análisis integrados.

Tabla 119. Frecuencia de campañas efectuadas por UF y año en Bahía Quintero.

AÑO	CT AES GENER U3	CT AES GENER U4	CT AES GENER U1U2	TM VENTANAS	CODELCO VENTANAS	PTA GASMAR	TM OXIQUIM	TM ENAP	TM GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQ QUINTERO	PTAS ESVAL
1994			1									
1995			2				3					
1996			1				3					
1997			2				3					
1998			2				2					
1999			2				3					
2000			2				3					
2001			2				3					
2002			2				3					
2003			2				3					
2004			2				3					
2005			2				3					
2006			2				3					
2007			2				3					
2008			2				3					
2009			2				3					
2010			2				3	2				
2011			2				2	2				
2012			2		1		3	2		1		2
2013	2	4	2	4	2		3	2	6	2		1
2014	4	4	2	4	2		3	2	3	2		1
2015	4	4	2	3	2		3	2	4	1	1	2
2016	4	4	2	3	2		3	2	4	2		1
2017	4	4	2	3	1		3	2	4	2	1	3
2018	5	4	2	2	4		3	2	4	1		1
2019						1	1		1			

A nivel de subprograma, para hidrografía se analizan 8 parámetros, siendo Temperatura y Oxígeno disuelto los parámetros analizados de manera más transversal, los cuales se miden en el 100% y 88% de las 9 UF que incorporan hidrografía, respectivamente (**Tabla 120**). Para columna de agua (**Tabla 121**), se miden un total de 41 parámetros, con una muy baja proporción de parámetros medidos trasversalmente, siendo Aceites y Grasas, HAT, HCT y Sólidos Suspendidos, los únicos parámetros que alcanzan “cierta” transversalidad (45%, 45%, 36% y 55%, respectivamente).

Para sedimentos (**Tabla 122**), la mayor proporción de las UF analizaron el tipo de grano (92%)[2], mientras que el 75%, poseen estimaciones de tamaño medio de grano (M), de la desviación estándar gráfica inclusiva (DEGI) y del sesgo gráfico inclusivo (Ski). No obstante, al estar relacionados estos tres últimos con la clasificación de sedimentos, en este informe de avance, se analiza de manera descriptiva el tipo de sedimentos por campaña y UF y, adicionalmente, mediante GLM el tamaño medio de grano. En esta matriz, se determinaron además un total de 16 parámetros asociados con calidad química, los que no obstante no muestran transversalidad, analizándose en menos del 25% de las UF.

Para el caso de la Macrofauna, los resultados del análisis efectuado para cada UF, independientemente, revelaron problemas en cuanto a la identificación de especies, asociados con la correcta ortografía utilizada en la nomenclatura de familias, géneros y especies, lo que impide la ejecución de análisis transversales y de contrastes entre UF.

Tabla 120. Parámetros medidos en el subprograma hidrografía por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro.

PARÁMETRO	AES GENER U3	AES GENER U4	AES GENER U1 - U2	PTA GASMAR	TM OXIQUIM	TM ENAP	TM GNL QUINTERO	PESQ QUINTERO	PTAS ESVAL	TRANSV
Transp						1				13%
Temp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%
Sal		1				1	1		1	38%
ns									1	0%
Osat	1	1				1		1		50%
Odis	1	1		1	1	1	1	1		88%
pH	1			1	1	1	1	1		75%
Soldis					1					13%

[2] Se destaca que en el monitoreo de tipo de grano de ENAP, los datos correspondieron a datos de carácter cualitativo y no proporciones, por lo cual no fue posible incluir esta UF en el análisis.

Tabla 121. Parámetros medidos en columna de agua por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro.

PARÁMETRO	AES GENER U3	AES GENER U4	AES GENER U1 - U2	TM VENTANAS	PTA GASMAR	TM OXIQUIM	TM ENAP	TM GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQ QUINTERO	PTAS ESVAL	TRANSV
Temp												0%
Odis	1		1									18%
AsTot			1									9%
Benc									1			9%
ColFec							1			1	1	27%
ColTot										1	1	18%
AyG				1			1		1	1	1	45%
EtilBenc									1			9%
IF				1		1					1	27%
CLB			1					1				18%
Cu			1	1								18%
Cudis				1								9%
Cupar				1								9%
Fluoruro			1									9%
HAT	1		1		1	1			1			45%
HAP				1			1		1			27%
HAL									1			9%
HCT		1					1	1			1	36%
Hfij											1	9%
Hpar								1				9%
HV											1	9%
Ni				1					1			18%
Nidis				1								9%
Nipar				1								9%
NTK										1		9%
Osat	1											9%
pH	1		1						1			27%
Pb				1					1			18%
Pbdis				1								9%
Pbpar				1								9%
SAAM										1		9%
Soldis					1							9%
SolSus			1	1	1			1	1	1		55%
SolSed								1		1		18%
SST											1	9%
Tolueno									1			9%
Vanad				1					1			18%
Vdis				1								9%
Vpar				1								9%
Xi									1			9%

Tabla 122. Parámetros medidos en sedimentos por UF en Bahía Quintero. 1: UF considera parámetro, Transv: porcentaje de UF que incorpora el parámetro.

PARÁMETRO	AES GENER U3	AES GENER U4	AES GENER U1 - U2	TM VENTANAS	CODELCO VENTANAS	PTA GASMAR	TM OXIQUIM	TM ENAP	TM GNL QUINTERO	TM COPEC	PESQ QUINTERO	PTAS ESVAL	TRANSV
AsTot			1										8%
Benc										1			8%
EtilBenc										1			8%
COT				1								1	17%
COT2			1										8%
MOT							1		1		1		25%
S			1				1						17%
HAP				1				1		1			25%
HAL										1			8%
HAT										1			8%
HCT		1						1	1				25%
Cu			1	1	1								25%
Pb				1						1			17%
Ni				1						1			17%
TN										1			8%
Xi										1			8%
V				1						1			17%
CCH												1	8%
CMF	1	1	1			1	1			1	1		58%
GMF				1									8%
GRAN									1				8%
AG	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		83%
AMG	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		83%
AM	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	92%
AMF	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	92%
AF	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	92%
FA				1									8%
LG					1							1	17%
LA	1	1	1		1	1			1	1	1		67%
Arena			1										8%
Grava			1		1					1			25%
Fango			1		1		1						25%
Guij					1					1			17%
M	1	1	1	1		1	1	1	1		1		75%
M2				1			1		1		1		33%
DEGI	1	1	1	1		1	1	1	1		1		75%
SK1	1	1	1	1		1	1	1	1		1		75%
Curt								1					8%
Tipo								1					8%
Tip_M	1	1	1	1		1					1		50%
Tip_DEGI	1	1	1	1		1					1		50%
Tip_Sk1	1	1	1	1		1					1		50%

Los resultados del análisis estadístico efectuado para hidrografía, muestran una consistencia en la serie temporal, con alta variabilidad por campaña, y valores que oscilan entre mínimos de 12ºC y máximos de 22ºC (**Figura 277**). Para el caso de Oxígeno disuelto (**Figura 278**), se observa igualmente una alta variabilidad al interior de cada campaña, con niveles que oscilan entre 2 y 12 mg/L.

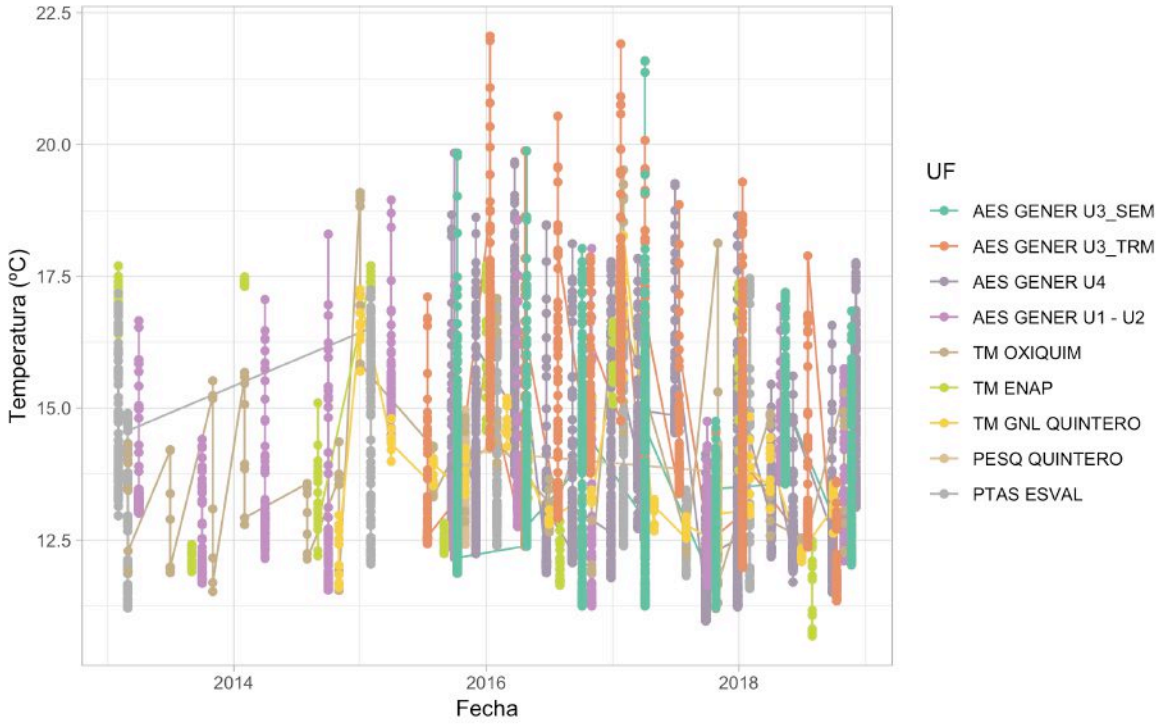


Figura 277. Serie temporal de temperatura por UF entre 2013 y 2018 y serie de temperaturas corregida.

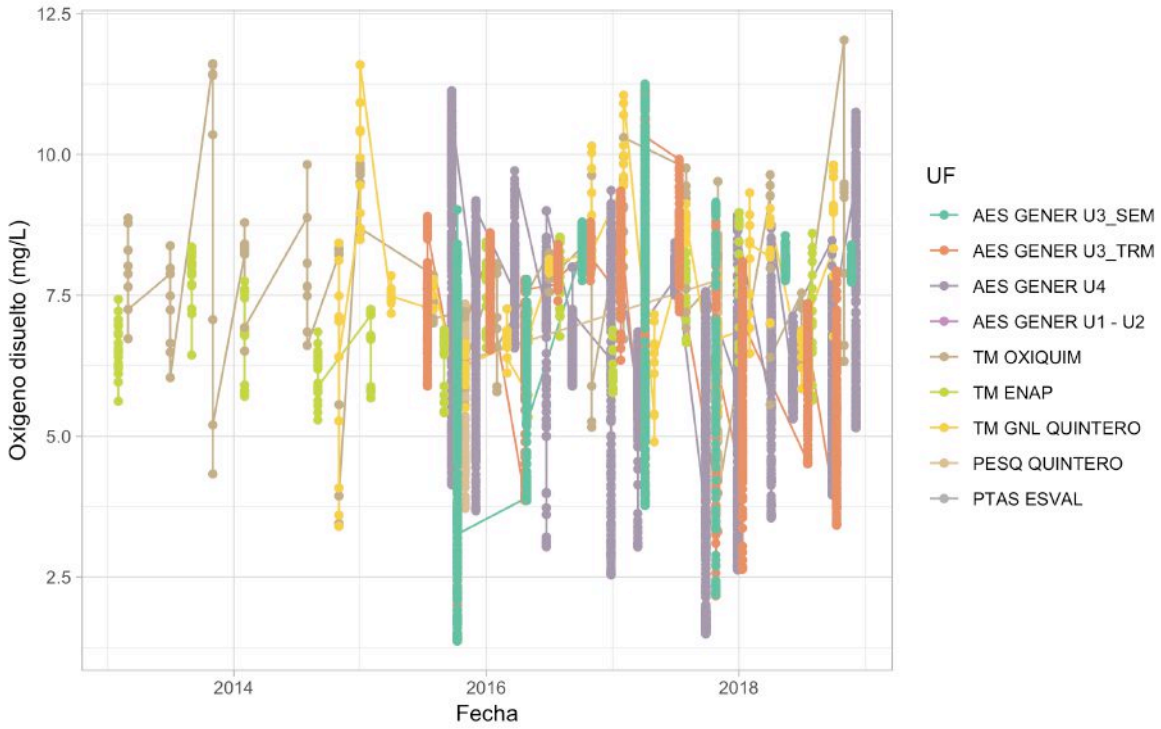


Figura 278. Serie temporal de oxígeno disuelto por UF entre 2013 y 2018.

El resultado del GLM indica que, para ambas variables, todas las fuentes de variación analizadas resultaron estadísticamente significativas (**Tabla 123**). Para Temperatura la principal fuente de variación correspondió al Trimestre (19% DE) y secundariamente la UF (3,1% DE). Para el caso del Oxígeno disuelto los resultados indican que la principal fuente de variación corresponde al efecto Año, que explica el 2,2% de la devianza, mientras que UF y Trimestre explican cerca del 1,8%. El análisis de efectos, indica que para todas las UF temperatura muestra niveles máximos en el primer trimestre, y mínimos en el tercer trimestre, destacando menores niveles de temperatura asociados a la UF ESVAL (**Figura 279**). Para el caso del Oxígeno disuelto (**Figura 280**), las mayores concentraciones se producen en el segundo trimestre y las menores en el cuarto trimestre, destacando mayores niveles de oxígeno en TM Oxiquim y menores en AES Gener U4.

Tabla 123. Resultado del GLM integrado para temperatura y oxígeno disuelto, subprograma hidrografía.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			12290		2.165,26		
Temp	UF	8	12282	67,47	2.097,79	0,0000	3,12
	Año	5	12277	30,72	2.067,07	0,0000	1,42
	Trimestre	3	12274	417,19	1.649,88	0,0000	**19,27**
			9860		5.348,77		
Odis	UF	6	9854	95,07	5.253,70	0,0000	1,78
	Año	5	9849	119,12	5.134,58	0,0000	**2,23**
	Trimestre	3	9846	98,03	5.036,54	0,0000	1,83

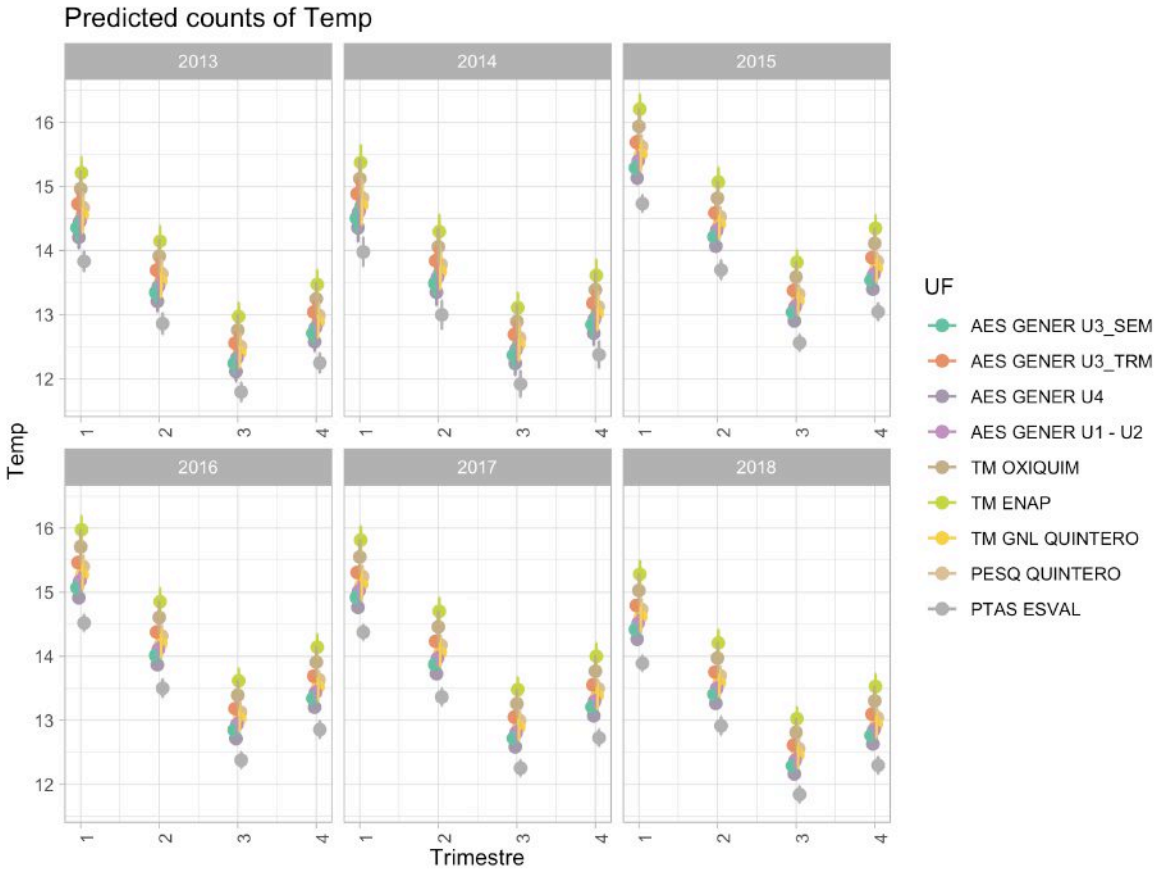


Figura 279. Análisis de efectos para UF y Trimestre, resultado del GLM integrado para temperatura, subprograma hidrografía.

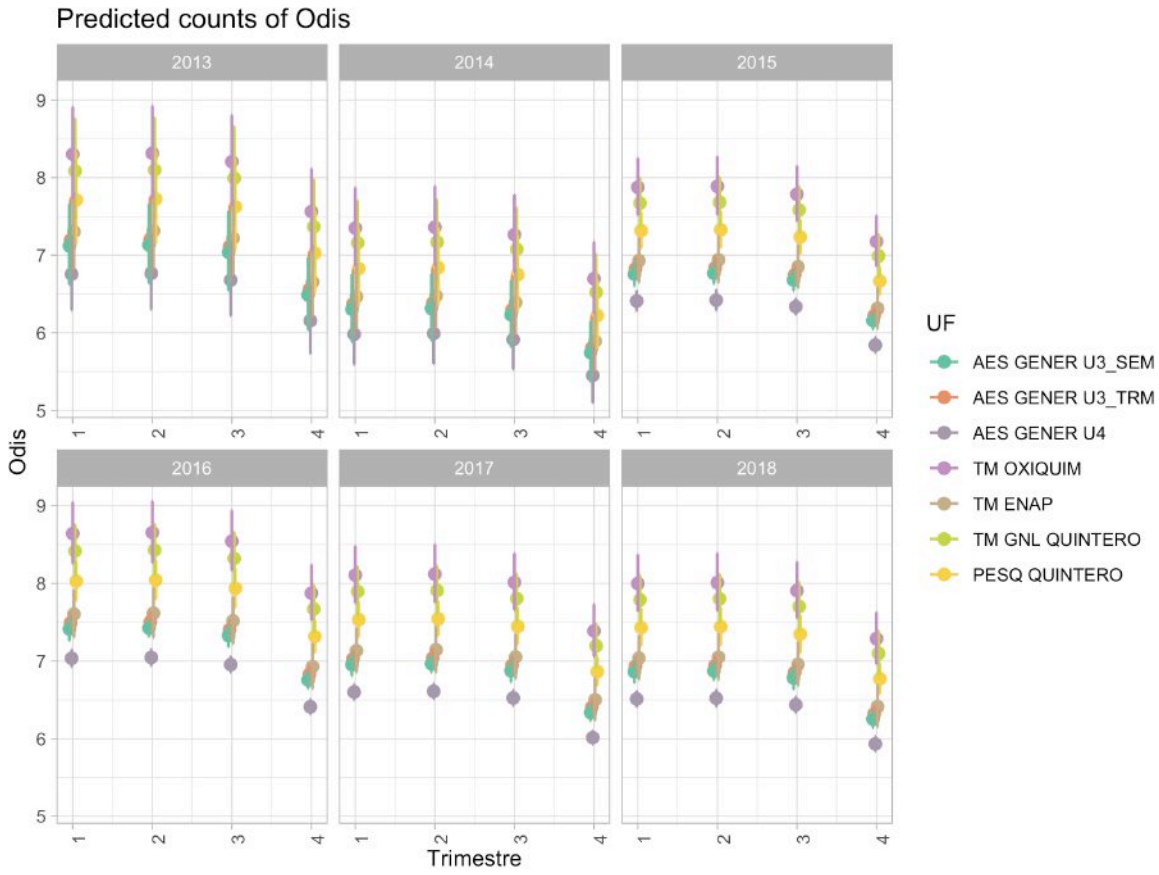


Figura 280. Análisis de efectos para UF y Trimestre, resultado del GLM integrado para oxígeno disuelto, subprograma hidrografía.

El análisis de los parámetros transversales para columna de agua muestra que, para el caso de Aceites y Grasas, HAT y HCT, la variabilidad observada se asocia principalmente con cambios en los límites de detección y que, en la mayoría de los casos, los valores registrados en cada campaña carecen de variabilidad (**Figuras 281, 282 y 283**). Sólo en el caso de HCT en AES Gener U4 se observa variabilidad, aspecto que fue descrito en la sección correspondiente a esta UF. Dada esta condición, estos 3 parámetros no fueron analizados mediante GLM.

Para el caso de Sólidos suspendidos (**Figura 284**), es posible observar que la UF AES Gener U1 - U2 muestra sistemáticamente concentraciones más altas, destacando la primera campaña del 2017 como la fecha en que se observó las mayores concentraciones y la mayor variabilidad.

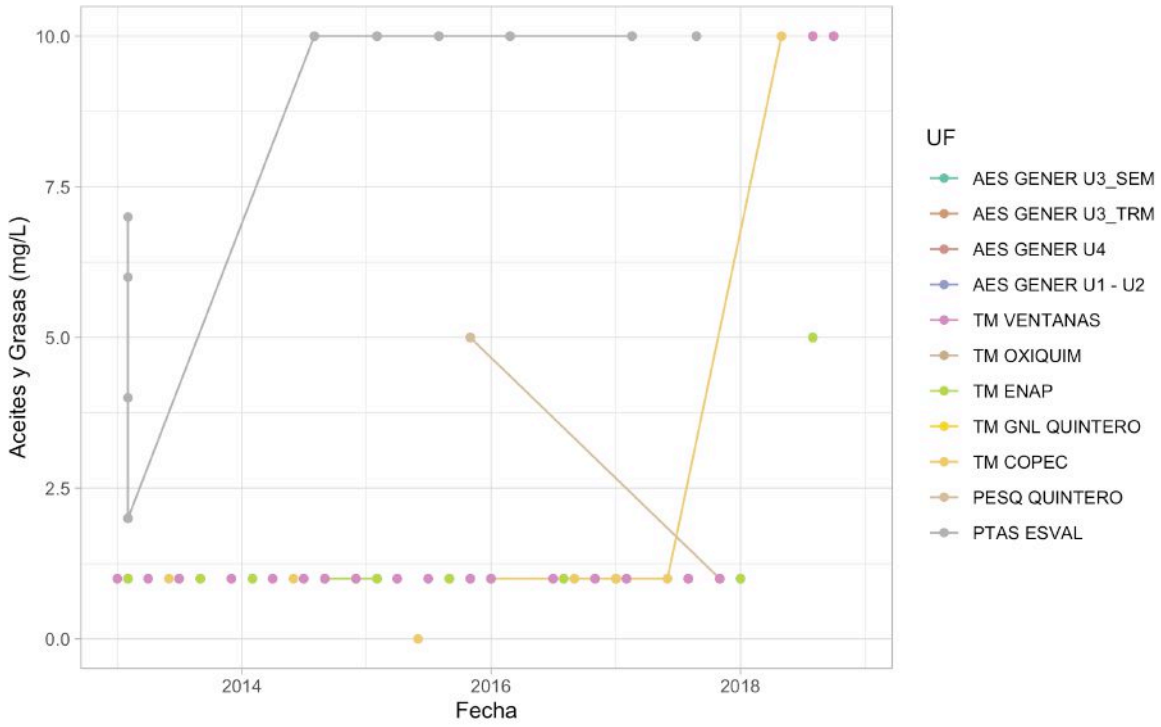


Figura 281. Serie temporal de Grasas y Aceites por UF entre 2013 y 2018.

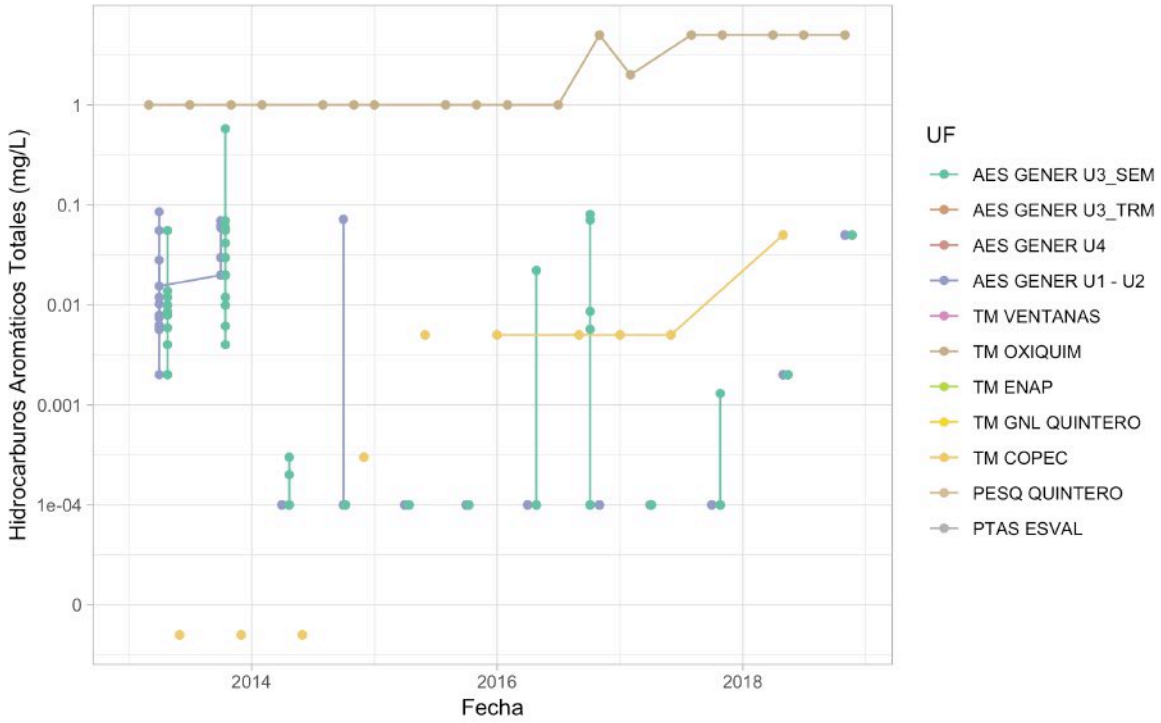


Figura 282. Serie temporal de HAT por UF entre 2013 y 2018.

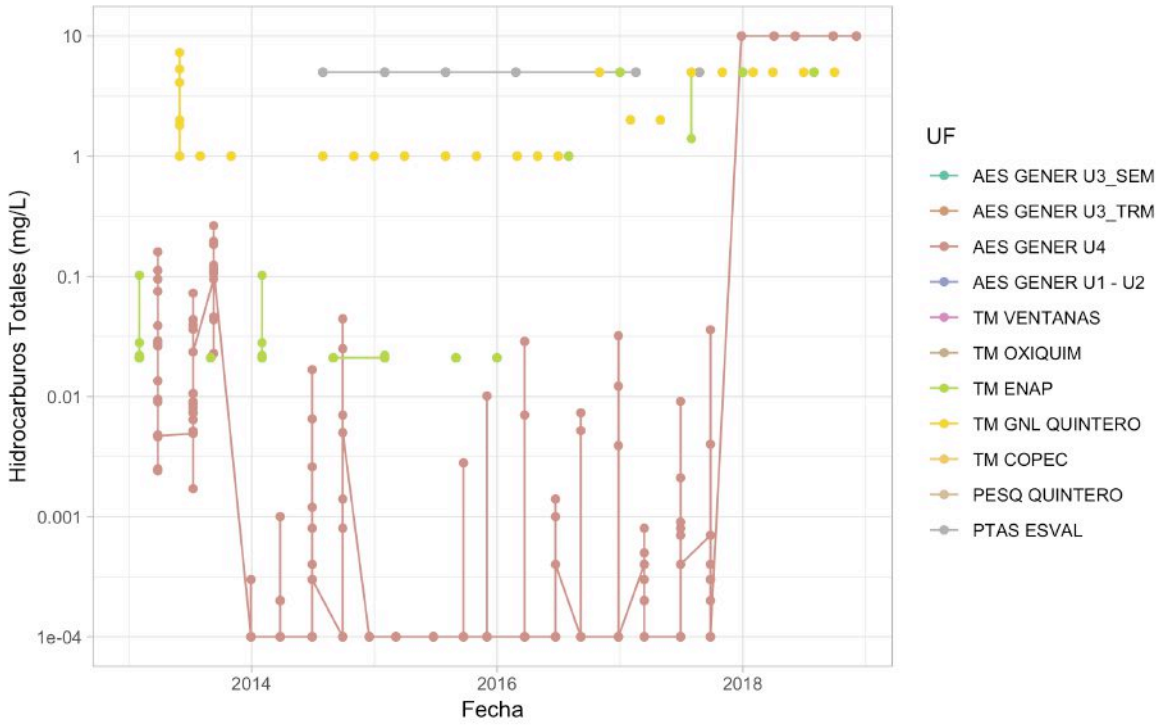


Figura 283. Serie temporal de HCT por UF entre 2013 y 2018.

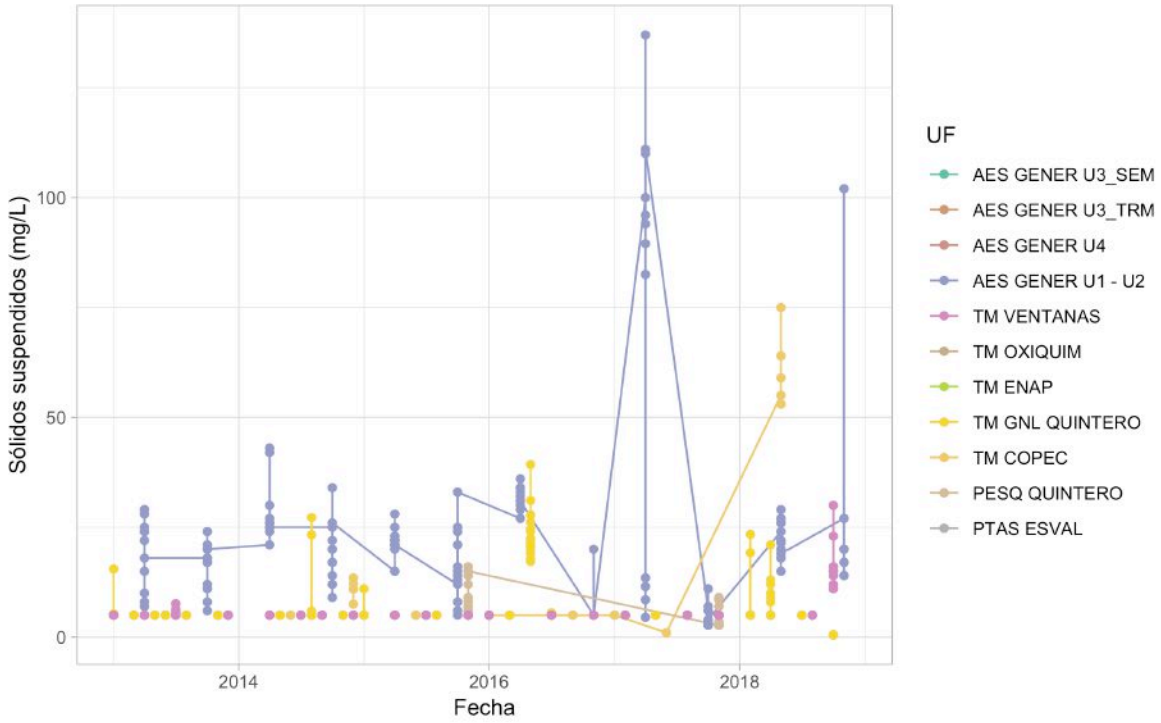


Figura 284. Serie temporal de Sólidos suspendidos por UF entre 2013 y 2018.

El resultado del GLM para Sólidos suspendidos indica que todas las fuentes de variación analizadas resultaron estadísticamente significativas y que la UF logra explicar un 44% de la variabilidad, mientras que el Trimestre explica un 7,8% (**Tabla 124**). El análisis de efectos (**Figura 285**) indica que, durante todo el periodo analizado, los monitoreos de AES Gener U1-U2 muestran concentraciones más elevadas de Sólidos suspendidos, destacando el segundo trimestre como la estación del año donde se observan las mayores concentraciones, particularmente durante el año 2018.

Tabla 124. Resultado del GLM integrado para sólidos suspendidos, subprograma calidad de agua.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			802		7.487,8		
Ssus	UF	4	798	3.309,5	4.178,3	0,0000	**44,2**
	Año	5	793	234,9	3.943,4	0,0000	3,14
	Trimestre	3	790	581,1	3.362,3	0,0000	7,76

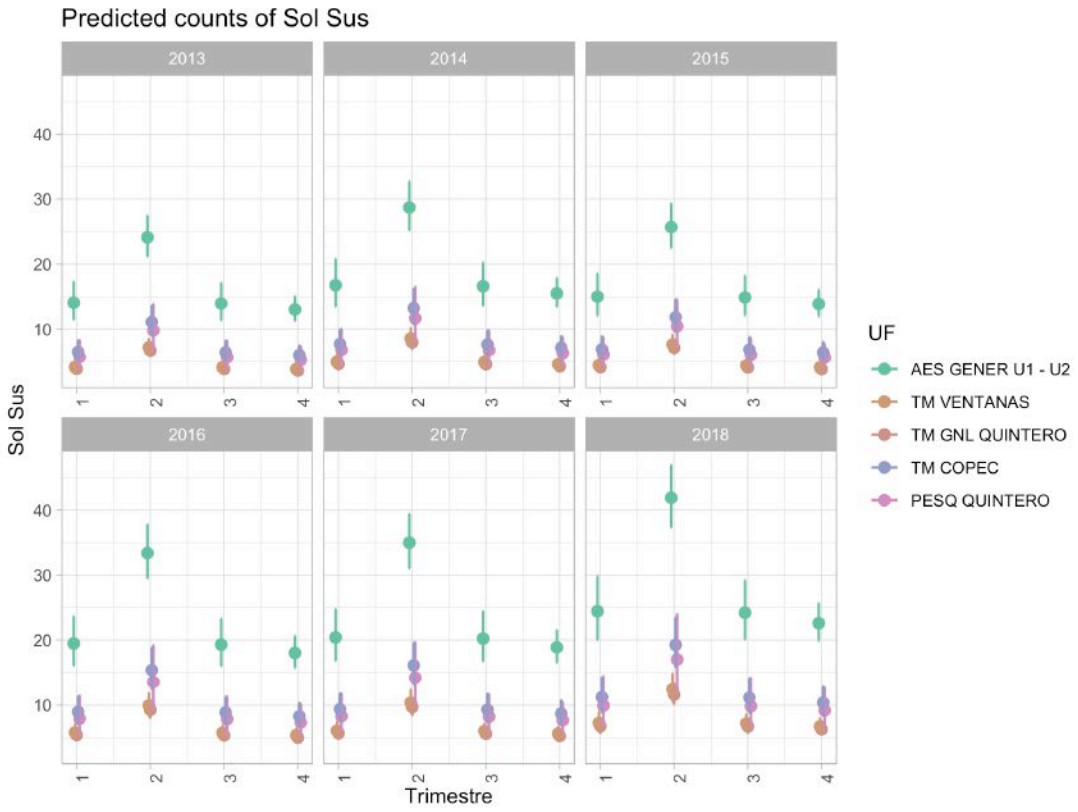


Figura 285. Análisis de efectos para UF y Año, resultado del GLM integrado para sólidos suspendidos, subprograma calidad de agua.

Para sedimentos, el análisis de la granulometría indica entre CT AES GENER y TM GNL Quintero predominan los sustratos de arenas finas (AF) y arenas medias finas (AMF), observándose la aparición de limos y arcillas en TM COPEC entre 2015 y 2016, y una importante proporción de Arenas Medias (AM) en 2017 (**Figura 286**). En el caso de la UF Pesq Quintero, sólo existen 2 años con monitoreos dentro de la serie, pero en ambos casos se aprecia una mayor variabilidad en la composición granulométrica, destacando la presencia de arenas Medias (AM) y Guijarros (GUI). La composición de sedimentos en ESVAL muestra una mayor proporción de arenas muy finas (AMF), particularmente durante el 2018.

El tamaño promedio de grano (M) muestra una alta variabilidad al interior de cada UF, destacando mayores tamaños de grano en el caso de los registros de Pesquera Quintero, lo que respalda los resultados del análisis de tipo de grano (**Figura 287**). Los menores tamaños de grano se observan en el PSBQ de ENAP.

El resultado del GLM efectuado para el tamaño de grano revela que los efectos Año y UF mostraron diferencias significativas, destacando que la UF logra explicar el 32% de la variabilidad observada en la base de datos (**Tabla 125**). El análisis de efectos confirma las observaciones previas y revela la marcada diferenciación producida por el mayor tamaño de grano observado en los monitoreos de Pesquera Quintero (**Figura 288**).

Al graficar estos resultados en cada una de las estaciones de muestreo (**Figura 289**), se observa claramente mayores tamaños de grano frente a Pesquera Quintero, predominancia de granos más finos (arenas muy finas y fango) al centro de la Bahía y una mayor mezcla de tipos de grano frente a Puerto Ventanas, confirmando los hallazgos observados a partir de los análisis estadísticos efectuados.

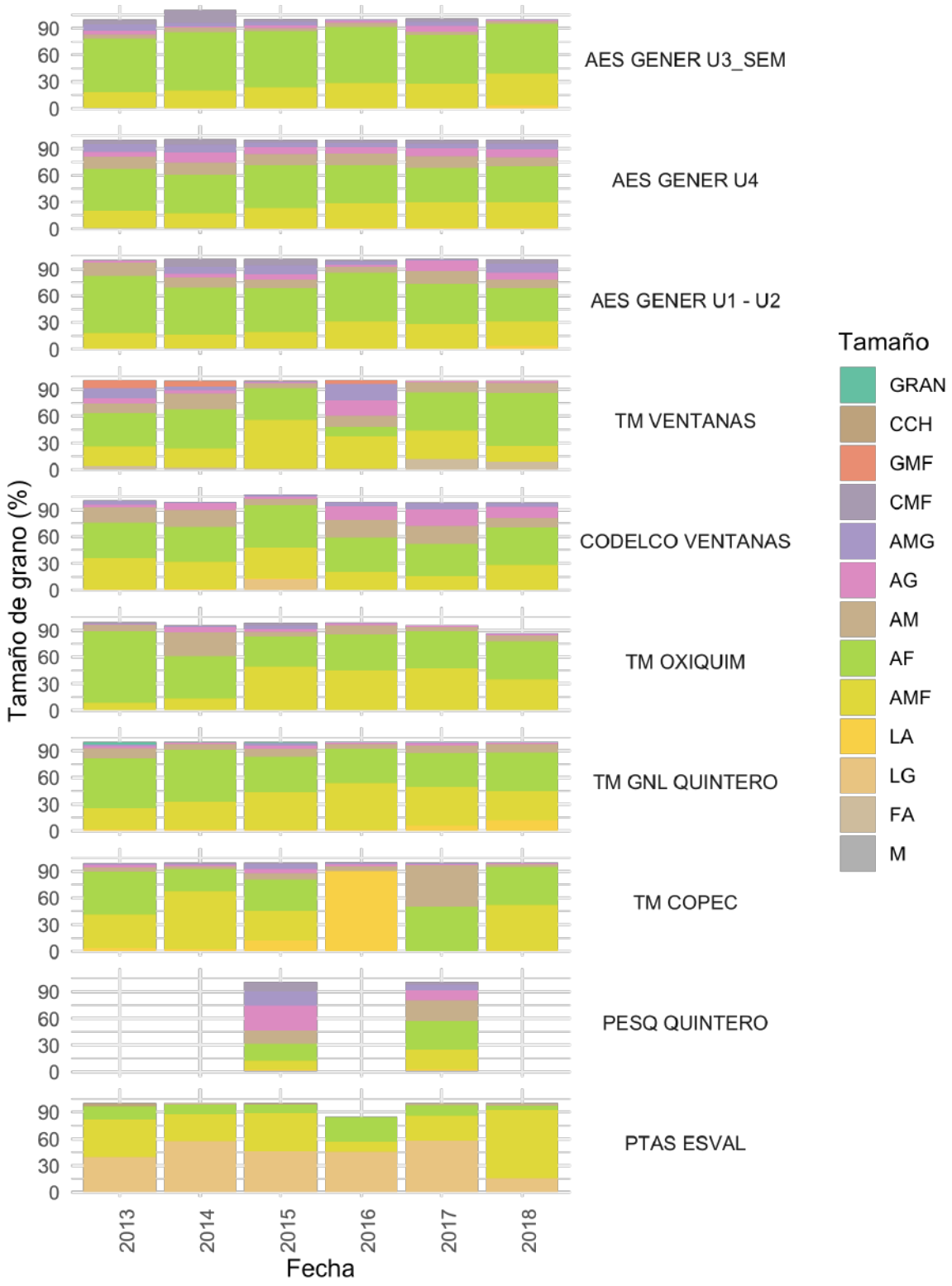


Figura 286. Granulometría promedio por Año y UF observada entre 2013 y 2018 en Bahía Quintero.

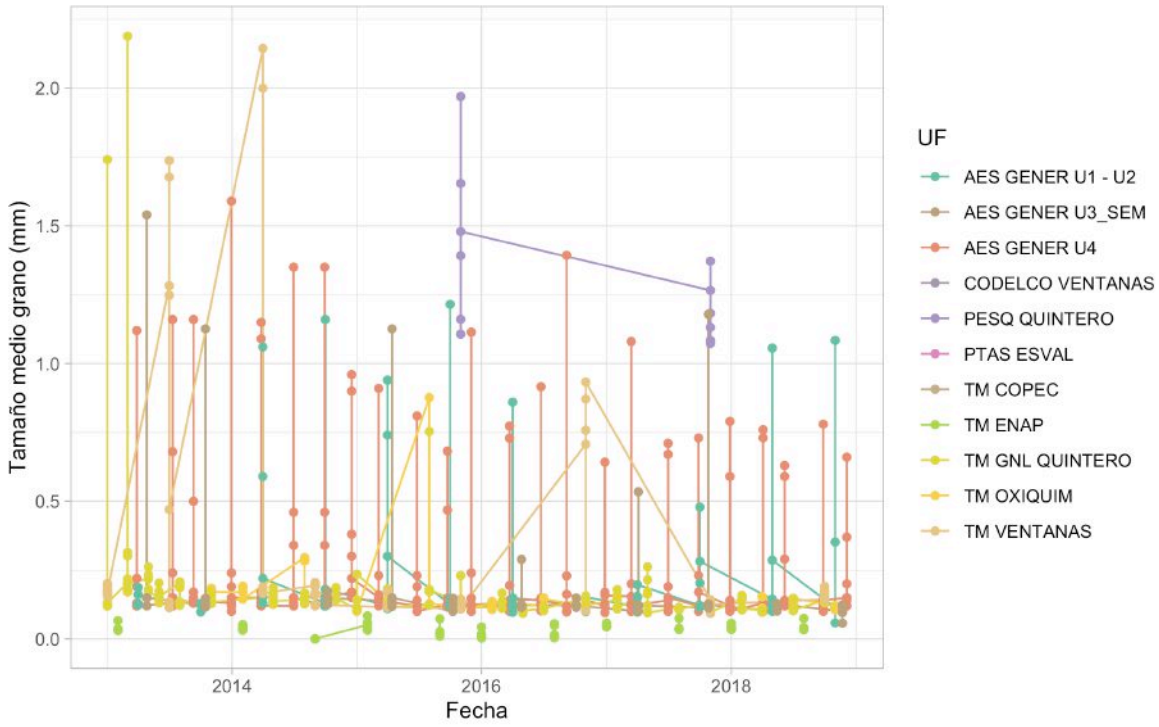


Figura 287. Tamaños medio de grano observados por campaña de muestreo y UF en Bahía Quintero.

Tabla 125. Resultado del GLM integrado para tamaño medio de grano, subprograma calidad de sedimentos.

Parámetro	Fte. Variación	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			739		179,3		
M	UF	7	732	57,6	121,6	0,0000	**32,15**
	Año	5	727	5,8	115,8	0,0004	3,26
	Trimestre	3	724	0,5	115,3	0,5972	0,27

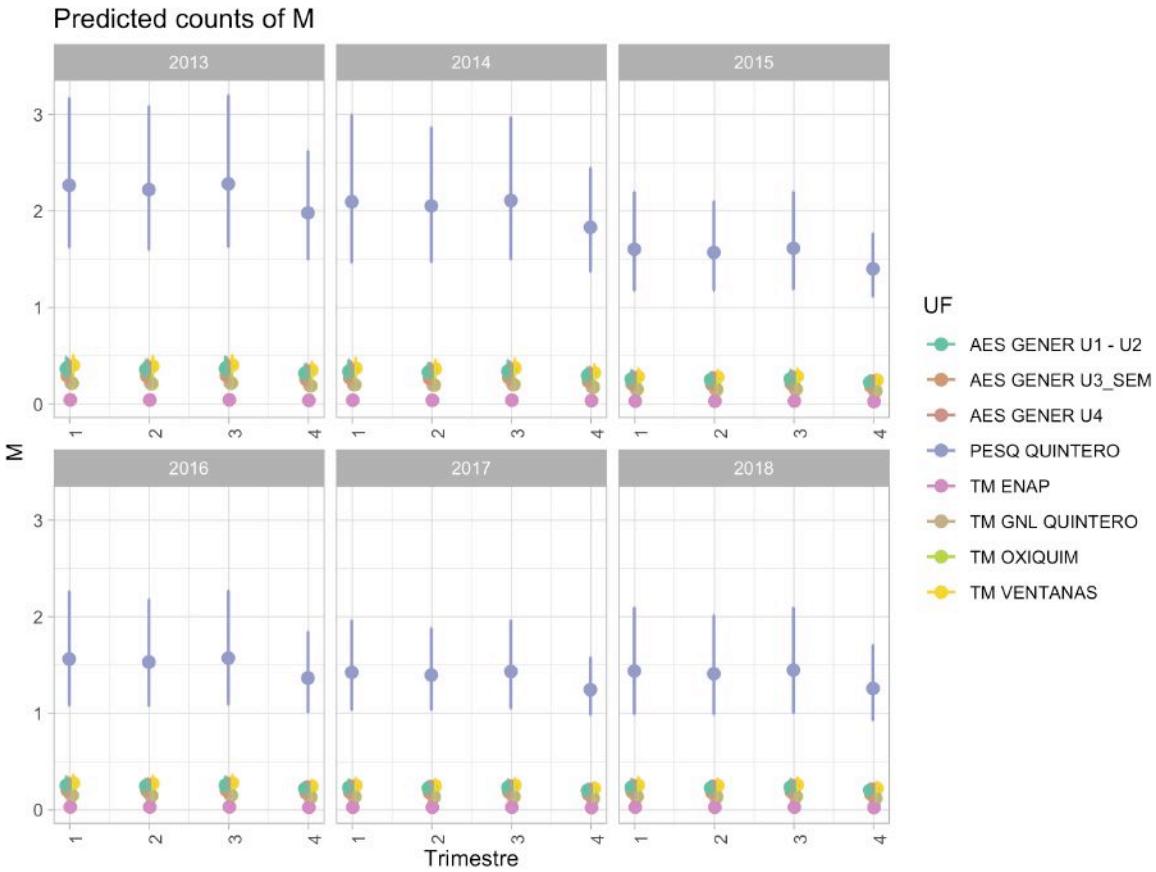


Figura 288. Análisis de efectos para UF y Año, resultado del GLM integrado para tamaño medio de grano, subprograma calidad de sedimentos.

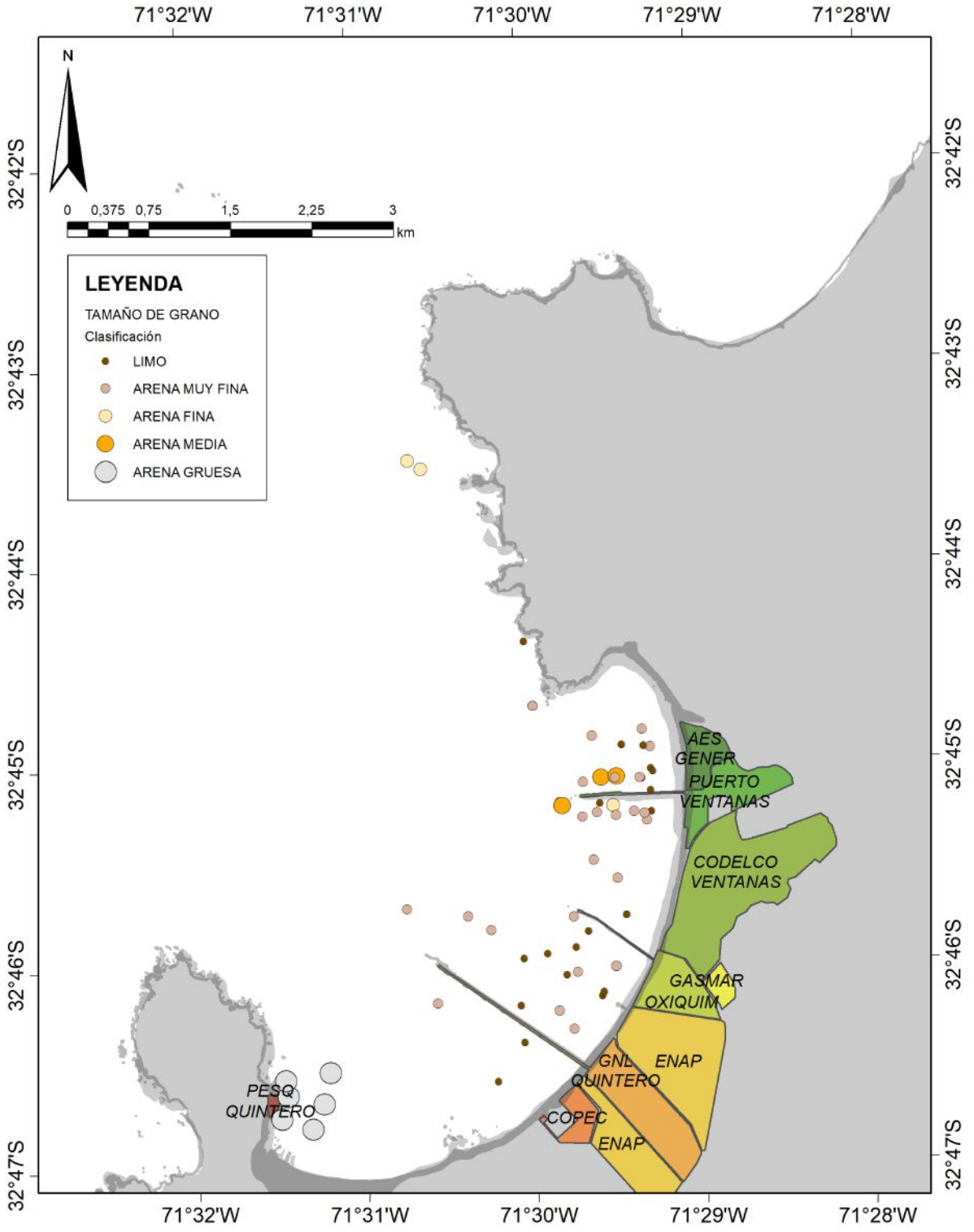


Figura 289. Tipos de grano por estación de muestreo observados en Bahía Quintero. El tamaño promedio corresponde al promedio observado entre los años 2017 y 2019. Subprograma calidad de sedimentos.

Como una manera de evaluar de manera integrada los resultados del análisis de macrofauna bentónica, y considerando los problemas en cuanto a la identificación taxonómica detallados para cada una de las UF, se optó por efectuar un análisis comparativo entre los resultados de los índices riqueza y diversidad de especies para toda la bahía.

Los resultados de un GLM que considera los factores espaciales UF y Estación de muestreo como fuentes de variación y los índices riqueza y diversidad de especies como variables dependientes (se han descartado los factores temporales Año y Trimestre como fuentes de variación, ya que en este caso la frecuencia y periodos de muestreo son demasiado diferentes entre UF), revela que ambos factores alcanzan significancia estadística, tanto para riqueza como para diversidad de especies (**Tabla 126**). En el caso de la riqueza de especies, se observa que las fuentes de variación analizadas explican en conjunto el 33% de la variabilidad presente en las bases de datos, mientras que en el caso de la diversidad explican el 23%. Para ambas variables dependientes, el factor Estación logra explicar un mayor porcentaje de la variabilidad espacial que la UF, indicando que las variaciones al interior de las UF son de mayor importancia que las diferencias entre UF.

Tabla 126. Resultados de GLM para los índices comunitario riqueza y diversidad de especies de la macrofauna submareal. Fte. Variación: fuente de variación, g.l.: grados de libertad, g.l. residual: grados de libertad residual, Devianza: generalización de la suma de cuadrados en ajustes de máxima verosimilitud, valor-p: probabilidad asociada al estadístico Chi-cuadrado, %DE: porcentaje de devianza explicada por efecto.

Parámetro	Fte. Variacion	g.l.	g.l. residual	Devianza	Dev. Residual	valor-p	%DE
			595		2801,85		
S	UF	9	586	332,67	2469,18	0,0000	11,87
	Estación	54	532	605,01	1864,17	0,0000	**21,59**
			595		142,88		
H	UF	9	586	5,32	137,55	0,0005	3,73
	Estación	54	532	27,91	109,64	0,0000	**19,54**

El análisis de efectos (**Figura 290**) confirma estos resultados, observándose que las estaciones A4, B4, C1 y C4 (GASMAR) alcanzan los mayores niveles de riqueza y diversidad, mientras que las estaciones 1 a 7 (CODELCO) muestran los niveles más bajos.

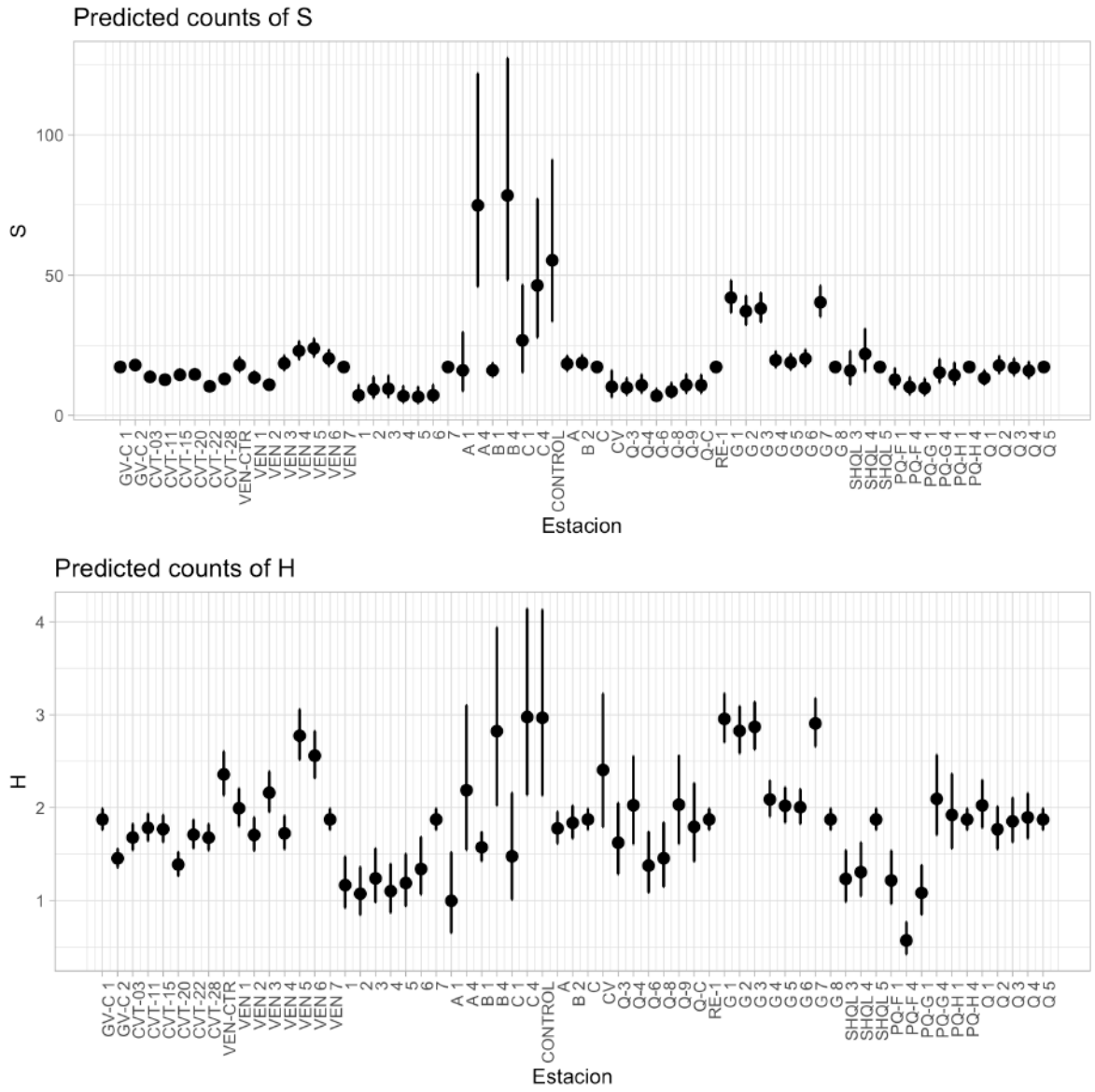


Figura 290. Análisis de efectos para fuentes de variación con mayor porcentaje de devianza explicada en el análisis de los índices comunitarios riqueza de especies (S) y diversidad de Shannon (H).

La disposición espacial de los valores promedio de riqueza y diversidad (**Figuras 291** y **292**), confirma estos hallazgos y permite observar que, en términos generales, los niveles más bajos de riqueza y diversidad de especies se ubican en aquellas estaciones de muestreo ubicadas en la zona central de la bahía, y específicamente en áreas más cercanas a la línea de costa y en profundidades inferiores a 10 m. Se destaca además que las estaciones de muestro ubicadas en

profundidades superiores a 10 m tienden a mostrar niveles de riqueza y diversidad superiores, independientemente del área de ubicación dentro de la bahía.

Se destaca que, aunque estos resultados pueden señalar la existencia de un patrón espacial en ambos índices, deben ser tomados con precaución en atención a que la identificación taxonómica arrojó fallas importantes en las diferentes UF. Adicionalmente, tampoco se tiene certeza de que las técnicas de muestreo y de análisis de laboratorio (identificación taxonómica) sean efectivamente similares entre las diferentes UF.

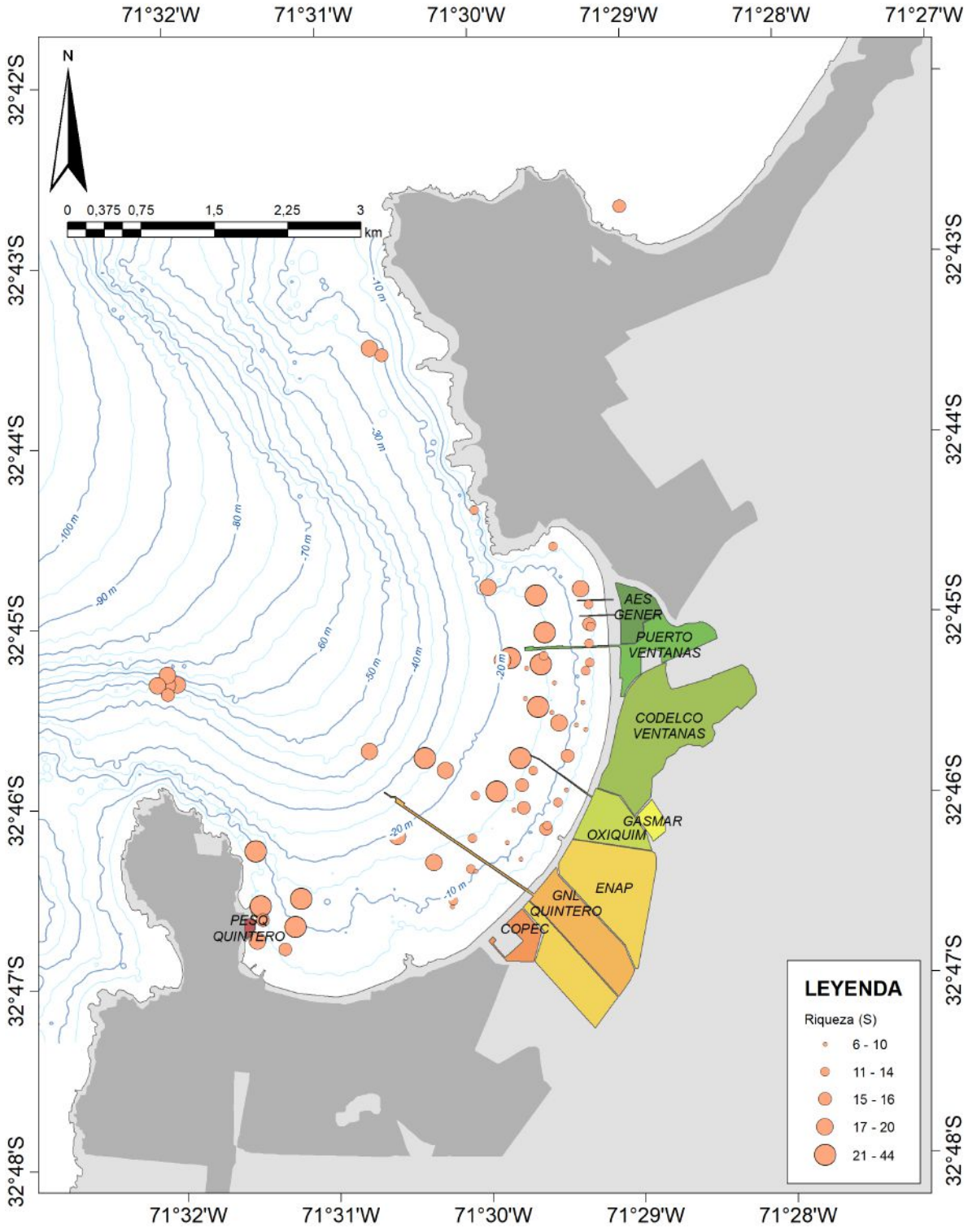


Figura 291. Riqueza promedio de especies por puntos de monitoreo de macrofauna submareal. El tamaño del círculo representa la riqueza promedio para todo el periodo analizado por estación de monitoreo.

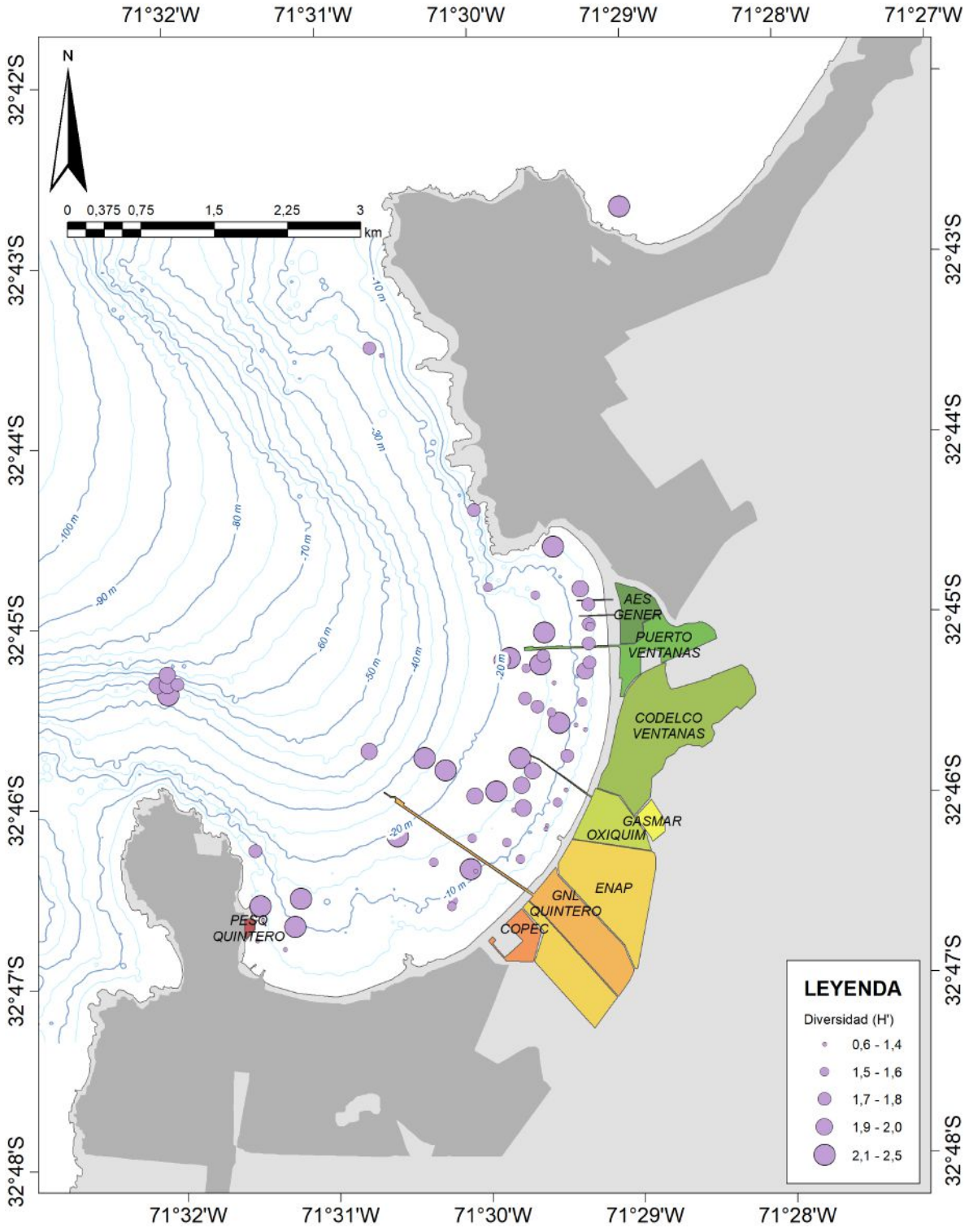


Figura 292. Diversidad promedio de especies por puntos de monitoreo de macrofauna submareal. El tamaño del círculo representa la diversidad promedio para todo el periodo analizado por estación de monitoreo.

De acuerdo a la información analizada, y en relación a las preguntas formuladas en la **Sección 4.1.4.**, respecto a la existencia de diferencias entre las concentraciones reportadas por las distintas UF, o bien la existencia de tendencias de mediano plazo en las concentraciones analizadas, sólo las variables hidrográficas temperatura y oxígeno disuelto; sólidos suspendidos en agua de mar, y tamaño medio del grano en sedimentos, mostraron niveles de transversalidad moderados a altos entre las UF analizadas (>55%) (**Tablas 120** a **122**) y por lo tanto, permitieron el análisis de patrones.

La temperatura fue un parámetro altamente transversal, medido en el total del UF analizadas (**Tabla 120**). Del total de UF analizadas, PTAS ESVAL tiende a mostrar temperaturas más bajas que el resto de las UF, lo cual puede estar asociado a la ubicación de las estaciones, que en el caso de ESVAL tienen una mayor influencia oceanográfica, al estar localizadas en la punta sur de la bahía, a diferencia de las estaciones del resto de las UF, las cuales tienen una ubicación muy costera. Para todos los casos, ENAP presentó siempre temperaturas levemente superiores que el resto de las UF, en todo el periodo analizado (2013 y 2018). En todos los casos, existe una fuerte variabilidad asociada a la época del año, siendo el trimestre 1 (verano) el que presentó las mayores temperaturas y el trimestre 3 (invierno) el que mostró las temperaturas más bajas. Para este parámetro si bien se observaron diferencias significativas entre años, no se observan tendencias ascendentes o descendentes entre los años 2013 y 2018.

El oxígeno disuelto, fue un parámetro altamente transversal, medido en el 88% de las UF analizadas (**Tabla 120**). Para este parámetro, AES GENER U4, ubicada al norte de la bahía, tiende a mostrar niveles de oxígeno más bajos que el resto de las UF analizadas. Por otro lado, TM OXIQUIM mostró en todos los casos valores levemente mayores al resto de las UF analizadas. En todos los casos se observan diferencias entre épocas del año, donde el trimestre 4 (primavera) presenta niveles de oxígeno comparativamente menores a los registrados en otras épocas del año. En cuanto a tendencias de mediano plazo, se observa que los niveles de oxigeno disuelto son mayores en los años 2013 y 2016 con niveles máximos que alcanzan los 9 mg/L; y mas bajos en el año 2014 cuyos niveles no superan los 8 mg/L. Adicionalmente, a partir del año 2015, AES GENER U4 tiende a segregarse del resto de las UF, con menores niveles de oxigeno.

Para los parámetros medidos en agua de mar, el único que mostró una moderada transversalidad entre UF fueron los sólidos suspendidos, medidos en el 55% de las UF analizadas (**Tabla 121**). Para este parámetro AES GENER U1 y U2, ubicada al norte de la bahía, tiende a mostrar niveles

de sólidos suspendidos más altos que el resto de las UF analizadas. Por otro lado, TM VENTANAS y GNL QUINTERO mostraron en todos los casos valores menores que el resto de las UF. Se observan, además, diferencias entre épocas del año, donde el trimestre 2 (otoño) presenta niveles de sólidos suspendidos comparativamente mayores a los registrados en otras épocas del año. En cuanto a tendencias de mediano plazo, se observa que los niveles de sólidos suspendidos son menores entre los años 2013 y 2015 con valores que oscilaron mayormente entre 5 y 30 mg/L; mientras que, a partir del año 2016, los niveles oscilaron entre 10 y 40 mg/L, observándose una tendencia ascendente hacia los últimos años de la serie.

Para los parámetros medidos en sedimentos, el único que mostró alta transversalidad entre UF fue el tamaño medio del grano, medido en el 75% de las UF analizadas (**Tabla 122**). Para este parámetro PESQUERA QUINTERO, ubicada en la sección sur de la bahía, tiende a mostrar tamaños de grano comparativamente mayores que en el resto de las UF analizadas (**Figura 289**). Para este parámetro, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre épocas del año. No obstante, en cuanto a tendencias de mediano plazo, se observaron mayores tamaños de grano en los años 2013 y 2014 con tamaños en torno a 2 mm, y sólo para PESQUERA QUINTERO. Para este parámetro la posición geográfica define el tamaño de grano, lo que se refleja en que la principal fuente de variación esta asociada a la UF, observándose que los tamaños de grano registrados en la parte sur de la bahía son mayores a los ubicados en la secciones norte y centro de Bahía Quintero.

5.5 OE 2. Comparación crítica de los datos reportados en los Informes PSBQ con datos reportados por otros estudios.

5.5.1 Análisis de las Bases de Datos del POAL Bahía Quintero

Dada la heterogeneidad observada en las bases de datos del POAL en cuanto a las estaciones monitoreadas y los parámetros medidos a través del tiempo (1993 a 2018), el análisis efectuado, se presenta por subprograma y por periodo de análisis.

5.5.1.1 Ubicación y diseño de muestreo

En las **Figura 293 a 296** se entrega el posicionamiento de las estaciones de monitoreo del POAL entre los años 1993 y 2018. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar para el agua submareal y sedimentos submareales que existe una alta heterogeneidad en los diseños de estos programas a través de los años (**Figura 293 y 294**). En el caso de los sedimentos intermareales, existe un solo periodo de monitoreo correspondiente al año 2018 (**Figura 295**), con 4 estaciones ubicadas al norte y centro de la bahía, y ausencia de puntos en la parte sur de la bahía. Finalmente, la biota intermareal ha sido evaluada históricamente en dos estaciones de monitoreo diferentes en todo el período analizado (1993 a 2017), localizadas en el sur de la bahía (**Figura 296**), y ausencia de puntos en el lado norte de Bahía de Quintero.

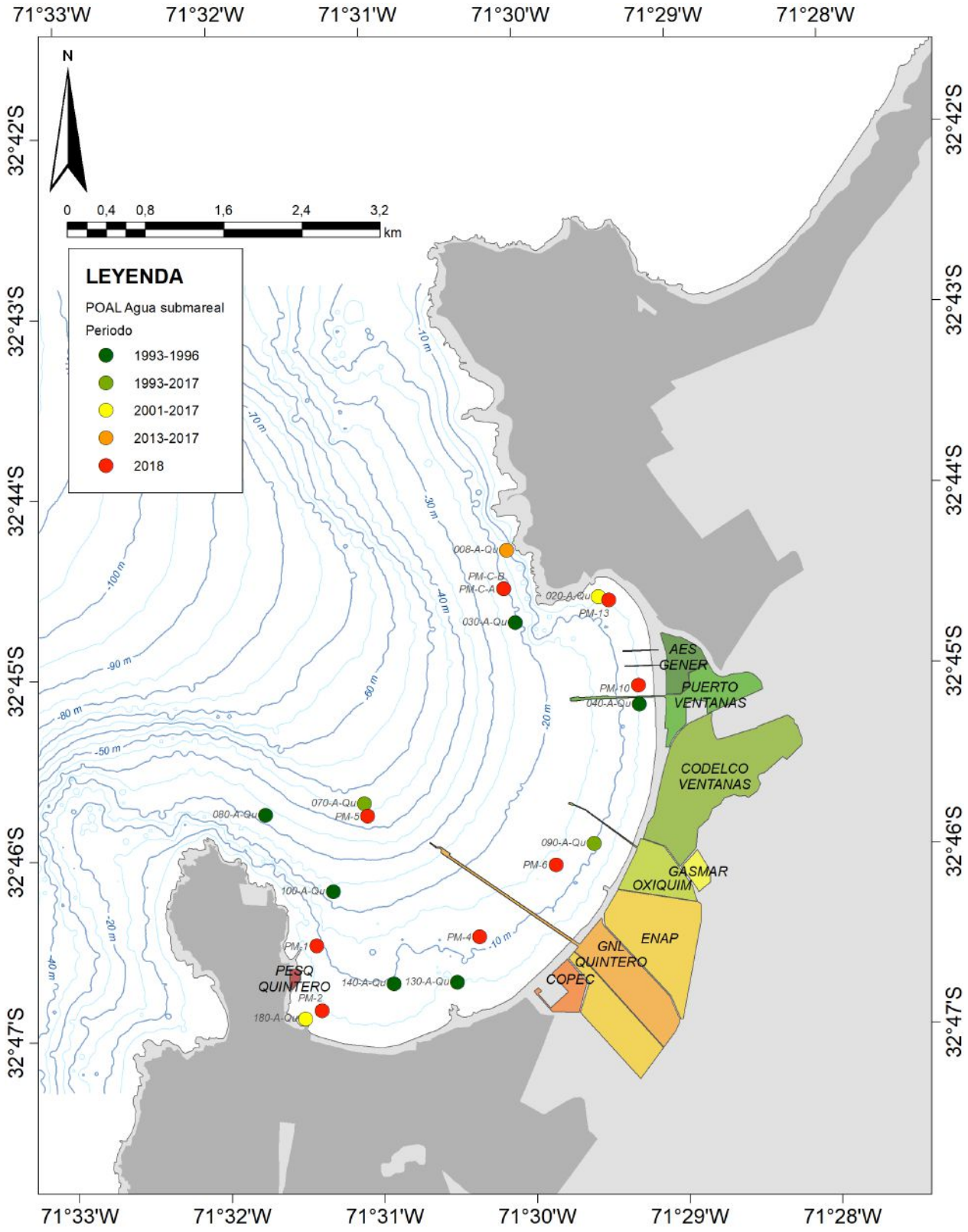


Figura 293. Ubicación y puntos de monitoreo de agua submareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018.

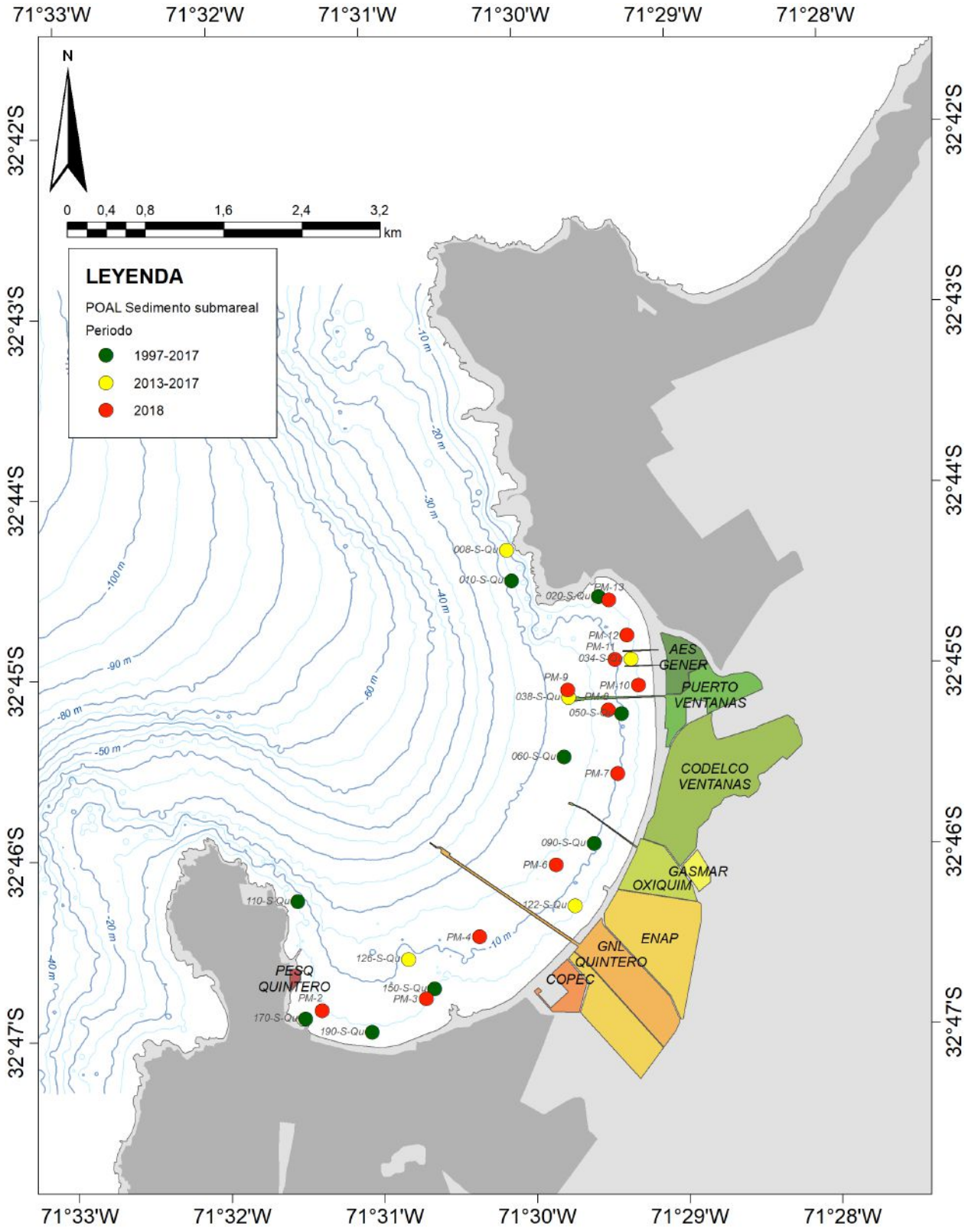


Figura 294. Ubicación y puntos de monitoreo de sedimento submareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018

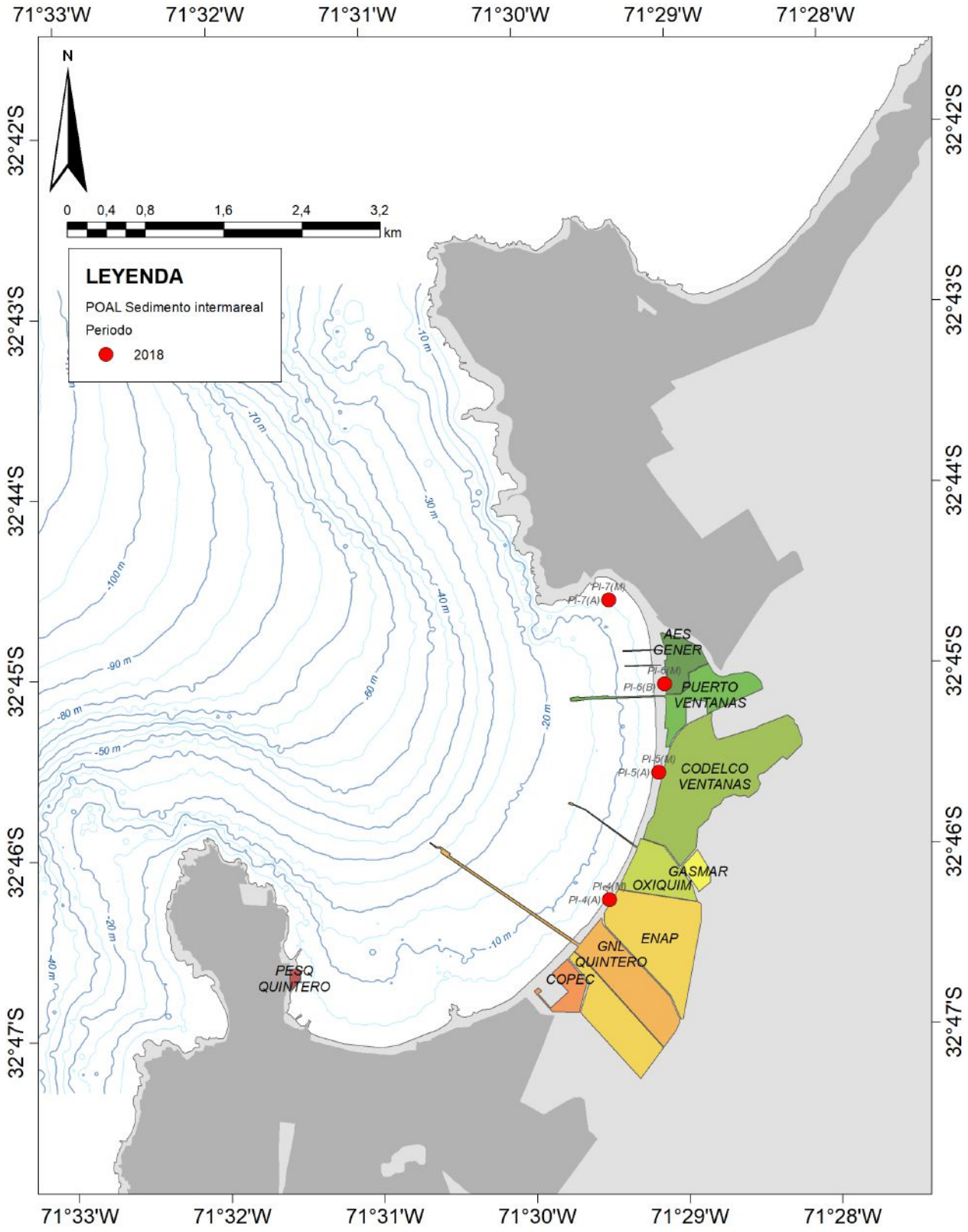


Figura 295. Ubicación y puntos de monitoreo de sedimento intermareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018

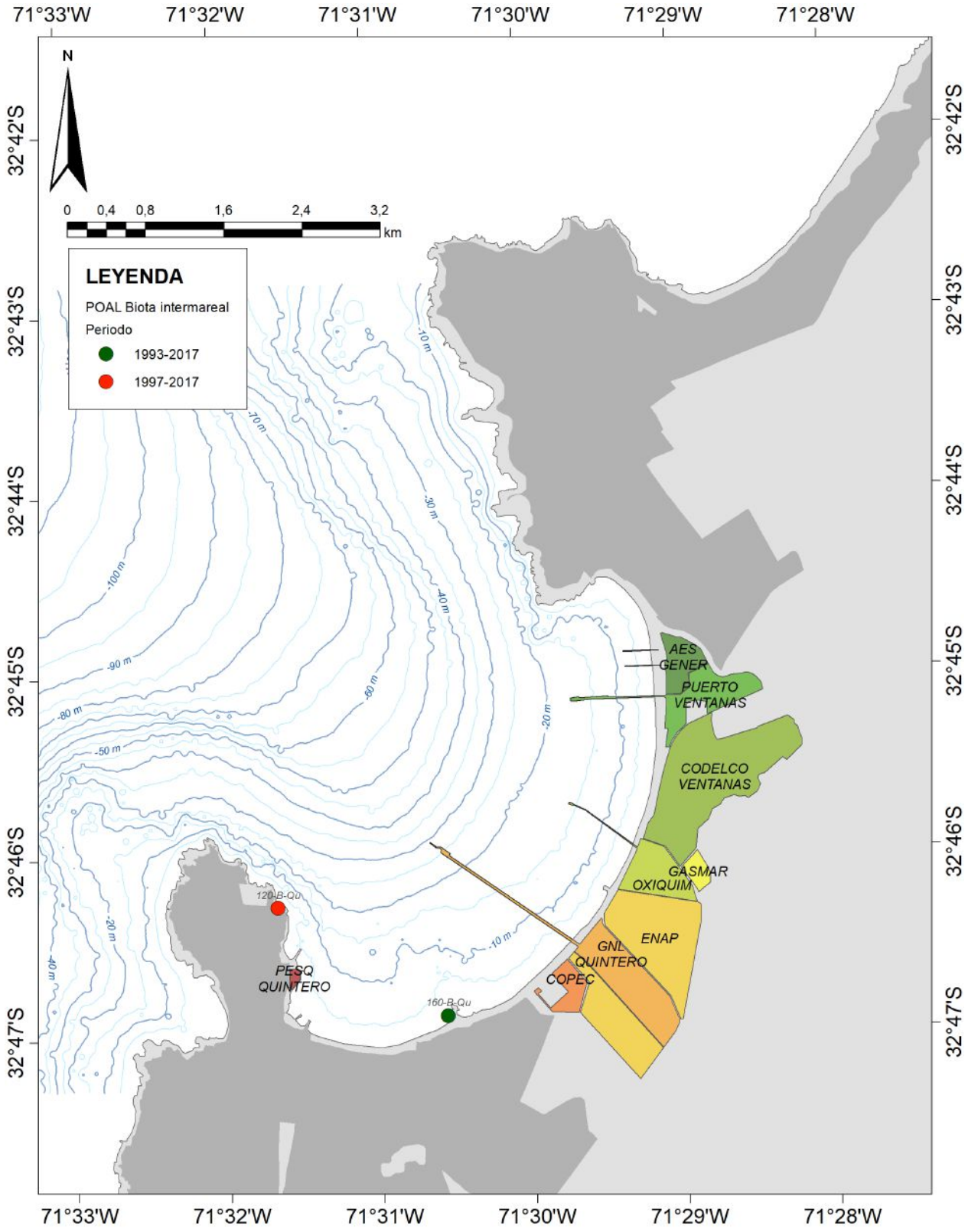


Figura 296. Ubicación y puntos de monitoreo de biota intermareal en el POAL, entre los años 1993 y 2018.

5.5.1.2 Matrices, parámetros y estaciones analizadas

5.5.1.2.1 Agua submareal

En la **Tabla 127**, se entrega una síntesis de los periodos que contempla el POAL, en bahía Quintero, observándose la existencia de 6 periodos diferentes, de acuerdo a los parámetros monitoreados y de las estaciones consideradas. En términos generales, los parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, han fluctuado entre máximos de 33 parámetros (periodo 2013-2017) y mínimos de 11 parámetros (periodo 2018). En cuanto a las estaciones, éstas han oscilado entre mínimos de 2 estaciones (periodo 1997-2000) y máximos de 9 estaciones (periodo 2018).

Tabla 127. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en agua submareal.

PERIODOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	ESTACIONES
1993-1996	15	8
1997-2000	14	2
2001-2006	15	4
2007-2011	30	4
2013-2017	33	5
2018	11	9

5.5.1.2.2 Sedimento submareal

En la **Tabla 128**, se entrega una síntesis de los periodos que contempla el POAL, en bahía Quintero, observándose la existencia de 3 periodos diferentes, de acuerdo a los parámetros monitoreados y de las estaciones consideradas. En términos generales, los parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, para este subprograma, han fluctuado entre mínimos de 13 parámetros (periodo 1997-2011) y máximos de 38 parámetros (periodo 2018). En cuanto a las estaciones, éstas han oscilado entre mínimos de 9 estaciones (periodo 1997-2011) y máximos de 14 estaciones (periodo 2013-2017).

Tabla 128. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en sedimento submareal.

PERIODOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	ESTACIONES
1997-2011	13	9
2013-2017	22	14
2018	38	11

5.5.1.2.3 Sedimento intermareal

En la **Tabla 129**, se entrega una síntesis de los periodos que contempla el POAL, en bahía Quintero, observándose en este caso sólo 1 periodo de monitoreo, correspondiente sólo a 1 campaña efectuada en noviembre de 2018. En términos generales, los parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, para este subprograma, corresponden a 33 parámetros y 12 estaciones.

Tabla 129. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en sedimento intermareal.

PERIODOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	ESTACIONES
2018	33	12

5.5.1.2.4 Biota

En la **Tabla 130**, se entrega una síntesis de los periodos que contempla el POAL, en bahía Quintero, observándose la existencia de 2 periodos diferentes, de acuerdo a los parámetros monitoreados y de las estaciones consideradas. En términos generales, los parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, para este subprograma, han fluctuado entre máximos de 12 parámetros (periodo 1994-2011) y mínimos de 6 parámetros (periodo 2013-2017). En cuanto a las estaciones, éstas se han mantenido en 2, durante todo el periodo analizado.

Tabla 130. Periodos de análisis considerados en POAL, bahía Quintero, en biota.

PERIODOS DE ANÁLISIS	PARÁMETROS	ESTACIONES
1994-2011	12	2
2013-2017	6	2

5.5.1.3 Estadística descriptiva

5.5.1.3.1 Agua submareal

Periodo 1993-1996

Durante este primer periodo, se analizó un total de 15 parámetros (**Tabla 131**). En este periodo, no se informan los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo tanto, no es posible identificar qué parámetros presentan determinaciones bajo los LD. Se destacan los parámetros, cadmio total, coliformes fecales, coliformes totales, nitrógeno amoniacal, amonio y zinc total por presentar altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 131**). La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 131**.

Tabla 131. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados, periodo 1993-1996.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
CdTot	ug/L	71	0,1	2,29	0,27352	0,34856	127%	0,5259	0,0000	-
ColFec	NMP/100 ml	71	1,8	790	39,8479	135,72	341%	0,3118	0,0000	-
ColTot	NMP/100 ml	71	2	2400	127,801	421,058	329%	0,3392	0,0000	-
CrTot	ug/L	71	12	134	51,1549	20,8256	41%	0,8084	0,0000	-
CuTot	ug/L	71	0,5	16,28	3,51352	2,93431	84%	0,8161	0,0000	-
HgTot	ug/L	71	0,045	0,588	0,12449	0,1155	93%	0,7299	0,0000	-
N_Amon	mg/L	71	0,01	0,84	0,05451	0,09891	181%	0,3154	0,0000	-
N_NO3	mg/L	70	0,15	1,04	0,50571	0,10846	21%	0,8668	0,0000	-
NH4	mg/L	71	0,013	1,08	0,06985	0,12697	182%	0,3116	0,0000	-
NO2	mg/L	70	0,005	0,036	0,01457	0,00665	46%	0,9162	0,0002	-
NO3	mg/L	70	0,66	4,6	2,23114	0,47574	21%	0,8604	0,0000	-
NTK	mg/L	63	0,64	2,81	1,50095	0,52997	35%	0,9400	0,0041	-
PbTot	ug/L	71	0,12	6,52	1,53831	1,37862	90%	0,7986	0,0000	-
PTot	mg/L	71	0,04	0,56	0,16056	0,11838	74%	0,7610	0,0000	-
ZnTot	ug/L	71	7,13	234,6	41,2182	46,1184	112%	0,6301	0,0000	-

En la **Figura 297** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 1993 y 1996, donde se puede apreciar que cadmio total, cromo total, nitrógeno amoniacal, amonio, presentan muy baja variabilidad entre estaciones de muestreo, sin observarse tendencias ascendentes o descendentes durante el periodo analizado. Para coliformes totales y fecales se observan algunos peaks asociados a campañas puntuales, lo cual podría estar asociado a la estación o

época del año. Finalmente, los parámetros cobre total, mercurio total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno-nitrato, nitrito, nitrato, nitrógeno total kjeldahl, plomo total, fósforo total y zinc presentan alta variabilidad entre estaciones de muestreo, aunque sin observarse tendencias ascendentes o descendentes durante el periodo analizado.

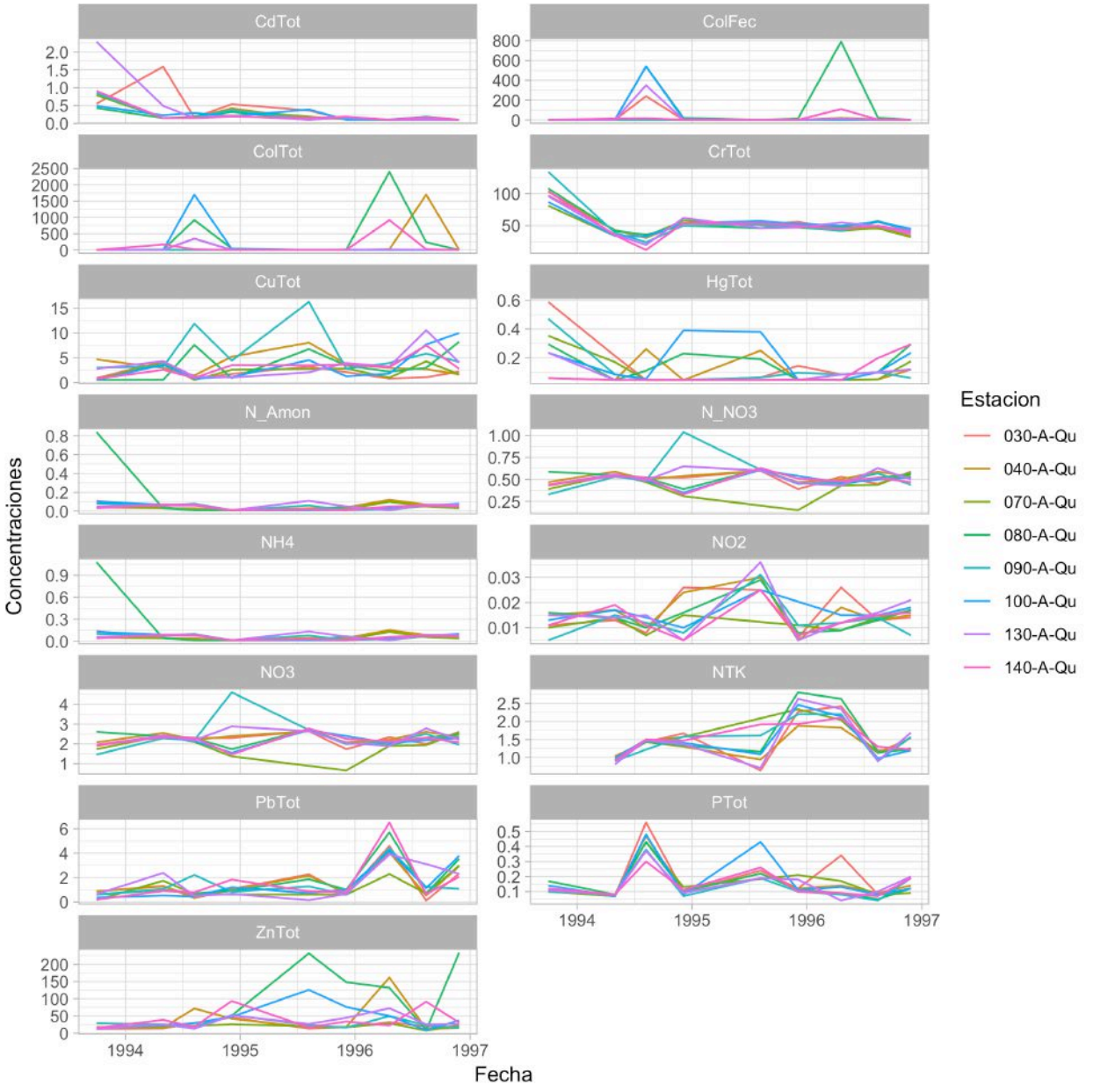


Figura 297. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 1993 y 1996.

Periodo 1997-2000

Durante este periodo, se analizó un total de 14 parámetros agua submareal. Durante este periodo, tampoco se informan los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo tanto, no es posible identificar qué parámetros presentan determinaciones bajo los LD. Excepto por cromo total, nitrógeno total kjeldahl y zinc total el resto de los parámetros presentan altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 132**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 132**.

Tabla 132. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 1997-2000.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AyG	mg/L	16	0,1	35,33	5,80813	11,4308	197%	0,5299	0,0000	-
CdTot	ug/l	16	0,03	5	1,41819	2,15856	152%	0,6239	0,0000	-
ColFec	NMP/100 ml	16	1,8	23	5,06875	6,53633	129%	0,5731	0,0000	-
CrTot	ug/L	16	10	129	49,9219	41,0552	82%	0,8662	0,0238	-
CuTot	ug/L	16	0,517	70	17,6387	25,6166	145%	0,6561	0,0001	-
HAPs	ug/L	16	0,01	0,991	0,1485	0,26805	181%	0,5348	0,0000	-
HgTot	ug/L	16	0,045	2,6	0,48606	0,69311	143%	0,6787	0,0001	-
NH4	mg/L	16	0,004	1,87	0,42794	0,62134	145%	0,7278	0,0003	-
NO3	mg/L	16	0,04	1,64	0,37988	0,43531	115%	0,7004	0,0002	-
NTK	mg/L	16	0,02	11,4	2,72819	2,64343	97%	0,7424	0,0005	-
PbTot	ug/L	16	0,012	30	8,19544	13,0456	159%	0,6032	0,0000	-
PO4	mg/L	16	0,005	0,47	0,13063	0,16419	126%	0,7060	0,0002	-
PTot	mg/L	16	0,002	0,38	0,09238	0,10675	116%	0,8101	0,0037	-
ZnTot	ug/L	16	1,24	50	18,4325	18,0947	98%	0,8309	0,0072	-

En la **Figura 298** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 1997 y 2000, donde se puede apreciar que el cobre plomo y cadmio total presentaron tendencias ascendentes, alcanzando máximos a fines del año 2000, mientras que para amonio y nitrógeno total kjeldahl, presentaron tendencias descendentes, con mínimos desde 1999. Para aceites y grasas, mercurio total. Los parámetros cromo total, coliformes fecales, nitrato, fosfato, fósforo total y zinc total presentaron una mayor variabilidad entre estaciones. Finalmente, para los aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y mercurio total se registraron algunos peaks de máxima variabilidad, entre los años 1998 y 1999.

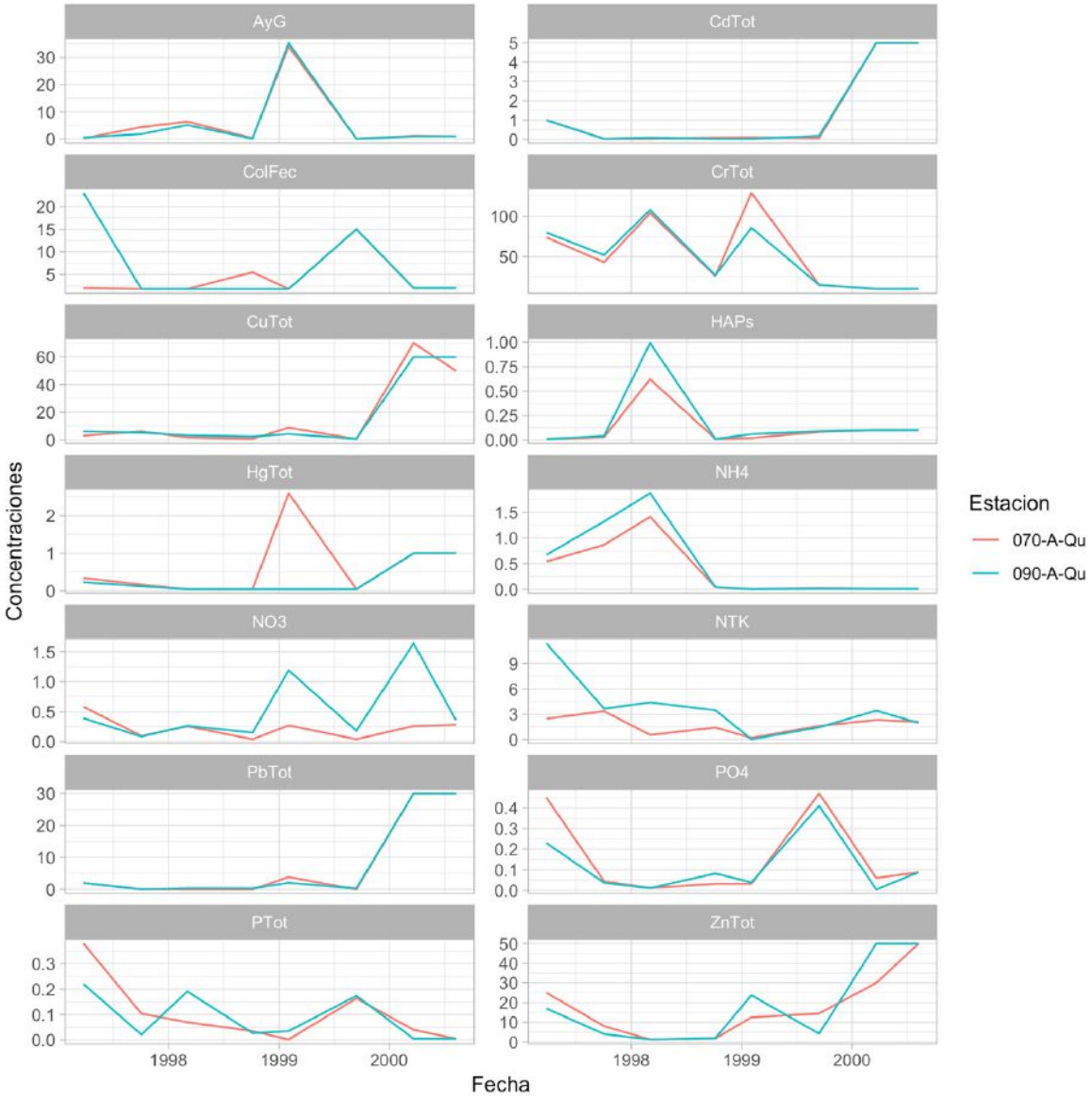


Figura 298. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 1997 y 2000.

Periodo 2001-2006

Durante este periodo, se analizó un total de 15 parámetros agua submareal. Durante este periodo, sólo los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 133**). Los parámetros cadmio total, coliformes fecales, cromo total, nitrógeno amoniacal, y plomo total presentan altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que únicamente los nitratos tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 133**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 133**.

Tabla 133. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2001-2006.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AyG	mg/L	48	5	35	9,6875	4,17773	43%	0,3756	0,0000	81%
CdTot	ug/L	48	0,03	10	2,95208	4,13886	140%	0,6288	0,0000	8%
ColFec	NMP/100 ml	48	1	80	4,60833	11,4554	249%	0,2467	0,0000	63%
CrTot	ug/L	48	0,11	50	15,6142	20,5669	132%	0,6781	0,0000	0%
CuTot	ug/L	48	0,07	13,75	5,00563	4,02608	80%	0,8638	0,0001	0%
HAPs	ug/L	44	0,04	12,59	9,61432	2,14961	22%	0,2785	0,0000	91%
HgTot	ug/L	48	0,14	1	0,8854	0,28578	32%	0,4276	0,0000	83%
N_NO3	mg/L	40	0,01	152	24,3378	50,4689	207%	0,5232	0,0000	0%
NH4	mg/L	48	0,05	0,36	0,0861	0,06018	70%	0,5998	0,0000	0%
NO3	mg/L	8	0,01	1,6	0,90125	0,59333	66%	0,8669	0,1407	0%
NTK	mg/L	48	0,07	0,9	0,35104	0,21328	61%	0,8442	0,0000	23%
PbTot	ug/L	48	0,25	50	15,2025	20,5189	135%	0,6469	0,0000	0%
PO4	mg/L	48	0,045	0,82	0,2026	0,0961	47%	0,2864	0,0000	83%
PTot	mg/L	48	0,061	0,597	0,21967	0,10353	47%	0,4765	0,0000	83%
ZnTot	ug/L	48	0,07	26	9,37042	7,16119	76%	0,8603	0,0000	0%

En la **Figura 299** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 2001 y 2006, donde se observa que los aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, mercurio total, fosfato y fósforo total presentaron niveles similares entre estaciones y se mantuvieron relativamente constantes. Para cadmio, cromo y plomo total, se observaron tendencias descendentes hacia el año 2006. Los coliformes fecales se mantuvieron relativamente constantes, con un peak en la estación 180-A-Qu. Finalmente, el cobre total, amonio, nitrógeno total kjeldahl y zinc total presentaron una mayor variabilidad entre campañas y estaciones de muestreo. Cabe destacar que, para el nitrato no fue posible observar tendencias, ya que durante este periodo solo se registran datos para el año 2001.

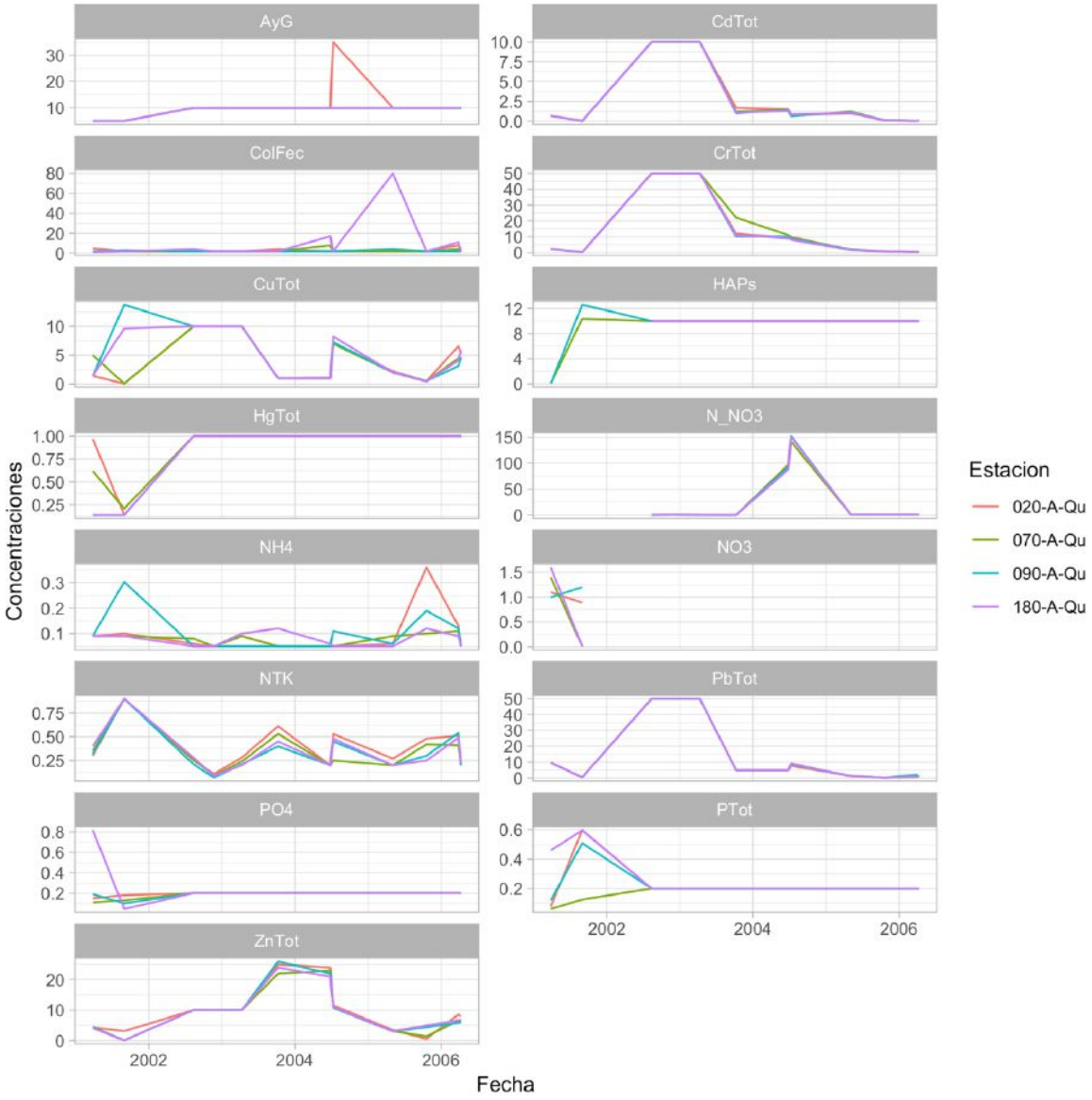


Figura 299. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2001 y 2006.

Periodo 2007-2011

Durante este periodo, se analizó un total de 30 parámetros, de ellos un 33%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 134**). Los parámetros coliformes fecales, cromo disuelto, cromo total, nitrógeno amoniacal, plomo

disuelto, plomo total, fósforo total y sólidos suspendidos totales, presentan altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 134**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 134**.

Tabla 134. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2007-2011.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AlDis	ug/L	21	0	0	0	0	-	-	-	100%
AyG	mg/L	72	5	8	5,20833	0,57989	11%	0,4135	0,0000	86%
CdDis	ug/L	72	0,05	0,31	0,07444	0,04645	62%	0,5952	0,0000	67%
CdTot	ug/L	72	0,05	0,35	0,10347	0,07487	72%	0,7477	0,0000	56%
ColFec	NMP/100 ml	72	1,8	130	5,925	16,5437	279%	0,2661	0,0000	65%
CrDis	ug/L	72	0,05	0,63	0,13875	0,17013	123%	0,5734	0,0000	68%
CrTot	ug/L	72	0,05	0,88	0,23153	0,24337	105%	0,7532	0,0000	56%
CuDis	ug/L	72	0,05	5,88	1,92667	1,63666	85%	0,9065	0,0001	14%
CuTot	ug/L	72	0,05	7,6	2,98667	2,05854	69%	0,9490	0,0055	11%
DBO5	mg/L	1	2	2	2	-	-	-	-	100%
DQO	mg/L	1	20	20	20	-	-	-	-	100%
FeDis	ug/L	21	0	0	0	0	-	-	-	100%
FeTot	ug/L	21	0	0	0	0	-	-	-	100%
HAPs	ug/L	72	0,1	0,1	0,1	0	0%	-	-	100%
HCT	mg/L	21	2,5	2,5	2,5	0	0%	-	-	100%
HgDis	ug/L	72	1	1	1	0	0%	-	-	100%
HgTot	ug/L	72	1	1	1	0	0%	-	-	100%
N_Amon	mg/L	8	0,04	0,04	0,04	0	0%	-	-	100%
N_NO3	mg/L	72	0,01	283	21,055	59,735	284%	0,3848	0,0000	1%
NH4	mg/L	64	0,04	0,13	0,04891	0,02212	45%	0,4656	0,0000	81%
NTK	mg/L	72	0,1	0,86	0,37139	0,17829	48%	0,9176	0,0002	4%
Odis	mg/L	72	7,65	10,5	8,29	0,84169	10%	0,6967	0,0000	0%
PbDis	ug/L	72	0,05	1,54	0,36986	0,44313	120%	0,7325	0,0000	60%
PbTot	ug/L	72	0,05	2,31	0,58431	0,72309	124%	0,7443	0,0000	56%
PO4	mg/L	72	0,15	0,87	0,19361	0,12648	65%	0,3697	0,0000	24%
PTot	mg/L	72	0,02	0,2	0,05042	0,057	113%	0,5760	0,0000	64%
SolDis	mg/L	72	34760	40905	37867,3	1626,38	4%	0,9391	0,0017	0%
SST	mg/L	72	1,5	63	16,1181	18,2262	113%	0,7123	0,0000	40%
ZnDis	ug/L	72	0,05	8,77	3,57889	2,76527	77%	0,9178	0,0002	14%
ZnTot	ug/L	72	0,05	13,57	4,71139	3,84552	82%	0,9229	0,0003	14%

En la **Figura 300** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 2007 y 2011, donde es posible apreciar que el aluminio disuelto, hierro disuelto, hierro total, hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos totales, mercurio disuelto y total presentaron niveles constantes en todas las estaciones y campañas de muestreo. Los parámetros aceites y grasas, cadmio disuelto y total, coliformes fecales, cromo disuelto y total, cobre disuelto y total, nitrógeno total kjeldahl, fósforo toral, sólidos disueltos, zinc disuelto y total, presentaron una alta variabilidad a largo del periodo de muestreo. Finalmente, los nutrientes nitrato y fosfato presentaron tendencias ascendentes a partir del año 2010, mientras que el amonio, oxígeno disuelto, plomo disuelto y plomo total tendieron a disminuir, alcanzando mínimos a partir del año 2009. Cabe destacar que, los parámetros DBO5, DBQ y nitrógeno amoniacal no presentaron variabilidad, debido a que sólo se dispone de un valor por estación. En todos los casos, las determinaciones estuvieron bajo los límites de detección de las técnicas de laboratorio.

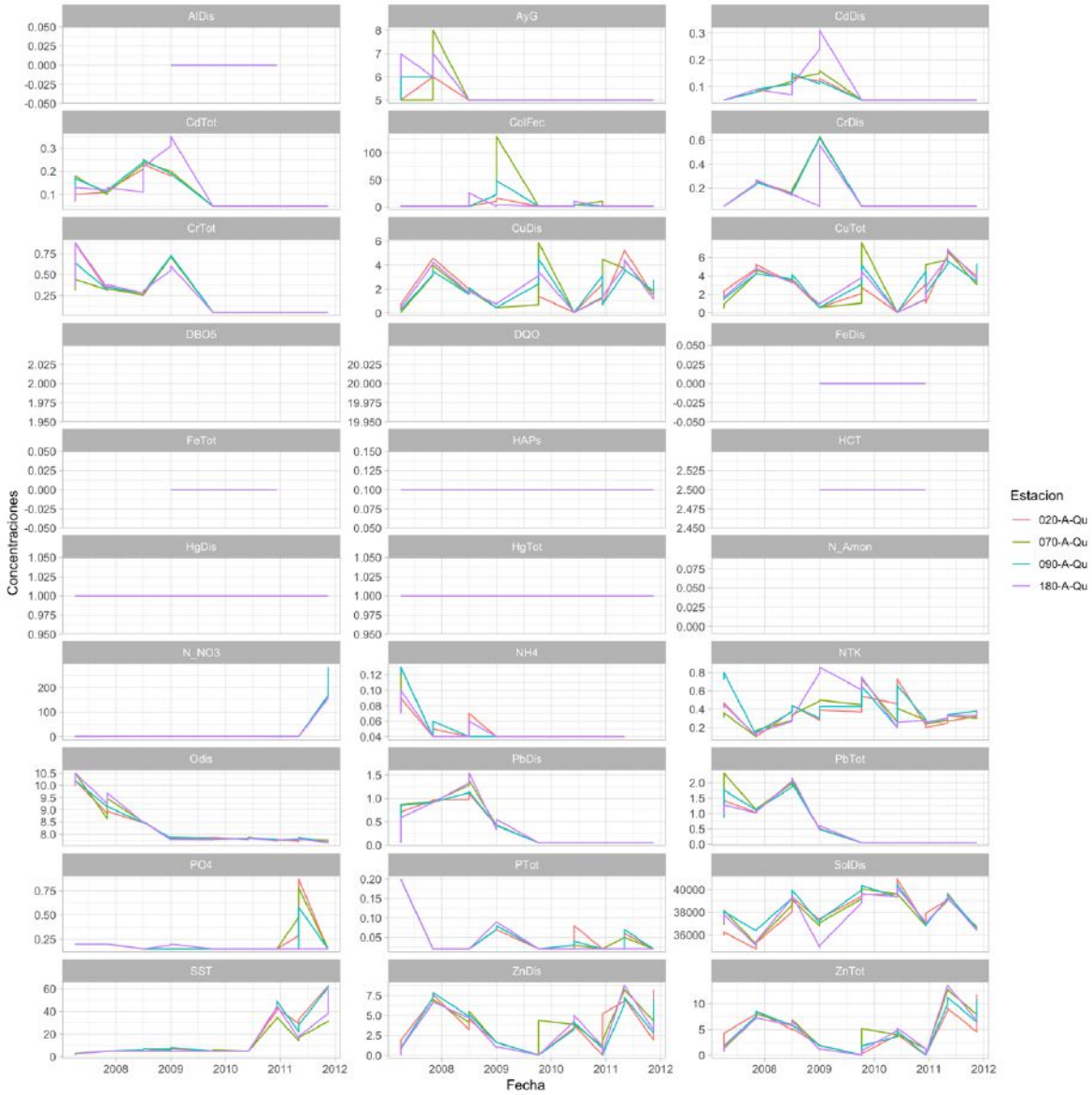


Figura 300. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2007 y 2011.

Periodo 2013-2017

Durante este periodo, se analizó un total de 33 parámetros, de ellos un 55%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 135**). Los parámetros oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales, presentan altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 135**). La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 135**.

Tabla 135. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2013-2017.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
Acen	ug/L	45	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
Ace-f	ug/L	25	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Antr	ug/L	45	0,1	0,1	0,10	0,00	0%	-	-	100%
AsDis	ug/L	45	0,5	0,5	0,50	0,00	0%	-	-	100%
Bzantra	ug/L	45	0,1	0,1	0	0	0%	-	-	100%
Bzflu	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Bzghip	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Bzkflu	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Bzpire	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
CdDis	ug/L	45	0,5	1	0,5556	0,1589	29%	0,3650	0,0000	11%
ColFec	NMP/100 ml	45	0,5	1,8	0,6444	0,4132	64%	0,3650	0,0000	11%
Crise	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
CuDis	ug/L	45	0,5	2	0,5778	0,2601	45%	0,3361	0,0000	9%
Dbzant	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Fe-n	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Flreno	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Flteno	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
HAPs	ug/L	15	1,00E-01	5,00E-01	0,3667	0,1952	53%	0,6034	0,0000	33%
HCT	mg/L	25	0,5	2,5	0,9000	0,8165	91%	0,4933	0,0000	20%
Hfij	mg/L	45	0,5	2,5	0,7222	0,6356	88%	0,3650	0,0000	11%
HgDis	ug/L	45	0,5	0,5	0,5000	0,0000	0%	-	-	100%
HV	mg/L	25	0,1	0,5	0,4200	0,1633	39%	0,4933	0,0000	20%
Indpir	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Nafta	ug/L	45	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
NH4	mg/L	40	0,05	0,5	0,4558	0,1206	26%	0,4095	0,0000	0%
NO2	mg/L	40	0,02	0,5	0,4280	0,1736	41%	0,4279	0,0000	15%
NO3	mg/L	40	0,5	2,73	0,7683	0,6588	86%	0,4511	0,0000	0%
Odis	mg/L	19	0,5	9	1,6842	2,8295	168%	0,4637	0,0000	0%
P_fosf	mg/L	30	0,129	0,5	0,4454	0,1256	28%	0,4702	0,0000	0%
PbDis	ug/L	45	0,5	2,5	0,7667	0,6876	90%	0,4024	0,0000	13%
Piren	ug/L	10	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
PO4	mg/L	10	0,5	0,5	0,5000	0,0000	0%	-	-	0%
SST	mg/L	45	0,5	20	2,4778	5,2299	211%	0,4229	0,0000	0%

En la **Figura 301** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 2013 y 2017, donde es posible apreciar que ninguno de los parámetros analizados registró variabilidad, sino que se mantuvieron relativamente constantes a lo largo de todo el periodo de muestreo.

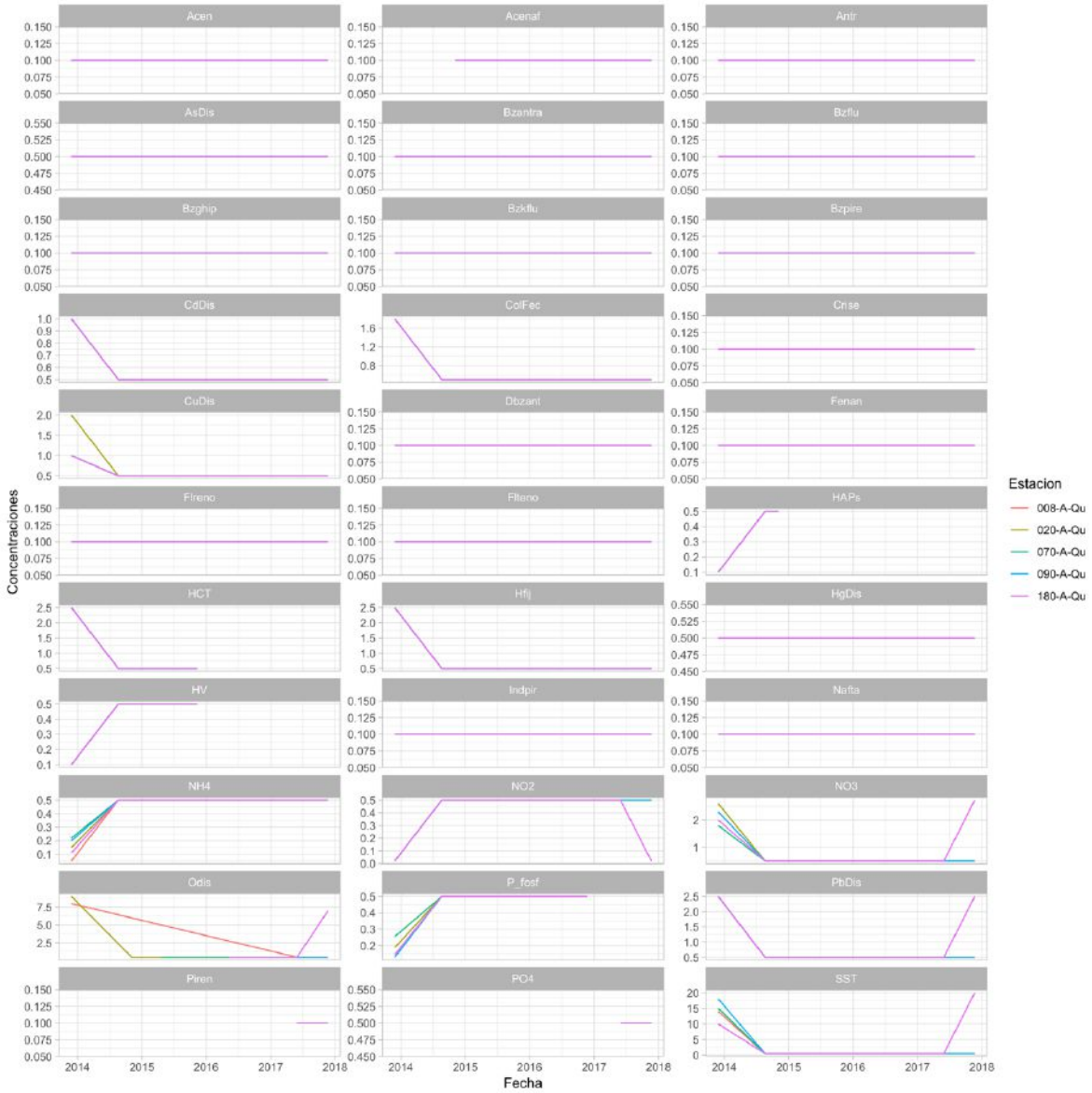


Figura 301. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en agua submareal, por estación, entre los años 2013 y 2017.

Periodo 2018

Durante este periodo, se analizó un total de 11 parámetros, de ellos un 36%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 136**). El parámetro arsénico disuelto, presentó altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 136**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 136**.

Tabla 136. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados periodo 2018.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AsDis	ug/L	9	0,5	15	3,27778	5,04425	154%	0,6509	0,0004	56%
CdDis	ug/l	9	0,05	0,05	0,05	0	0%	-	-	100%
CuDis	ug/L	9	0,25	0,25	0,25	0	0%	-	-	100%
DBO5	mg/L	9	5	6	5,11111	0,33333	7%	0,3898	0,0000	89%
HAPs	ug/L	9	0,8	0,8	0,8	0	0%	-	-	100%
Hfij	mg/L	9	2,5	2,5	2,5	0	0%	-	-	100%
HgDis	ug/L	9	0,25	0,25	0,25	0	0%	-	-	100%
NH4	mg/L	9	0,015	0,015	0,015	0	0%	-	-	100%
NO3	mg/L	9	1,81	2,52	2	0,24362	12%	0,7695	0,0091	0%
P_fosf	mg/L	7	0,02	0,07	0,03429	0,01813	53%	0,8131	0,0551	0%
PbDis	ug/L	8	2,5	2,5	2,5	0	0%	-	-	100%

5.5.1.3.2 Sedimento submareal

Periodo 1997-2011

Durante este primer periodo, se analizó un total de 13 parámetros, ninguno de ellos con altos niveles de datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas. La mayoría de los parámetros analizados presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%), exceptuando los parámetros humedad105C y humedad35C.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 137**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 137**.

Tabla 137. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 1997-2011.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
CdTot	mg/Kg	235	0,084	2922	146,701	540,546	368%	0,2919	0,0000	54%
CrTot	mg/Kg	235	0,27	64446	3157,65	10097,6	320%	0,3555	0,0000	3%
CuTot	mg/Kg	235	0,175	247879	7923,61	29294	370%	0,3026	0,0000	0%
HCT	mg/Kg	131	0,155	3127	40,313	273,769	679%	0,1036	0,0000	57%
HgTot	mg/Kg	235	0,01	2141	9,19454	139,658	1519%	0,0390	0,0000	53%
Hum105	%	101	8,6	27,7	20,2069	3,68172	18%	0,9809	0,1511	0%
Hum35	%	101	8,95	30	21,4965	3,54328	16%	0,9778	0,0857	0%
MOT	%	235	0,06	6386	77,3004	511,499	662%	0,1395	0,0000	43%
NTK	mg/Kg	235	0,2	382386	5073,79	31264,9	616%	0,1470	0,0000	1%
PbTot	mg/Kg	234	0,5	21825	1254,07	4090,11	326%	0,3452	0,0000	22%
PCBs	ug/Kg	124	0,001	50	2,25463	9,25192	410%	0,2458	0,0000	87%
Ptot	mg/Kg	235	0,1	2302	272,502	434,941	160%	0,6064	0,0000	16%
ZnTot	mg/Kg	235	0,17	92987	4268,96	13928,5	326%	0,3413	0,0000	0%

En la **Figura 302** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 1997 y 2011, donde es posible apreciar que la mayoría de los parámetros presentaron una mayor variabilidad al inicio de este periodo (1997-2000), exceptuando la humedad105C y humedad35C, con una alta variabilidad entre los años 2002 y 2008.

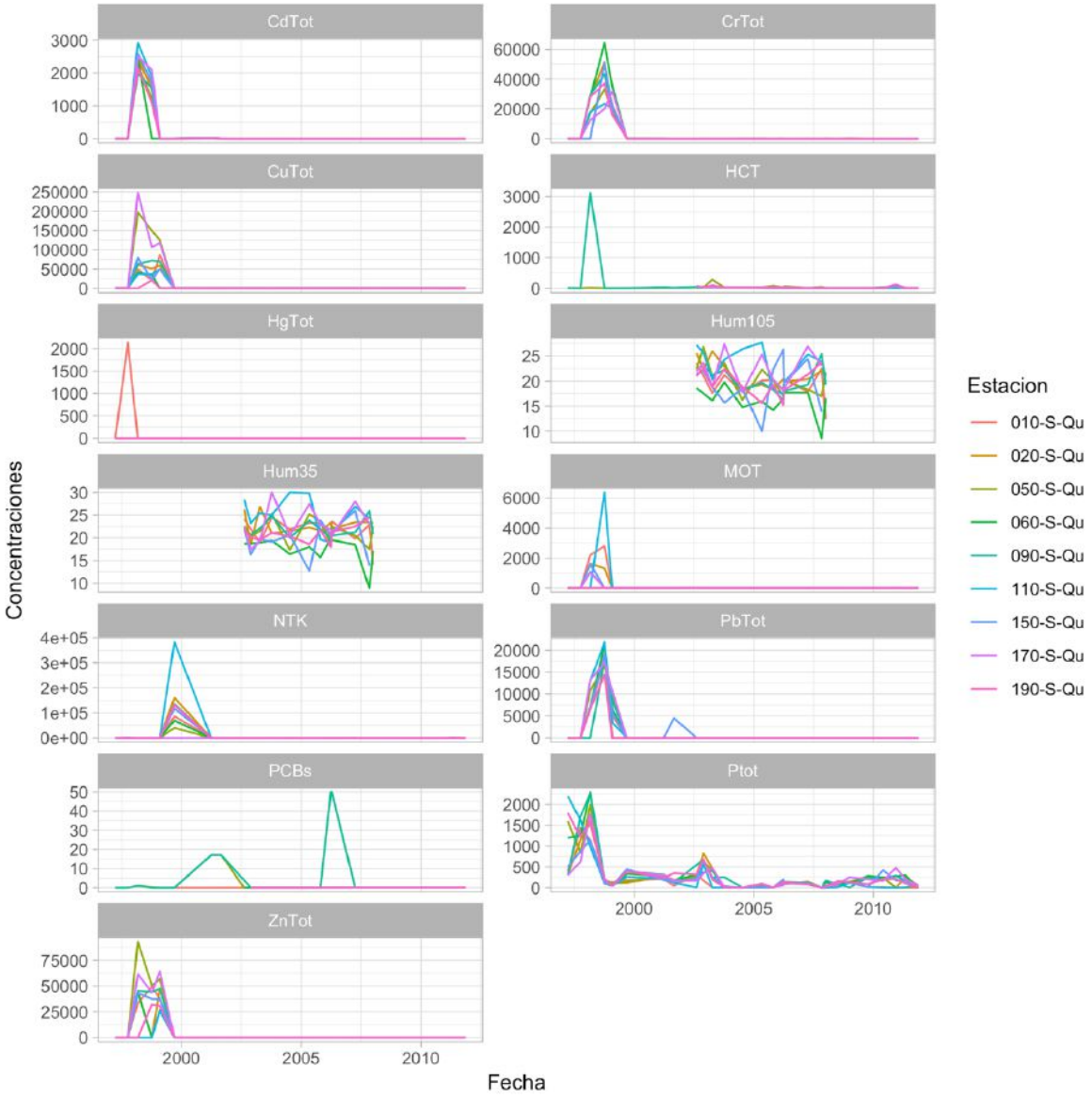


Figura 302. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en sedimento submareal, por estación, entre los años 1997 y 2011.

Periodo 2013-2017

Durante este segundo periodo, se analizó un total de 22 parámetros, de ellos un 23%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 138**). Los parámetros arenas finas, arenas gruesas, arenas medias, arenas muy gruesas, carbono orgánico total, fango, grava muy fina, hidrocarburos totales e hidrocarburos fijos presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 138**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 138**.

Tabla 138. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2013-2017.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AF	%	124	0,2	75,5	24,2791	24,2372	100%	0,8485	0,0000	0%
AG	%	124	0	70,7	7,95968	13,4983	170%	0,6487	0,0000	0%
AM	%	124	0,04	74,1	14,2476	19,2551	135%	0,7351	0,0000	0%
AMF	%	124	0,1	85,3	26,3308	22,8056	87%	0,9080	0,0000	0%
AMG	%	124	0	62,5	7,86694	14,0823	179%	0,6296	0,0000	0%
AsTot	mg/Kg	124	0,2	9,2	3,65065	2,28344	63%	0,9468	0,0001	0%
CdTot	mg/Kg	124	0,1	0,2	0,10161	0,01265	12%	0,1050	0,0000	98%
COT	%	69	0,00207	6,35	0,61892	1,12912	182%	0,5271	0,0000	0%
CuTot	mg/Kg	124	5,6	215	33,8573	30,0434	89%	0,6676	0,0000	0%
Fango	%	124	0	71	14,646	19,4574	133%	0,7442	0,0000	0%
GMF	%	124	0	70,6	4,66274	10,1107	217%	0,5110	0,0000	0%
HAPs	mg/Kg	124	2	2	2	0	0%	-	-	100%
HCT	mg/Kg	96	10	226	34,4167	52,8325	154%	0,5298	0,0000	70%
HFij	mg/Kg	124	10	226	32,5081	48,1278	148%	0,5408	0,0000	67%
HgTot	mg/Kg	124	0,01	0,14	0,03371	0,03166	94%	0,7650	0,0000	42%
HV	mg/Kg	96	0,1	0,1	0,1	0	0%	-	-	100%
MOT	%	124	0,1	3	0,88468	0,57113	65%	0,8462	0,0000	1%
NTK	mg/Kg	110	21	905	262,575	167,034	64%	0,8580	0,0000	0%
PbTot	mg/Kg	124	0,5	9	4,76452	2,0553	43%	0,9589	0,0008	1%
PCF	mg/Kg	55	0,5	0,5	0,5	0	0%	-	-	100%
Ptot	mg/Kg	110	0,2	272,1	72,2855	58,4751	81%	0,9115	0,0000	0%
Xi	mg/Kg	55	0,1	0,1	0,1	0	0%	-	-	100%

En la **Figura 303** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 2013 y 2017, donde es posible apreciar que la mayoría de los parámetros presentó una alta variabilidad entre campañas y estaciones de muestreo, exceptuando los hidrocarburos aromáticos totales, hidrocarburos volátiles, pentaclorofenol y xileno, los cuales se mantuvieron constantes a lo largo de todo el periodo. Esta misma tendencia se observó para el cadmio total, destacando dos peaks, con máximos cercanos a 0,2 mg/kg en los años 2015 y 2017.

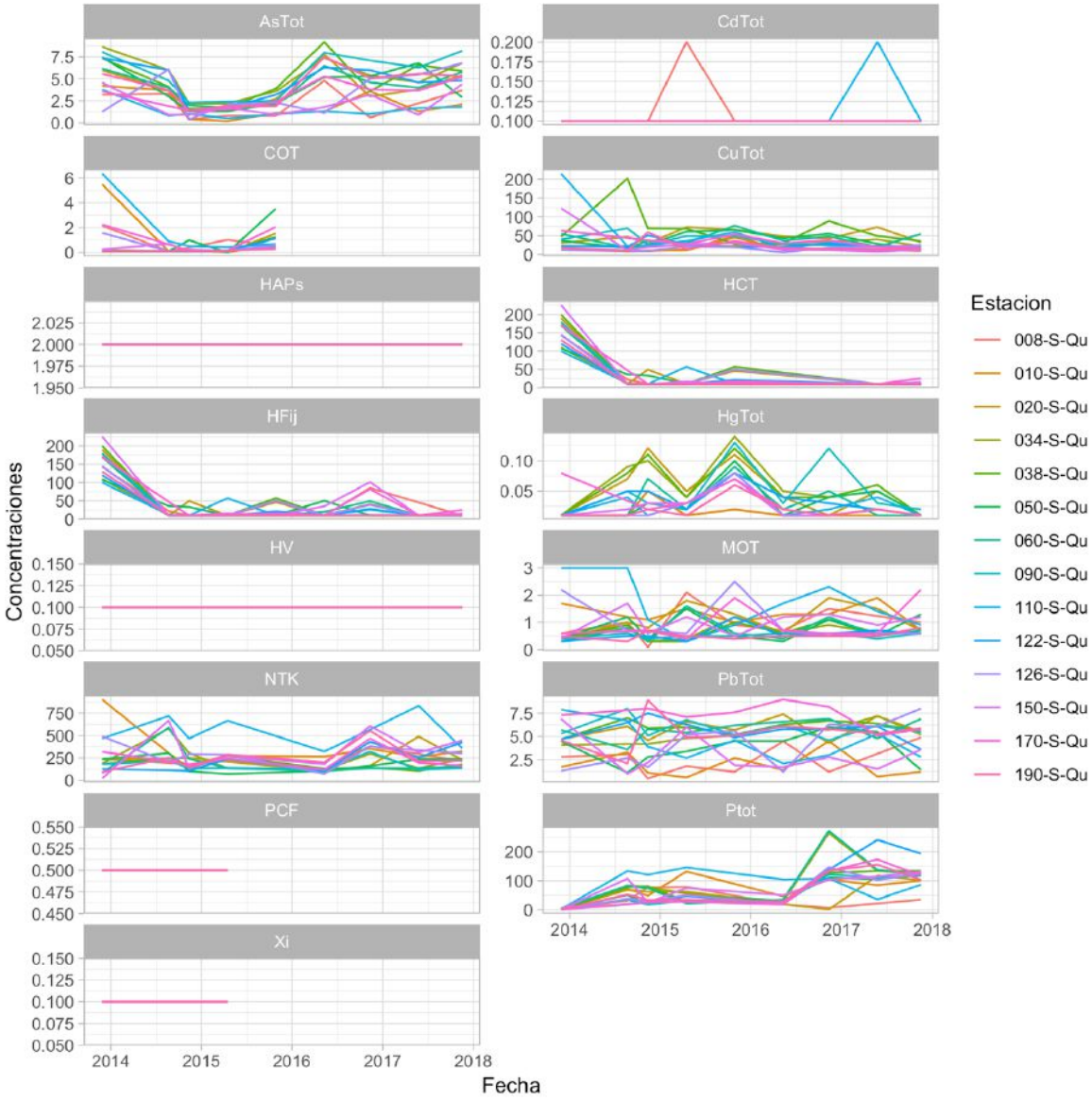


Figura 303. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en sedimento submareal, por estación, entre los años 2013 y 2017.

En las **Figura 304** se entrega la composición de los sedimentos submareales para cada una de las estaciones analizadas para el periodo 2013-2017. Los años 2013 y 2014 presentaron una predominancia de arenas muy finas (AMF) y Fango, en la mayoría de las estaciones, mientras que entre los años 2015 y 2016 se observa una mayor presencia de arenas finas (AF) y Fango y en menor medida arenas medias (AM). Finalmente, para el año 2017 se registró un mayor dominio de arenas medias (AM).

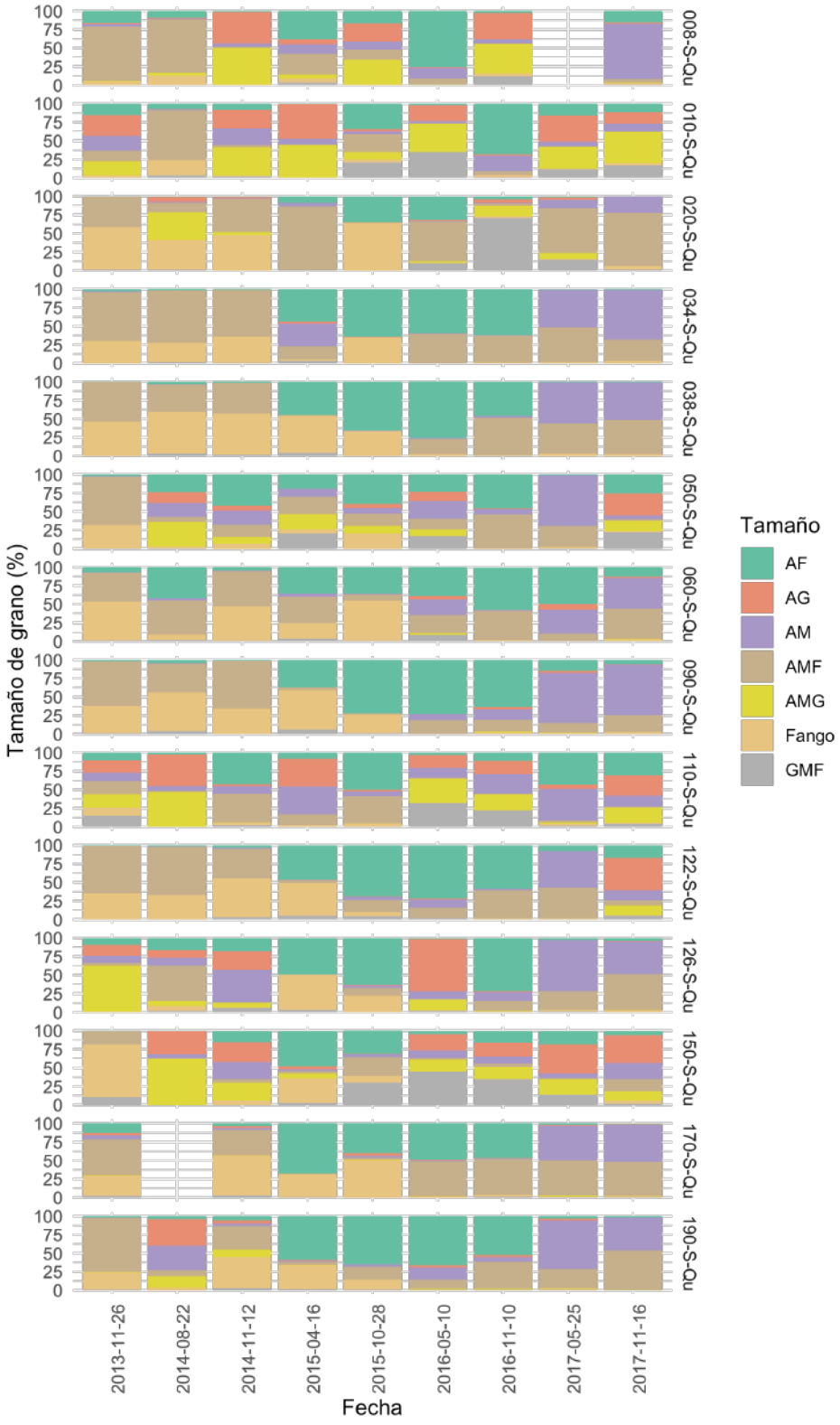


Figura 304. Fracción granulométrica por estación submareal entre 2013 y 2017.

Periodo 2018

Durante este último periodo, se analizó un total de 38 parámetros, de ellos un 53%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 139**). Los parámetros arenas gruesas, arenas medias, arenas muy gruesas, fango, grava muy fina e indeno (1,2,3) pireno presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 139**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 139**.

Tabla 139. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2018.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
Acen	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Acenaf	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
AF	%	11	21,39	70,05	40,7191	11,6958	29%	0,8366	0,0285	0%
AG	%	11	0,05	21,93	4,42455	6,95175	157%	0,7109	0,0006	0%
AM	%	11	0,0125	31,41	7,49023	9,41401	126%	0,7806	0,0052	0%
AMF	%	11	6,35	62,83	38,8227	19,0477	49%	0,9427	0,5527	0%
AMG	%	11	0	17,4	3,14636	5,61662	179%	0,6513	0,0001	0%
Antr	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
AsTot	mg/Kg	11	4,042	7,819	5,90064	1,32736	22%	0,9364	0,4791	0%
Bzantra	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzflu	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzghip	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzjflu	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzkflu	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzpire	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
CdTot	mg/Kg	11	0,0125	0,34	0,13091	0,1288	98%	0,8019	0,0100	0%
Crise	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Dbzant	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Fango	%	11	0,3	15,5	3,19091	4,50343	141%	0,6365	0,0001	0%
Fenan	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Flreno	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Flteno	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
GMF	%	11	0	7,55	2,09727	2,86188	136%	0,7575	0,0026	0%
HAPs	mg/Kg	11	0,0125	0,2125	0,15795	0,09342	59%	0,5724	0,0000	27%
Hfij	mg/Kg	11	12,5	12,5	12,5	0	0%	-	-	100%
HgTot	mg/Kg	11	0,005	0,05	0,02	0,01396	70%	0,8410	0,0326	0%
Indpir	mg/Kg	11	0,0125	20,9	1,91136	6,29782	329%	0,3450	0,0000	91%
MOT	%	11	0,1	3	1,1	0,68557	62%	0,5612	0,0000	9%
N_NO2	mg/Kg	4	0,25	0,25	0,25	0	0%	-	-	100%
N_NO3	mg/Kg	4	5	5	5	0	0%	-	-	100%
Nafta	mg/Kg	11	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
NO2	mg/Kg	4	0,25	0,25	0,25	0	0%	-	-	100%
NO3	mg/Kg	4	5	32	17	14,0712	83%	0,8185	0,1397	50%
NTK	mg/Kg	4	102,4	131,6	118,125	12,439	11%	0,9880	0,9471	0%
Ntot	mg/Kg	11	67	223	135,455	41,1883	30%	0,9688	0,8747	0%
PbTot	mg/Kg	11	2,74	12,53	6,69545	2,90652	43%	0,9103	0,2461	0%
Piren	mg/Kg	11	0,0125	0,083	0,0315	0,02758	88%	0,7152	0,0007	64%
Ptot	mg/Kg	11	26,3	73,2	42,5273	17,9866	42%	0,7835	0,0057	0%

En las **Figura 305** se entrega la composición de los sedimentos submareales para cada una de las estaciones analizadas para el periodo 2018. Se observa que la mayoría de las estaciones de muestreo presentó mayor presencia de arenas finas (AF) y Fango, excepto las estaciones PM-3, PM-8 y PM-9, donde además de arenas finas y fango, se registra arenas medias (AM) y arenas gruesas (AG).

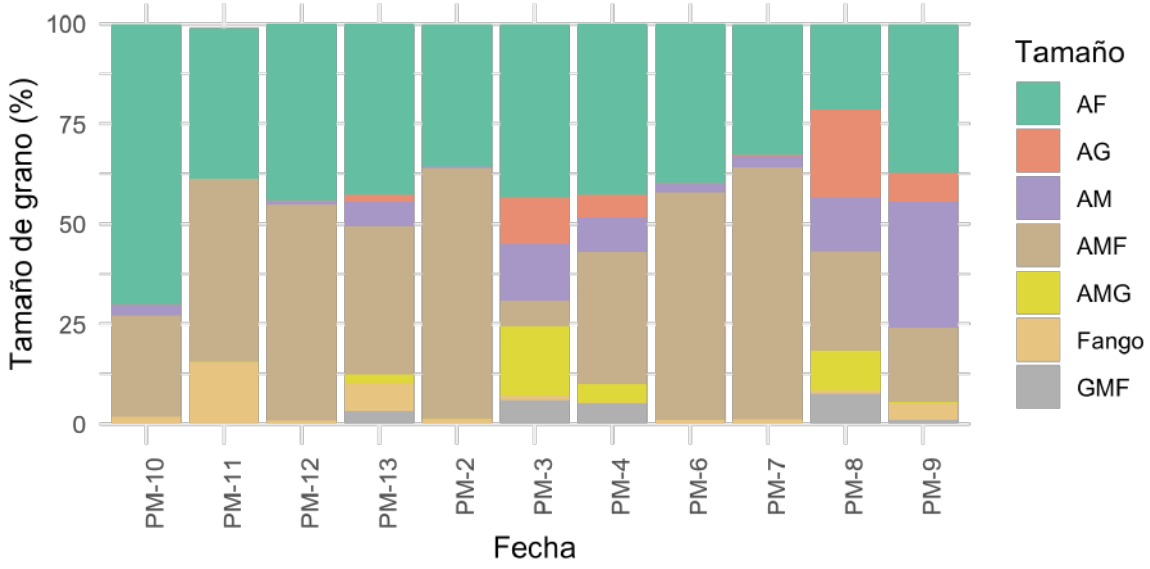


Figura 305. Fracción granulométrica por estación submareal periodo 2018.

5.5.1.3.3 Sedimento intermareal

Periodo 2018

Durante este periodo, se analizó un total de 33 parámetros, de ellos un 52%, presentaron más del 90% de los datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas, por lo cual, carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 140**). Los parámetros arenas muy finas, arenas muy gruesas, cadmio, fango, grava muy fina, indeno (1,2,3) pireno y materia orgánica presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 140**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 140**.

Tabla 140. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimento analizados, periodo 2018.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
Acen	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Acenaf	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
AF	%	12	19,91	76,92	51,3992	20,8025	40%	0,9127	0,2310	0%
AG	%	12	0,43	17,35	6,10667	5,37833	88%	0,8906	0,1201	0%
AM	%	12	0,84	39,91	22,125	14,7508	67%	0,9040	0,1788	0%
AMF	%	12	0,51	50,56	9,19667	15,1442	165%	0,6426	0,0002	0%
AMG	%	12	0,01	13,51	4,07917	4,32523	106%	0,8545	0,0417	0%
Antr	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
As	mg/Kg	12	0,0125	8,025	5,00467	2,50053	50%	0,7879	0,0068	17%
Bzantra	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzflu	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzghip	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzjflu	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzkflu	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Bzpire	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Cd	mg/Kg	12	0,301	18	1,802	5,10113	283%	0,3315	0,0000	0%
Crise	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Dbzant	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Fango	%	12	0,1	7,1	2,08333	2,09885	101%	0,8227	0,0172	0%
Fenan	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Flreno	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Flteno	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
GMF	%	12	0	27,69	5,01083	8,76955	175%	0,6553	0,0003	0%
HAPs	mg/Kg	12	0,0125	0,2125	0,19583	0,05774	29%	0,3269	0,0000	0%
Hfij	mg/Kg	12	12,5	24,3	13,4833	3,40637	25%	0,3269	0,0000	0%
Hg	mg/Kg	12	0,005	0,03	0,01542	0,00916	59%	0,8699	0,0652	25%
Indpir	mg/Kg	12	0,0125	19,7	1,65313	5,68329	344%	0,3269	0,0000	92%
MOT	%	12	0,1	5	0,88333	1,37168	155%	0,5739	0,0001	50%
Nafta	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
Ntot	mg/Kg	12	60	195	101,667	44,2561	44%	0,8176	0,0150	0%
Pb	mg/Kg	12	3,06	8,47	4,685	1,59096	34%	0,8441	0,0311	0%
Piren	mg/Kg	12	0,0125	0,0125	0,0125	0	0%	-	-	100%
PTot	mg/Kg	12	8,4	40,4	25,625	10,2796	40%	0,9487	0,6179	0%

En las **Figura 306** se entrega la composición de los sedimentos intermareales para cada una de las estaciones analizadas para el periodo 2018. Se observa que la mayoría de las estaciones de muestreo presentó mayor presencia de arenas finas (AF) arenas medias (AM), excepto la estación PI-7(A), con presencia de arenas finas y arenas muy finas (AM); la estación PI-7(B), con

mayor presencia de arenas muy finas (AMF), Fango y grava muy fina (GMF); y la estación PI-7(M), con mayor presencia de arenas muy finas (AMF) y grava muy fina (GMF).

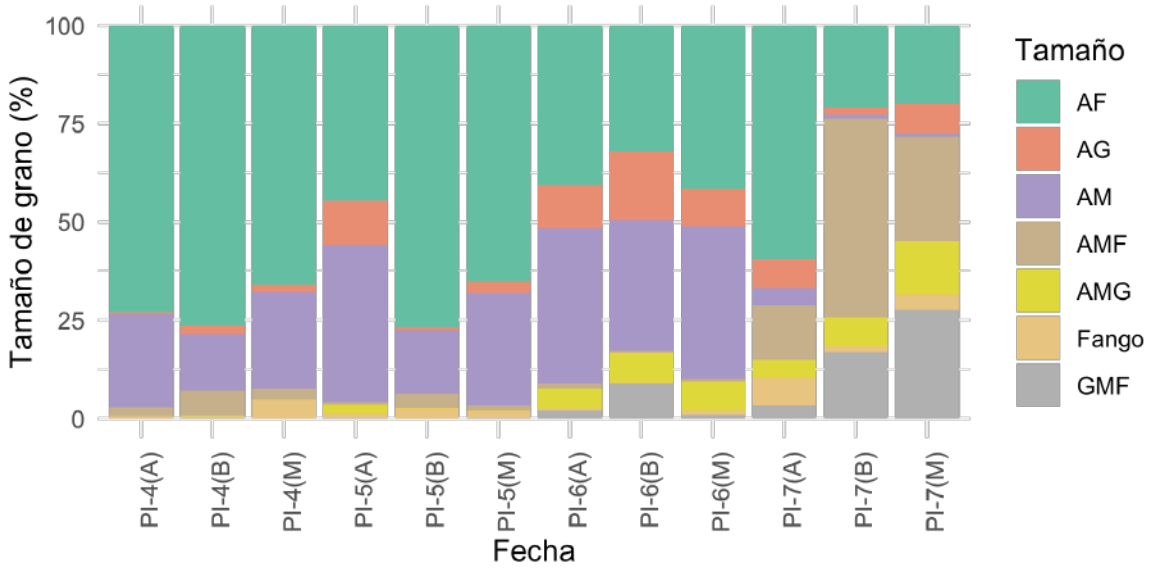


Figura 306. Fracción granulométrica por estación intermareal periodo 2018.

5.5.1.3.4 Biota

Periodo 1994-2011

Durante este periodo, se analizó un total de 12 parámetros, de ellos el 100% de los datos estuvo sobre los límites de detección de las técnicas analíticas. La totalidad de los parámetros presentó un alto coeficiente de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 141**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 141**.

Tabla 141. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados, periodo 1994-2011.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
CdTot	mg/Kg	58	0,005	1624	66,9949	290,16	433%	0,2409	0,0000	5%
ColFec	NMP/100 ml	59	2	54000	2085,67	9823,92	471%	0,2072	0,0000	37%
CrTot	mg/Kg	58	0,3	6785	279,672	1114,77	399%	0,2738	0,0000	33%
CuTot	mg/Kg	58	1,43	70845	5027,89	15570	310%	0,3659	0,0000	0%
HCT	mg/Kg	4	0	0	0	0	0%	-	-	0%
HgTot	mg/Kg	58	0,001	3646	108,074	530,854	491%	0,2118	0,0000	24%
Hum105	%	8	0	77,5	37,1	39,7104	107%	0,6941	0,0019	0%
Hum35	%	4	0	0	0	0	0%	-	-	0%
NTK	mg/Kg	4	0	0	0	0	0%	-	-	0%
PbTot	mg/Kg	58	0,1	8113	451,105	1541,66	342%	0,3311	0,0000	45%
Ptot	mg/Kg	4	0	0	0	0	0%	-	-	0%
ZnTot	mg/Kg	58	0,1	57744	3927,77	11998	305%	0,3749	0,0000	7%

En la **Figura 307** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 1994 y 2011, donde es posible apreciar que el cadmio total, cromo total, cobre total, mercurio total, plomo total y zinc total presentaron tendencias similares, constantes entre años, y mostrando un peak de máxima variabilidad durante el año 2000. Los coliformes totales presentaron algunos peaks asociados a campañas puntuales (estación 160-B-Qu), lo cual podría estar relacionado a la estación o época del año. Finalmente, los hidrocarburos totales, humedad35C, nitrógeno total kjeldahl y fósforo total no registran variabilidad en el tiempo, debido que solo hay datos durante el año 2010. Cabe destacar que, el único parámetro que presentó una tendencia (descendente) fue la humedad105C.

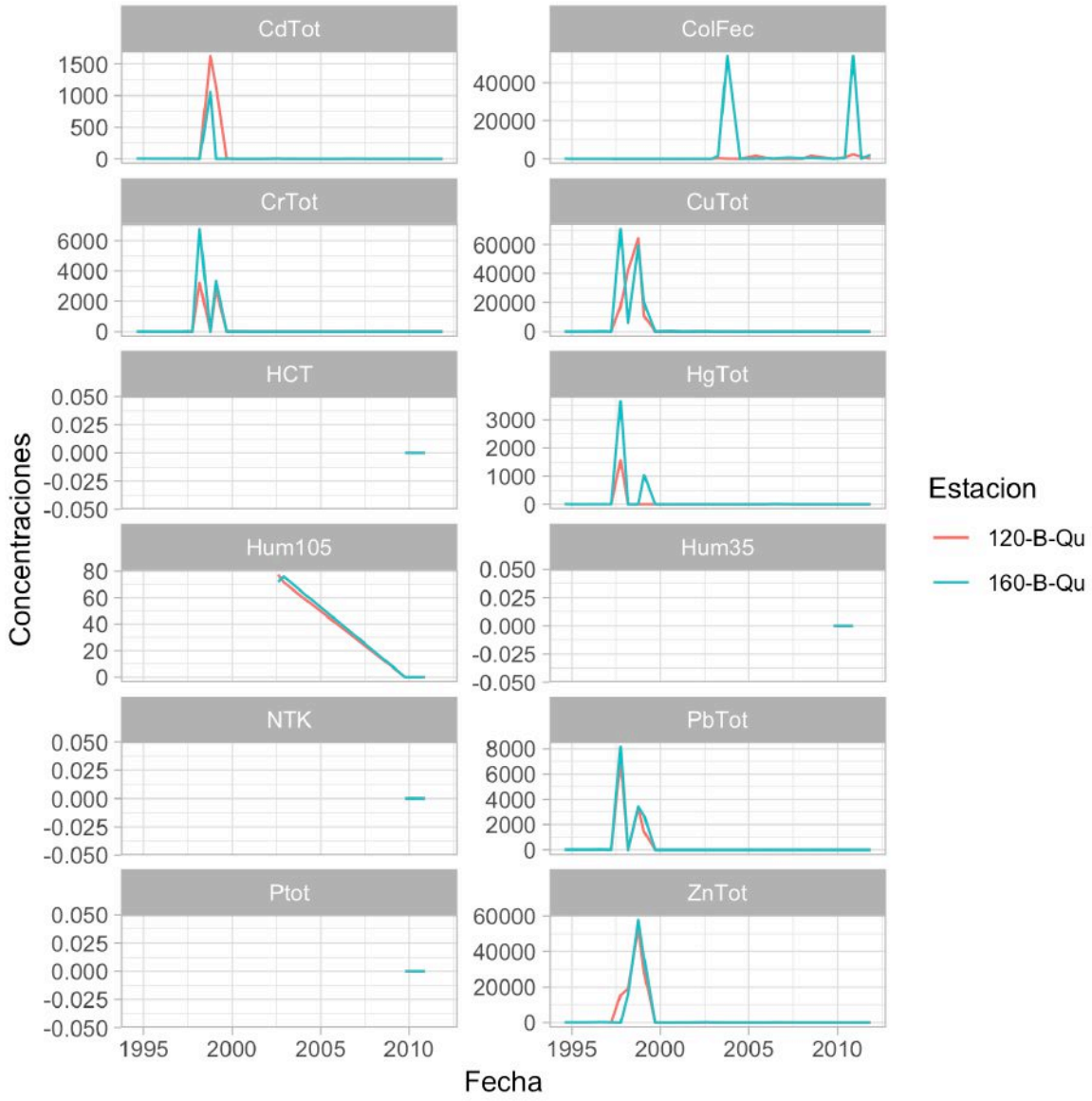


Figura 307. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*), por estación, entre los años 1994-2011.

Periodo 2013-2017

Durante este periodo, se analizó un total de 6 parámetros, de ellos el 100% de los datos estuvo sobre los límites de detección de las técnicas analíticas. La mayoría de los parámetros presentó un alto coeficiente de variación (CV>100%), exceptuando el cobre y plomo total.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguno de los parámetros tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 142**) La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 142**.

Tabla 142. Estadística descriptiva de los parámetros de de calidad de organismos analizados, periodo 2013-2017.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AsTot	mg/Kg	13	1,08	513	43,1818	141,175	327%	0,3229	0,0000	0%
CdTot	mg/Kg	13	0,36	5,66	1,23013	1,68512	137%	0,5480	0,0000	0%
ColFec	NMP/100 ml	13	1,8	2400	489,754	726,848	148%	0,7283	0,0011	31%
CuTot	mg/Kg	13	4,1	10,9	7,18828	2,43527	34%	0,9014	0,1398	0%
HgTot	mg/Kg	13	0,01	0,2	0,04703	0,05418	115%	0,7199	0,0009	31%
PbTot	mg/Kg	13	0,17	1,5	0,47479	0,41302	87%	0,6950	0,0005	0%

En la **Figura 308** se muestra la tendencia de los parámetros entre los años 2013 y 2017, donde es posible apreciar que el arsénico total se mantuvo relativamente constante entre campañas y estaciones de muestreo, destacando un peak con máximos cercanos a 500 mg/kg para la estación 120-B-Qu. El cadmio y plomo total presentaron tendencias descendentes en ambas estaciones, mientras que el mercurio total registró una tendencia contraria (ascendente). Finalmente, tanto los coliformes fecales como el cobre total presentaron una alta variabilidad entre años.

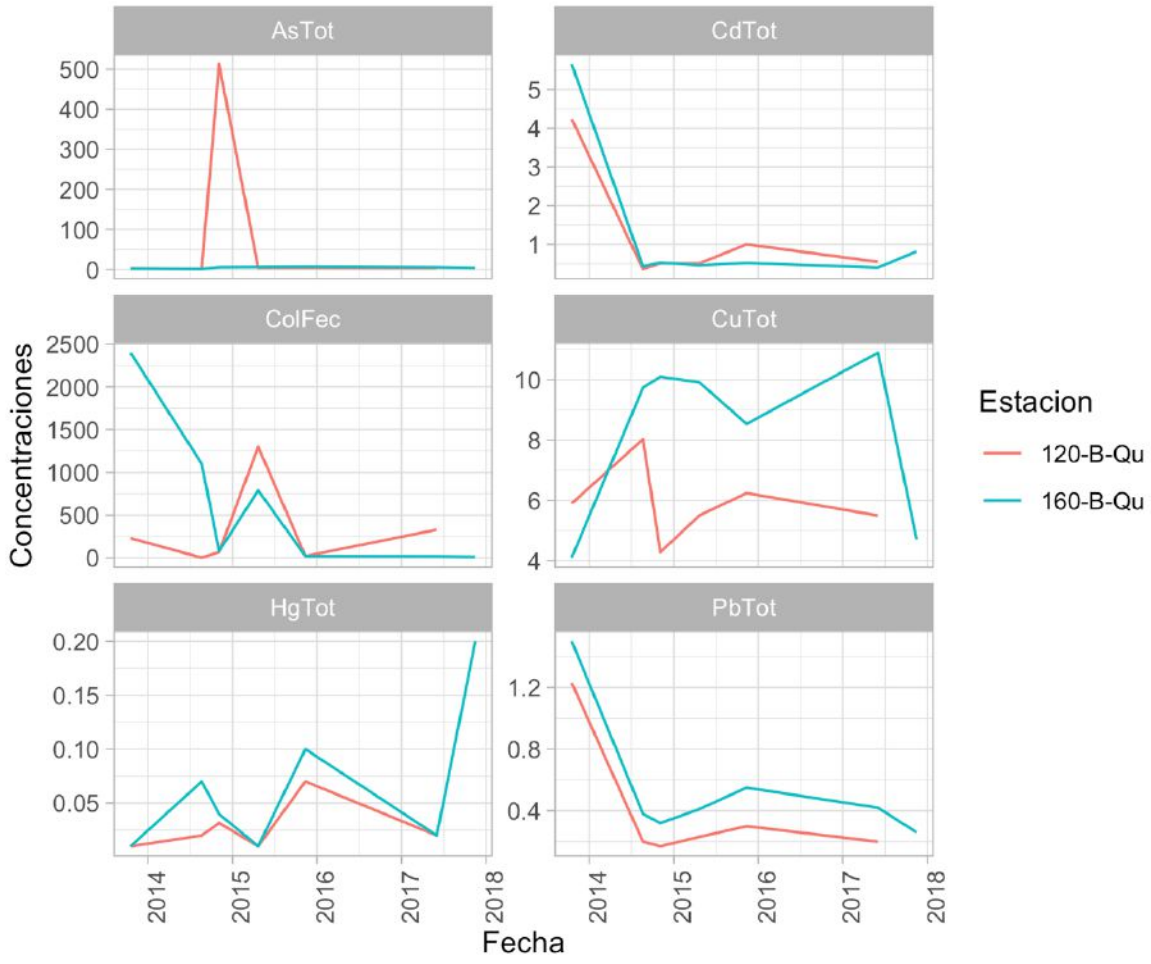


Figura 308. Parámetros medidos en el POAL de bahía Quintero, en biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*), por estación, entre los años 2013-2017.

5.5.1.4 Patrones espacio-temporales

5.5.1.4.1 Agua submareal

1993-1996

En la **Figura 309** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 1993-1996. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,12; P<0,05), siendo el año 1993 el que arrojó menores concentraciones para la mayoría de los parámetros analizados, mientras que los años 1994 y 1996 arrojaron mayores concentraciones de coliformes totales y fecales.

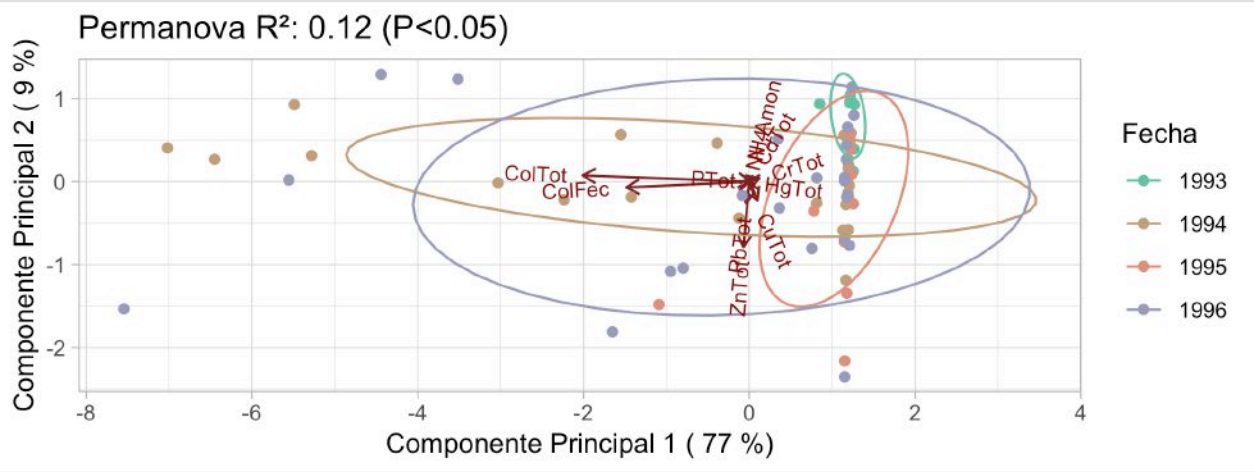


Figura 309. Análisis de componentes principales para agua submaeal.

Periodo 1997-2000

En la **Figura 310** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 1997-2000. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,72; P<0,001), donde se aprecia que el año 1997 registra mayores concentraciones de amonio, fósforo total, fosfato, nitrógeno total kjeldahl y de coliformes fecales. Por otro lado, entre los años 1998 y 1999 se observan altas concentraciones de aceites y grasas, cromo total, hidrocarburos aromáticos policíclicos, amonio, fosfato y coliformes fecales, con una mayor variabilidad durante el año 1999.

Finalmente, el año 2000 presentó mayores concentraciones de metales como cobre, plomo, zinc y cadmio total.

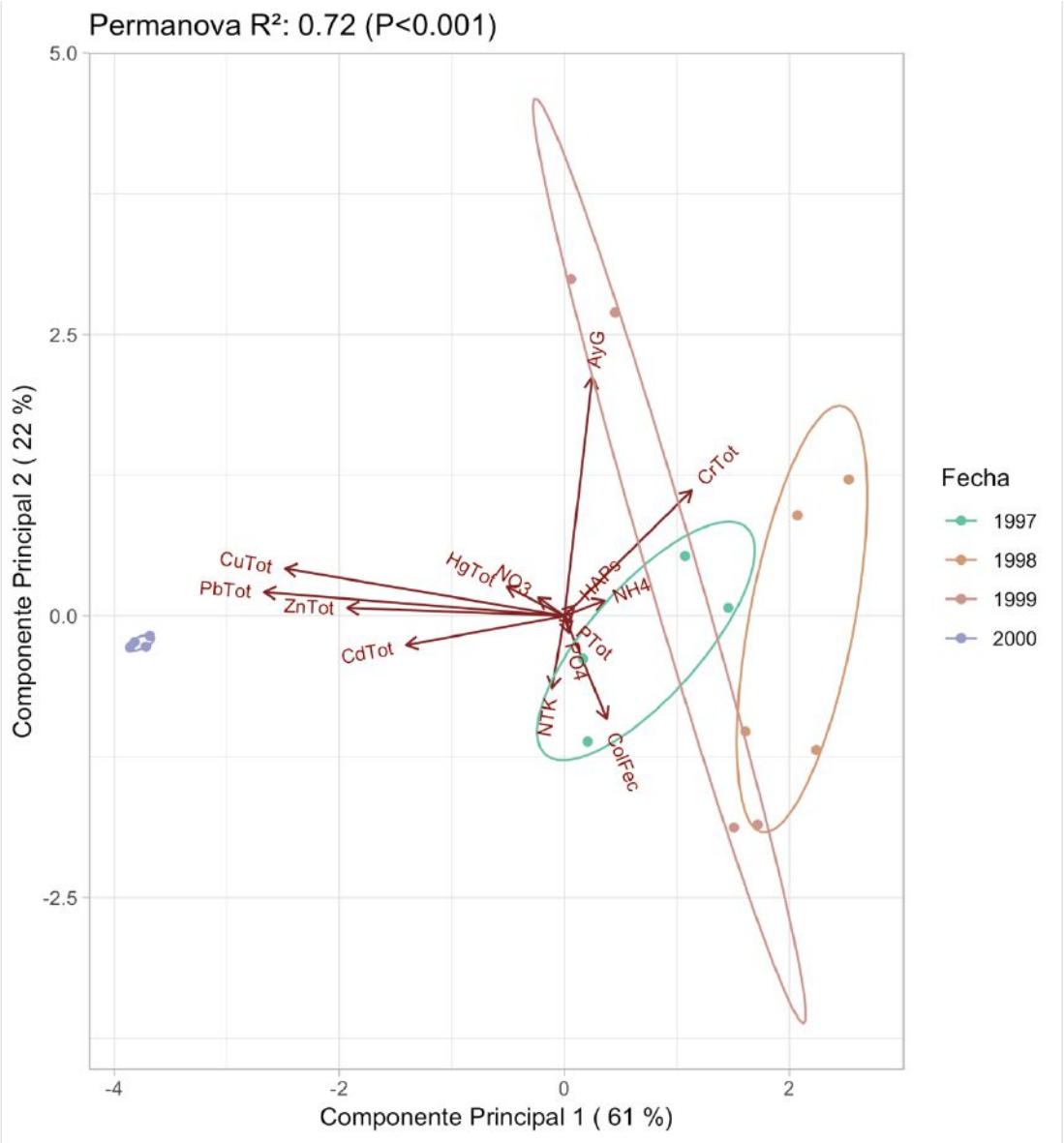


Figura 310. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 1997-2000.

Periodo 2001-2006

En la **Figura 311** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 2001-2006 El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,82; P<0,001), donde se

aprecia que los años 2001, 2005 y 2006 registran mayores concentraciones de coliformes fecales, nitrógeno total kjeldahl y fósforo total, aunque con una mayor variabilidad durante el año 2001. Por otro lado, entre los años 2003 y 2004 se aprecia una mayor concentración de metales, tales como zinc, cromo, cobre, cadmio, plomo total, destacando una mayor variabilidad durante el año 2003.

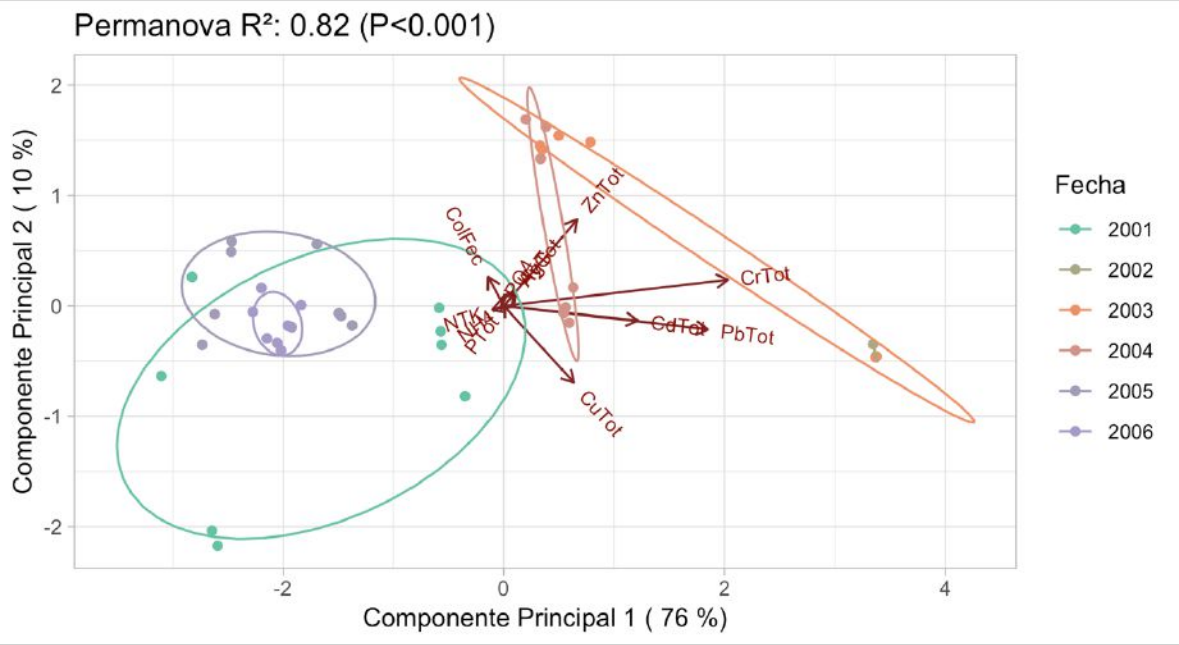


Figura 311. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2001-2006.

Periodo 2007-2011

En la **Figura 312** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 2007-2011 El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,57; P<0,001), destacando una alta variabilidad durante los años 2007 y 2011, con mayor presencia de zinc (disuelto y total), cobre total, nitratos, fosfatos, y plomo (disuelto y total); y en menor medida para los años 2009 y 2010, con mayor presencia de coliformes fecales nitrógeno total kjeldahl y fósforo

total. El año 2008 la columna de agua fue más homogénea, con presencia principalmente de plomo disuelto y total.

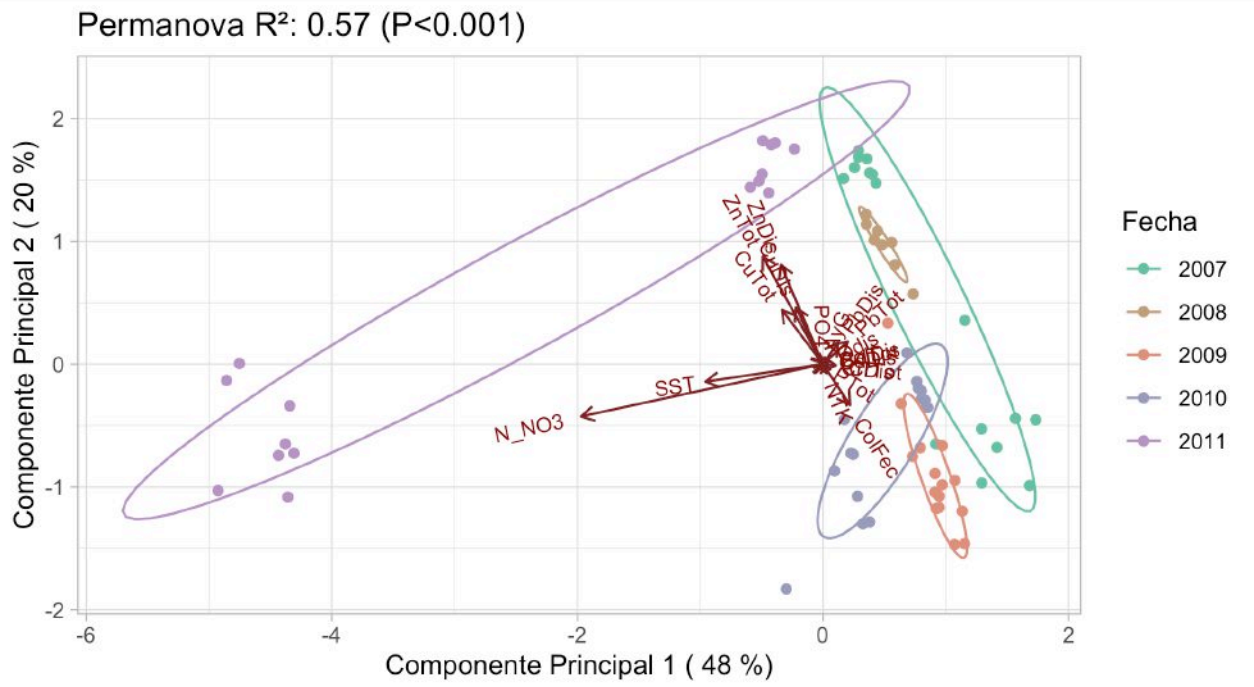


Figura 312. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2007-2011.

Periodo 2012-2017

En la **Figura 313** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 2007-2011. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,82; P<0,001), destacando mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales, plomo disuelto durante el año 2013 y menores concentraciones durante el año 2017.

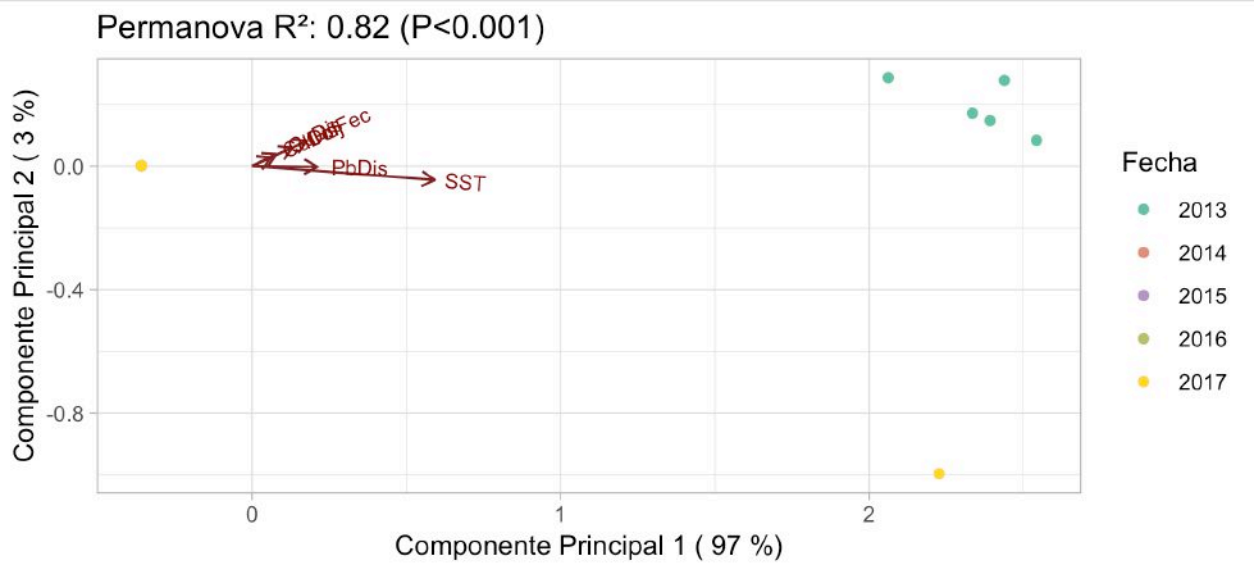


Figura 313. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2012-2017.

Periodo 2018

En la **Figura 314** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en calidad de agua durante el periodo 2018. Del análisis se puede observar que la mayor variabilidad se encuentra explicada por el arsénico disuelto, para todas las estaciones de muestreo.

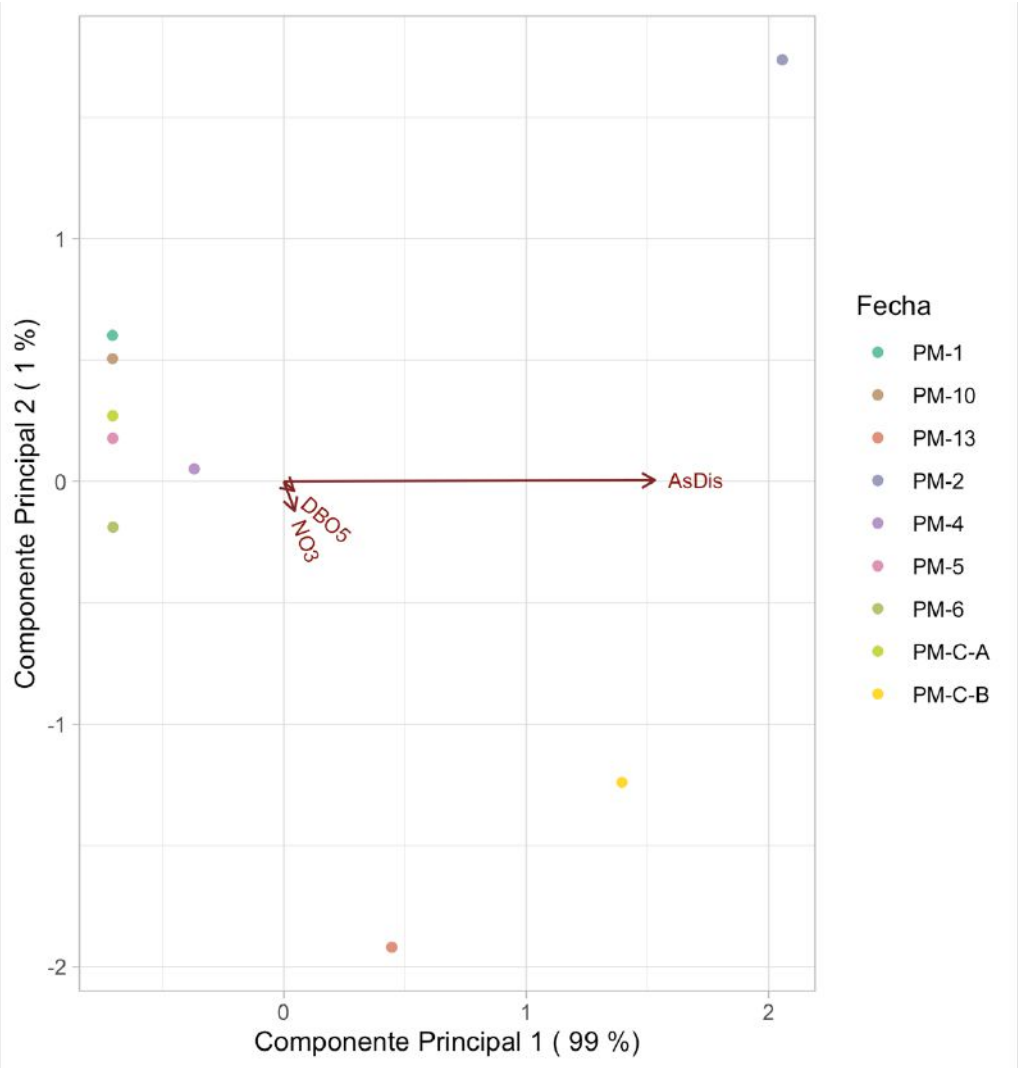


Figura 314. Análisis de componentes principales para calidad de agua submareal durante el periodo 2018.

5.5.1.4.2 Sedimento submareal

Periodo 1997-2011

En la **Figura 315** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en sedimentos submareales, durante el periodo 1997-2011. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,72; P<0,001), destacando una alta variabilidad en los años 1998 y 1999, con mayor presencia de fósforo total, cobre total, zinc total, cromo total, y materia orgánica total. Por otro lado, durante los otros años de muestreo se observaron sedimentos con mayor presencia de nitrógeno total kjeldahl y mercurio total.

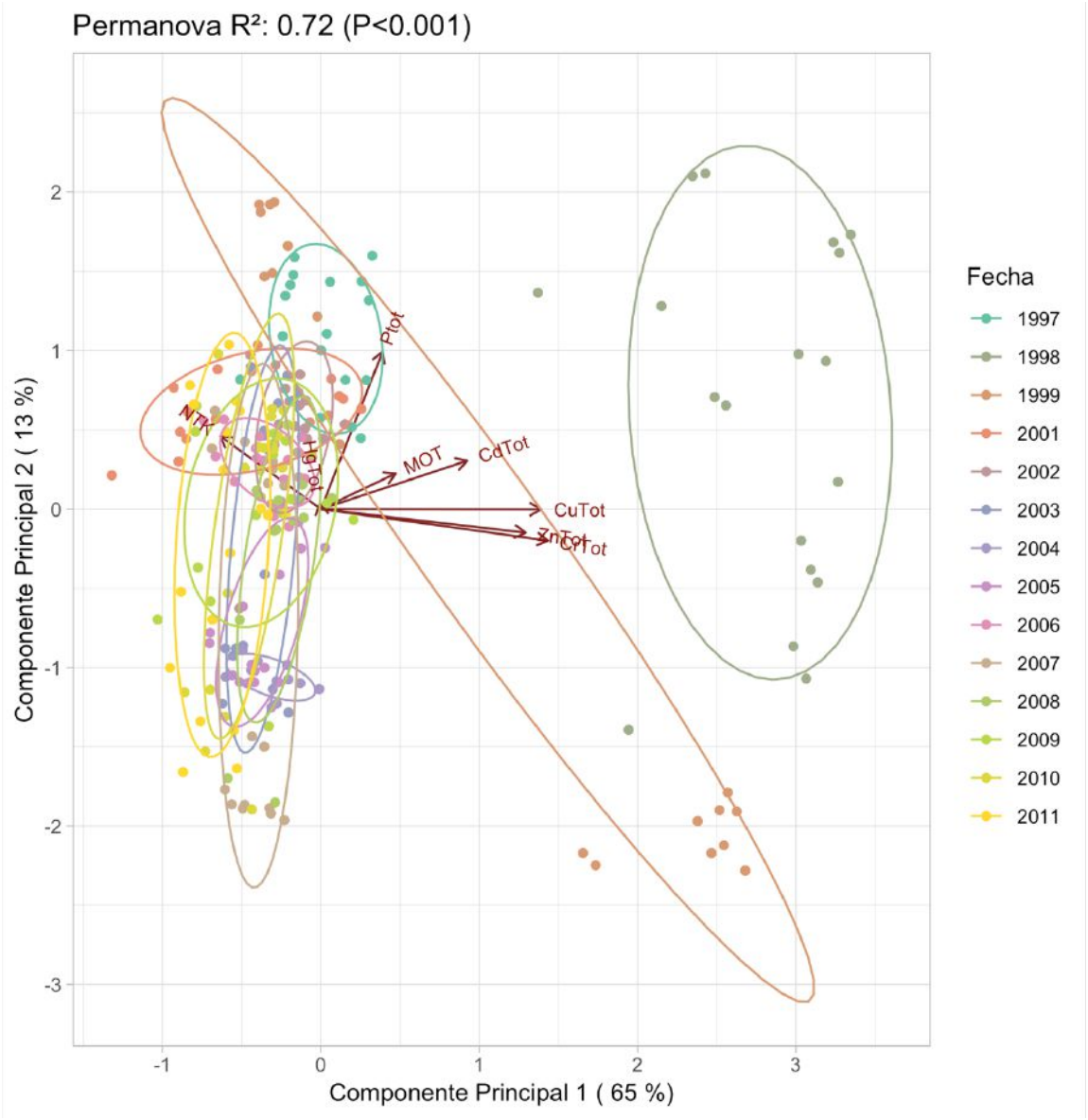


Figura 315. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 1997-2011.

Periodo 2013-2017

En la **Figura 316** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en sedimentos submareales, durante el periodo 2013-2017. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,21; P<0,001), destacando una composición similar para los años 2013 y 2015, con mayor presencia de cobre, mercurio, plomo total, hidrocarburos fijos, fango, MOT y grava muy fina, mientras que durante los

años 2016 y 2017 se registran sedimentos con mayor dominio de arenas medias (M), arenas muy finas (AMF), arenas muy gruesas (AMG) y arenas gruesas (AG).

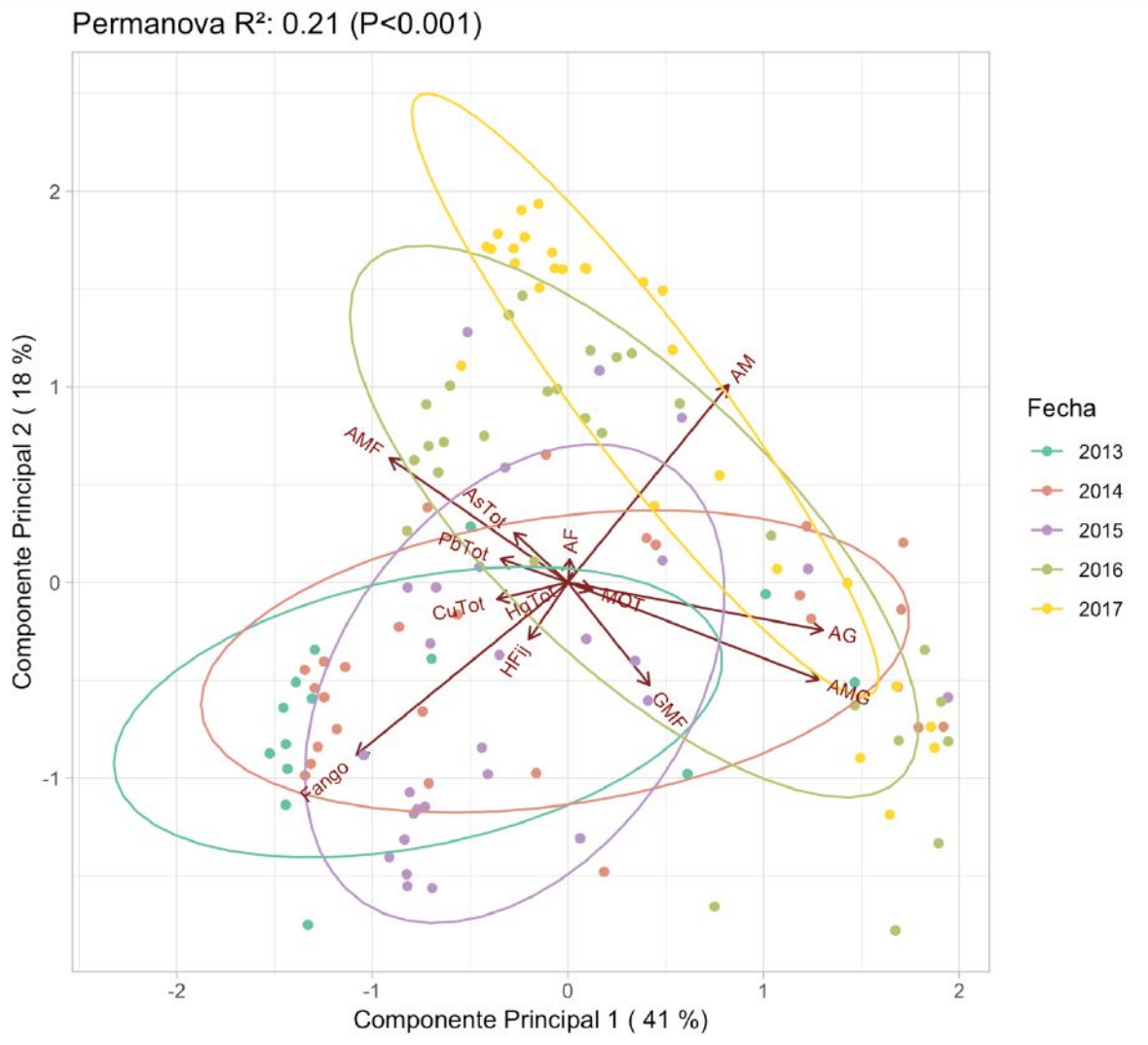


Figura 316. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 2013-2017.

Periodo 2018

En la **Figura 317** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en sedimentos submareales, durante el periodo 2018. El análisis registra alta variabilidad entre estaciones, donde PM-2, PM-7, PM-11 y PM-12 presentaron sedimentos con mayor presencia de arenas muy finas (AMF), mercurio total, MOT. Las estaciones PM-10, PM-6 y PM-13 presentaron mayor dominio de fango e hidrocarburos aromáticos totales, mientras que las estaciones PM-8 y PM-3 registraron un mayor dominio de arenas muy gruesas (AMG) y grava muy fina (AG).

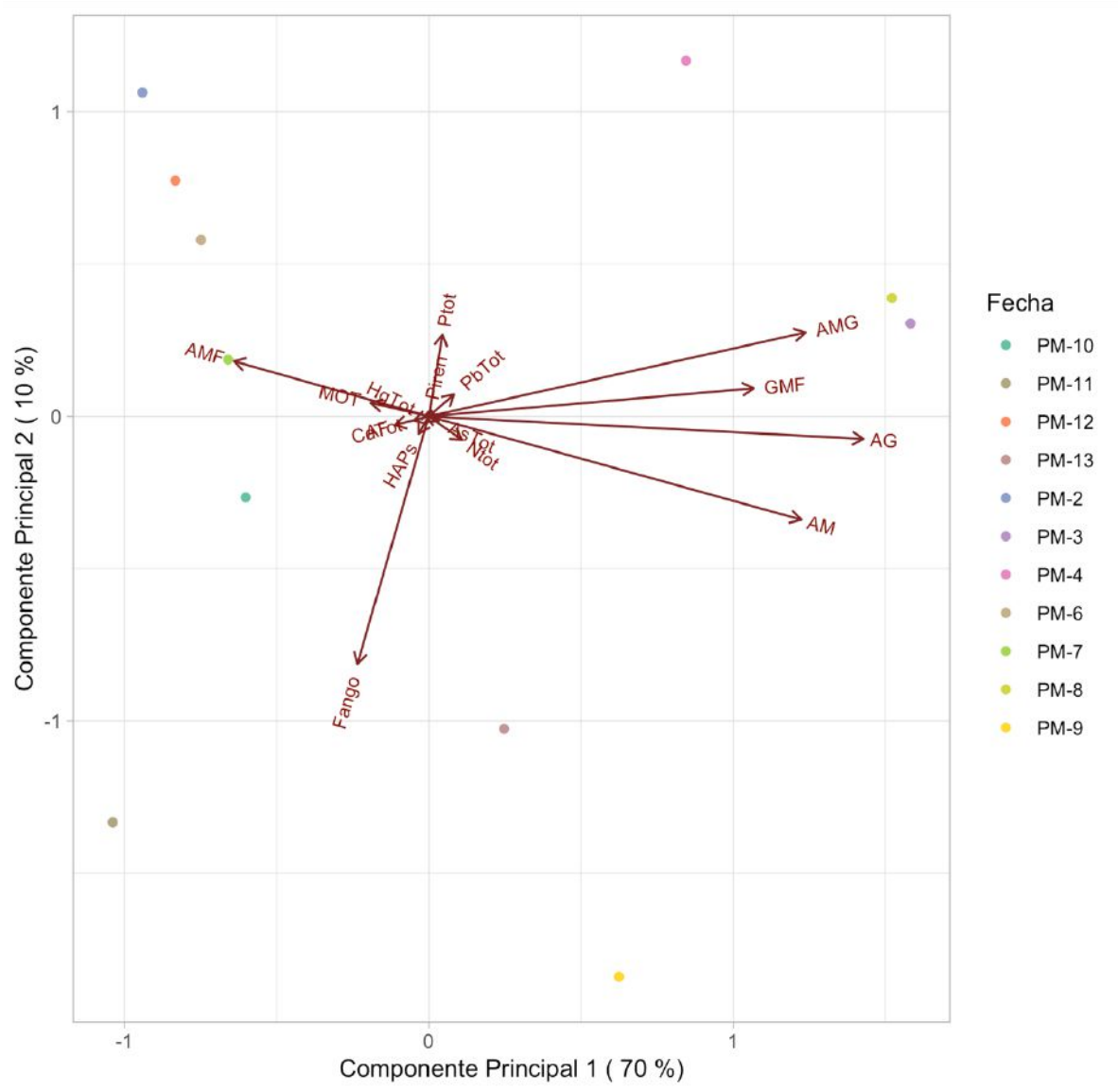


Figura 317. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento submareal durante el periodo 2018.

5.5.1.4.3 Sedimento intermareal

Periodo 2018

En la **Figura 318** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en sedimentos intermareales, durante el periodo 2018. El análisis registra alta variabilidad entre estaciones de muestreo, con mayores concentraciones de MOT, cadmio, arenas finas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, arenas medias y arenas gruesas en las estaciones PI-4(A), PI-4(B), PI-4(M); PI-5(B), PI-5(M); mientras que para las estaciones PI-7(A), PI-7(B) y PI-7(M) la composición de los sedimentos estuvo dominada por arenas muy finas, grava muy fina, fango, nitrógeno total kjeldahl y plomo.

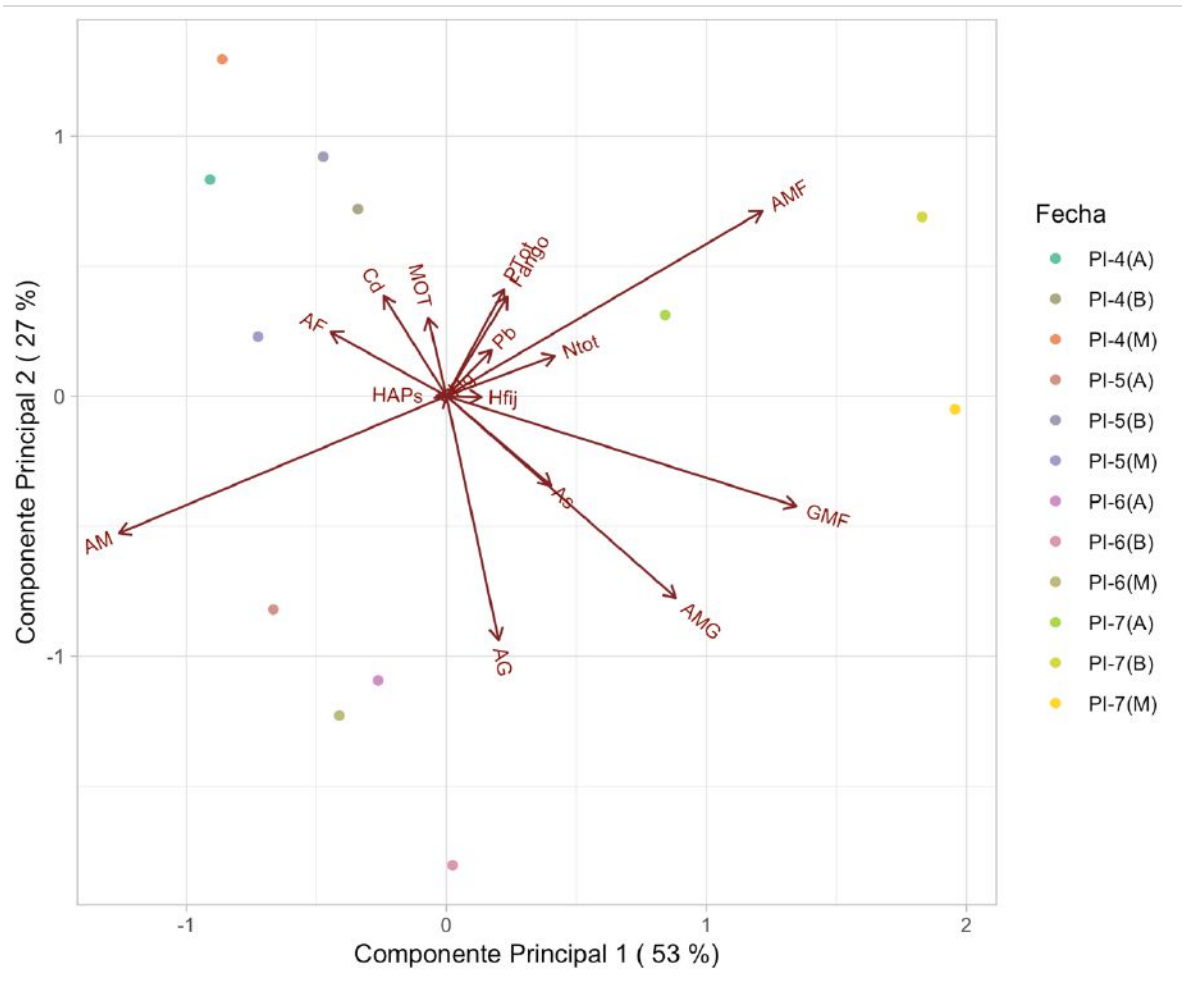


Figura 318. Análisis de componentes principales para calidad de sedimento intermareal durante el periodo 2018.

5.5.1.4.4 Biota

Periodo 1994-2011

En la **Figura 319** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en *Perumytilus purpuratus*, durante el periodo 1994-2011. El análisis arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,73; P<0,001), destacando una mayor variabilidad entre los años 1996 y 1999, con mayor presencia de cobre, cromo, mercurio, cadmio, plomo y zinc total en los tejidos de *P. purpuratus.* A partir del año 2000 se observa mayores concentraciones de coliformes fecales, destacando una mayor variabilidad desde el año 2006 al 2011.

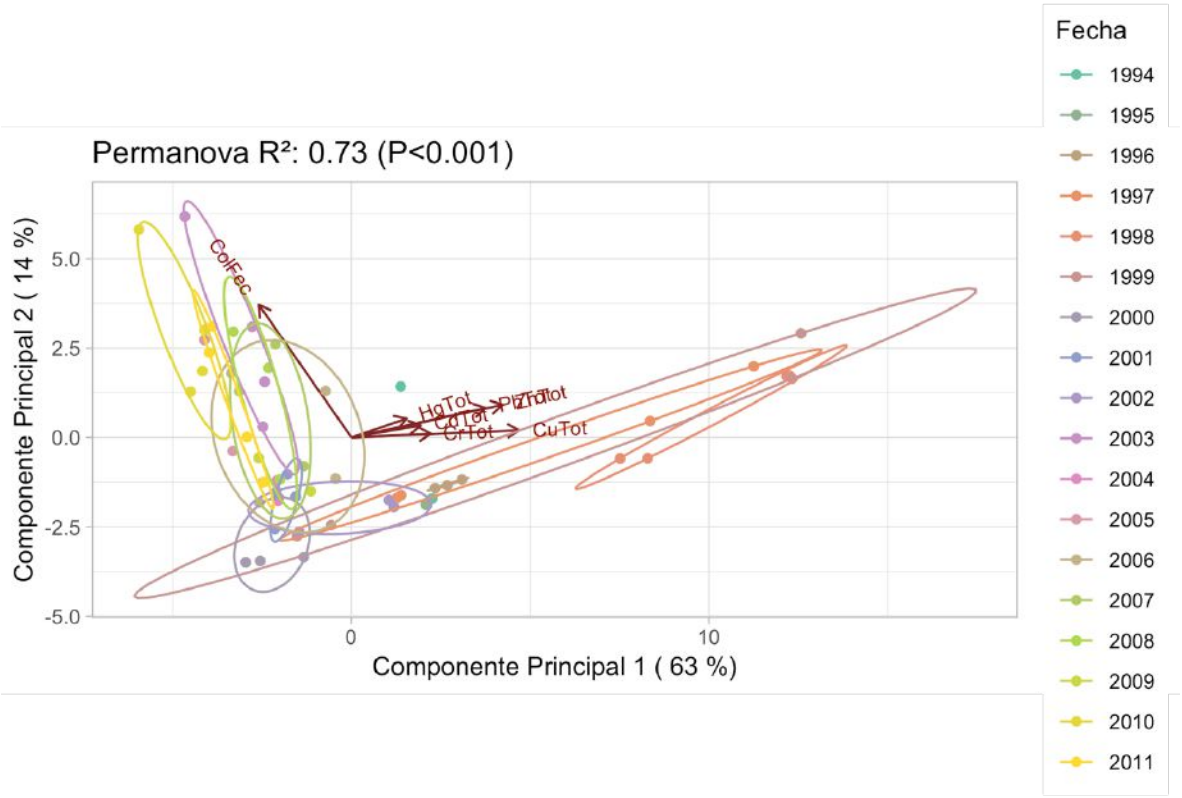


Figura 319. Análisis de componentes principales para biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*) durante el periodo 1994-2011.

Periodo 2013-2017

En la **Figura 320** se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros medidos en *Perumytilus purpuratus*, durante el periodo 2013-2017. El análisis no arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de muestreo (PERMANOVA R^2=0,20; P=0,623).

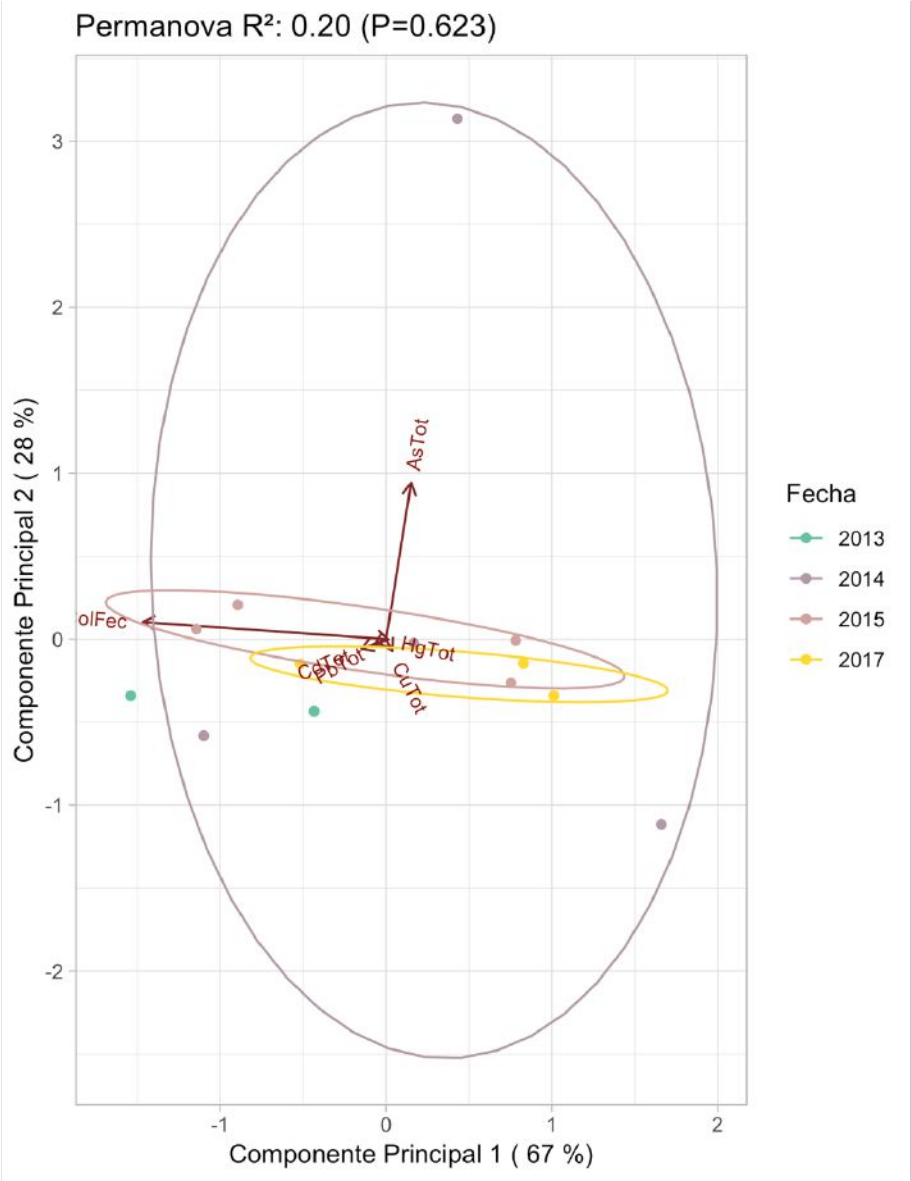


Figura 320. Análisis de componentes principales para biota intermareal (*Perumytilus purpuratus*) durante el periodo 2013-2017.

5.5.2 Análisis de las Bases de Datos del CEA

5.5.2.1 Ubicación y diseño de muestreo

En la **Figuras 321** se entrega el posicionamiento de las estaciones de monitoreo del CEA 2013. De acuerdo a la disposición de los puntos de monitoreo, es posible observar para el ambiente submareal un total de 6 estaciones, de las cuales 2 se ubican en el veril de los 10 m, 3 en el veril de los 20 m y 1 en la isóbata de 45 m (**Figura 321**). En el caso del ambiente intermareal existen 6 estaciones, de las cuales 2 se ubican al norte de la bahía, 3 ubicadas al centro de la bahía y 1 ubicada al sur, todas dispuestas en el fondo de saco de la bahía. Finalmente, para calidad de organismos (*Fissurella sp*) se posicionaron 3 estaciones, una ubicada dentro de la bahía y 2 localizadas fuera de ella (Ritoque al sur de Bahía de Quintero y Horcón, ubicada al norte de Quintero). Cabe destacar que, para los puntos de calidad de organismos, los datos disponibles, no incluyen la posición geográfica, y los puntos señalados en la **Figura 321**, son sólo referenciales.

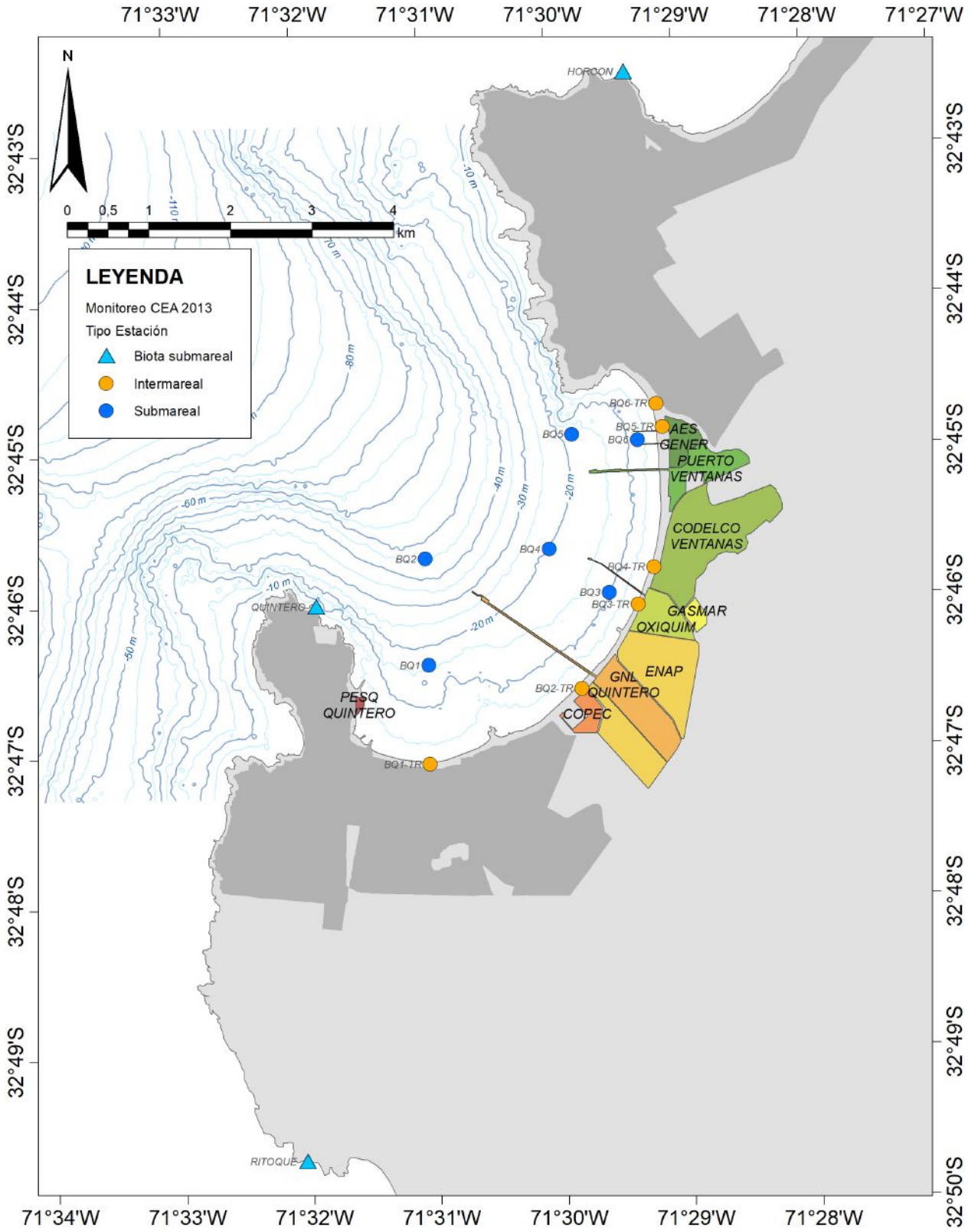


Figura 321. Ubicación y puntos de monitoreo del Estudio Análisis de Riesgo Ecológico Bahía Quintero (CEA, 2014).

5.5.2.2 Parámetros analizados en cada matriz

En la **Tabla 143** se entregan los parámetros analizados en la cada una de las matrices. Se destaca para hidrografía el monitoreo de 8 variables. Para agua submareal se registra el monitoreo de 60 parámetros evaluados en superficie y fondo. La matriz de sedimentos submareales presentó un total de 43 parámetros evaluados, mientras que para biota submareal se monitoreó un total de 19 parámetros, evaluados en tejido del género *Fissurella spp.* Por otro lado, para las matrices de fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macrofauna intermareal y macroinfauna se registra el monitoreo de 2 parámetros, mientras que para megafauna se evaluó un solo parámetro. El detalle de cada uno de los parámetros monitoreados por matriz se presenta en la **Tabla 143**.

Tabla 143. Parámetros analizados en cada una de las matrices CEA, 2014.

Matriz	Grupo	Parámetro	Sigla
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Alcalinidad	Alca
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Color verdadero	CV
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Conductividad ms/cm a 25ºC	Cond
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Salinidad 0/00	Sal
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Sólidos disueltos	SolDis
Calidad agua	Parámetros fisicoquímicos	Sólidos suspendidos Totales	SST
Calidad agua	Nutrientes	Fosfatos	PO4
Calidad agua	Nutrientes	Fósforo	P
Calidad agua	Nutrientes	Nitrógeno amoniacal	N_amon
Calidad agua	Nutrientes	Nitrógeno kjeldahl	NTK
Calidad agua	Nutrientes	Nitratos	NO3
Calidad agua	Nutrientes	Nitrito	NO2
Calidad agua	Nutrientes	Nitrógeno orgánico	N_org
Calidad agua	Nutrientes	Nitrógeno Total	Ntot
Calidad agua	Compuestos orgánicos	Carbono Orgánico Total	COT
Calidad agua	Compuestos orgánicos	Carbono Orgánico Disuelto	COD
Calidad agua	Compuestos orgánicos	Grasas y aceites	AyG
Calidad agua	Compuestos orgánicos	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	HAP
Calidad agua	Metales	Aluminio Total	AlTot
Calidad agua	Metales	Aluminio Disuelto	AlDis
Calidad agua	Metales	Arsénico Total	Astot
Calidad agua	Metales	Arsénico Disuelto	AsDis
Calidad agua	Metales	Bario Total	BaTot
Calidad agua	Metales	Bario Disuelto	BaDis
Calidad agua	Metales	Boro Total	BTot
Calidad agua	Metales	Boro Disuelto	BDis
Calidad agua	Metales	Cadmio Total	CdTot
Calidad agua	Metales	Cadmio Disuelto	CdDis
Calidad agua	Metales	Cobalto Total	CoTot
Calidad agua	Metales	Cobalto Disuelto	CoDis
Calidad agua	Metales	Cobre Total	CuTot
Calidad agua	Metales	Cobre Disuelto	CuDis
Calidad agua	Metales	Cromo Total	CrTot
Calidad agua	Metales	Cromo Disuelto	CrDis
Calidad agua	Metales	Hierro Total	FeTot
Calidad agua	Metales	Hierro Disuelto	FeDis
Calidad agua	Metales	Manganeso Total	MnTot
Calidad agua	Metales	Manganeso Disuelto	MnDis
Calidad agua	Metales	Mercurio Total	HgTot
Calidad agua	Metales	Mercurio Disuelto	HgDis
Calidad agua	Metales	Molibdeno Total	MoTot
Calidad agua	Metales	Molibdeno Disuelto	MoDis
Calidad agua	Metales	Níquel Total	NiTot
Calidad agua	Metales	Níquel Disuelto	NiDis
Calidad agua	Metales	Plata Total	AgTot
Calidad agua	Metales	Plata Disuelto	AgDis
Calidad agua	Metales	Plomo Total	PbTot
Calidad agua	Metales	Plomo Disuelto	PbDis
Calidad agua	Metales	Selenio Total	SeTot
Calidad agua	Metales	Selenio Disuelto	SeDis
Calidad agua	Metales	Vanadio Total	VTot
Calidad agua	Metales	Vanadio Disuelto	VDis
Calidad agua	Metales	Zinc Total	ZnTot
Calidad agua	Metales	Zinc Disuelto	ZnDis
Calidad agua	Iones mayoritarios	Cloruros	Cloru
Calidad agua	Iones mayoritarios	Magnesio	Mg
Calidad agua	Iones mayoritarios	Sodio	Na
Calidad agua	Parámetros de interés biológico	Clorofila a	Chfla
Calidad agua	Parámetros de interés biológico	Coliformes totales	ColTot
Calidad agua	Parámetros de interés biológico	Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO
Sedimentos	Granulometría	Grava media	GM
Sedimentos	Granulometría	Grava fina	GF

Matriz	Grupo	Parámetro	Sigla
Sedimentos	Granulometría	Arena muy gruesa	AMG
Sedimentos	Granulometría	Arena gruesa	AG
Sedimentos	Granulometría	Arena mediana	AM
Sedimentos	Granulometría	Arena fina	AF
Sedimentos	Granulometría	Arena muy fina	AMF
Sedimentos	Granulometría	Limo	L
Sedimentos	Fisico-químicos	pH	pH
Sedimentos	Fisico-químicos	Potencial redox	Redox
Sedimentos	Fisico-químicos	Temperatura	Temp
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Carbono Orgánico Total	COT
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Hidrocarburos policíclicos aromáticos	HAP
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Amonio	NH4
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Fosfato	PO4
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Fósforo total	Ptot
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrato	NO3
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrito	NO2
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrógeno amoniacal	N_amon
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrógeno Kjeldahl	NTK
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrógeno inorganico	Ninorg
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrógeno orgánico	Norg
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Nitrógeno total	Ntot
Sedimentos	Compuestos orgánicos	Materia Orgánica Total	MOT
Sedimentos	Metales totales	Aluminio	Al
Sedimentos	Metales totales	Arsénico	As
Sedimentos	Metales totales	Bario	Ba
Sedimentos	Metales totales	Berilio	Be
Sedimentos	Metales totales	Boro	B
Sedimentos	Metales totales	Cadmio	Cd
Sedimentos	Metales totales	Cobalto	Co
Sedimentos	Metales totales	Cobre	Cu
Sedimentos	Metales totales	Cromo	Cr
Sedimentos	Metales totales	Hierro	Fe
Sedimentos	Metales totales	Manganeso	Mn
Sedimentos	Metales totales	Mercurio	Hg
Sedimentos	Metales totales	Molibdeno	Mo
Sedimentos	Metales totales	Níquel	Ni
Sedimentos	Metales totales	Plata	Ag
Sedimentos	Metales totales	Plomo	Pb
Sedimentos	Metales totales	Selenio	Se
Sedimentos	Metales totales	Vanadio	V
Sedimentos	Metales totales	Zinc	Zn
Fitoplancton	Fitoplancton	Abundancia	Abund
Fitoplancton	Fitoplancton	Composición	Comp
Zooplancton	Zooplancton	Abundancia absoluta	Abund
Zooplancton	Zooplancton	Abundancia relativa	Relat
Ictioplancton	Ictioplancton	Abundancia	Abund
Ictioplancton	Ictioplancton	Composición	Comp
Macroinfauna	Macroinfauna	Abundancia	Abund
Macroinfauna	Macroinfauna	Biomasa	Biom
Megafauna	Megafauna	Abundancia	Abund
Macrofauna intermareal	Macrofauna intermareal	Abundancia	Abund
Macrofauna intermareal	Macrofauna intermareal	Biomasa	Biom
Organismos	Fissurella sp	Aluminio total	AlTot
Organismos	Fissurella sp	Arsénico total	AsTot
Organismos	Fissurella sp	Bario total	BaTot
Organismos	Fissurella sp	Berilio total	BeTot
Organismos	Fissurella sp	Boro total	Btot
Organismos	Fissurella sp	Cadmio total	CdTot
Organismos	Fissurella sp	Cobalto total	CoTot
Organismos	Fissurella sp	Cobre total	CuTot
Organismos	Fissurella sp	Cromo total	CrTot
Organismos	Fissurella sp	Hierro total	FeTot
Organismos	Fissurella sp	Litio total	LiTot
Organismos	Fissurella sp	Manganeso total	MnTot

Matriz	Grupo	Parámetro	Sigla
Organismos	Fissurella sp	Molibdeno total	MoTot
Organismos	Fissurella sp	Níquel total	NiTot
Organismos	Fissurella sp	Plata total	AgTot
Organismos	Fissurella sp	Plomo total	PbTot
Organismos	Fissurella sp	Selenio total	SeTot
Organismos	Fissurella sp	Zinc total	ZnTot
Organismos	Fissurella sp	Mercurio total	HgTot

5.5.2.3 Análisis estadístico

5.5.2.3.1 Estadística descriptiva

Hidrografía

Se analizó un total de 8 parámetros hidrográficos, sin embargo, éstos no se incluyen en la base de datos, por lo que no fue posible realizar el análisis respectivo.

Calidad de agua

Se analizó un total de 60 parámetros en columna de agua, de los cuales 6 correspondieron a parámetros fisicoquímicos; 4 compuestos orgánicos; 36 metales; 3 iones mayoritarios y; 3 parámetros de interés biológico (**Tabla 144**).

Del total de parámetros analizados, un 47% presentó más de un 90% de los datos bajo los límites de detección, por lo cual carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 144**). Del resto los parámetros, cobalto disuelto, hierro total y coliformes totales presentaron altos coeficientes de variación (CV>100%).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que salinidad, sólidos disueltos, fosfatos, nitrógeno amoniacal, bario disuelto, bario total, molibdeno total, plata disuelta, vanadio total y magnesio tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 144**). La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 144**.

.

Tabla 144. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de agua analizados por el CEA.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
Alca	mg/L	24	127	161	146,50	11,26	8%	0,8892	0,0128	0%
CV	Pt/Co	24	5	5	5,0000	0,0000	0%	-	-	100%
Cond	ms/cm	24	46,9	53,6	50,41	2,96	6%	0,6931	0,0000	0%
Sal	psu	24	33,77	37,12	35,28	0,74	2%	0,9262	0,0801	0%
SolDis	mg/L	24	37040	39980	38645	897	2%	0,9476	0,2404	0%
SST	mg/L	24	5	17,6	7,4438	3,5125	47%	0,7424	0,0000	58%
PO4	mg/L	24	0,014	0,096	0,0571	0,0195	34%	0,9293	0,0939	0%
P	mg/L	24	0,073	0,281	0,1170	0,0415	35%	0,7203	0,0000	0%
N_amon	mg/L	24	0,032	0,086	0,0496	0,0119	24%	0,9261	0,0799	0%
NTK	mg/L	24	0,095	0,979	0,4529	0,3667	81%	0,7665	0,0001	0%
NO3	mg/L	24	0,1	0,602	0,3851	0,2055	53%	0,7710	0,0001	0%
NO2	mg/L	24	0,003	0,015	0,0100	0,0038	38%	0,9154	0,0462	0%
N_org	mg/L	12	0,1	0,1	0,1000	0,0000	0%	-	-	100%
Ntot	mg/L	24	0,65	1,222	0,8480	0,1842	22%	0,8300	0,0010	0%
COT	mg/L	24	2,3	18,3	6,7875	4,5010	66%	0,8674	0,0047	0%
COD	mg/L	24	1,12	12,3	4,1400	3,2460	78%	0,8388	0,0014	0%
AyG	mg/L	24	1	1	1,0000	0,0000	0%	-	-	100%
HAP	mg/L	24	2,00E-04	2,00E-04	0,0002	0,0000	0%	-	-	100%
AlTot	mg/L	24	0,02	0,059	0,0216	0,0080	37%	0,2090	0,0000	96%
AlDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
Astot	mg/L	24	0,008	0,008	0,0080	0,0000	0%	-	-	100%
AsDis	mg/L	24	0,008	0,008	0,0080	0,0000	0%	-	-	100%
BaTot	mg/L	24	0,15	0,737	0,4642	0,2075	45%	0,8812	0,0088	0%
BaDis	mg/L	24	0,081	0,664	0,3095	0,1598	52%	0,9294	0,0947	0%
BTot	mg/L	24	4,5	5,99	5,4692	0,3453	6%	0,9437	0,1971	0%
BDis	mg/L	24	4,31	5,72	5,2588	0,3106	6%	0,8898	0,0132	0%
CdTot	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
CdDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
CoTot	mg/L	24	0,029	0,276	0,0680	0,0541	80%	0,6794	0,0000	0%
CoDis	mg/L	24	0,0025	0,176	0,0304	0,0348	114%	0,6023	0,0000	17%
CuTot	mg/L	24	0,02	0,121	0,0242	0,0206	85%	0,2090	0,0000	96%
CuDis	mg/L	24	0,02	0,081	0,0225	0,0125	55%	0,2090	0,0000	96%
CrTot	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
CrDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
FeTot	mg/L	24	0,02	0,309	0,0349	0,0589	169%	0,2739	0,0000	75%
FeDis	mg/L	24	0,02	0,307	0,0323	0,0585	181%	0,2176	0,0000	92%
MnTot	mg/L	24	0,02	0,051	0,0213	0,0063	30%	0,2090	0,0000	96%
MnDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
HgTot	mg/L	24	0,001	0,001	0,0010	0,0000	0%	-	-	100%
HgDis	mg/L	24	0,001	0,001	0,0010	0,0000	0%	-	-	100%
MoTot	mg/L	24	0,005	0,973	0,3500	0,2861	82%	0,9190	0,0555	4%
MoDis	mg/L	24	0,005	0,582	0,2230	0,2030	91%	0,8658	0,0044	13%
NiTot	mg/L	24	0,02	0,021	0,0200	0,0002	1%	0,2090	0,0000	96%
NiDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
AgTot	mg/L	24	0,061	0,181	0,1007	0,0335	33%	0,8412	0,0015	0%
AgDis	mg/L	24	0,046	0,13	0,0860	0,0222	26%	0,9523	0,3043	0%
PbTot	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
PbDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
SeTot	mg/L	24	0,001	0,001	0,0010	0,0000	0%	-	-	100%
SeDis	mg/L	24	0,001	0,001	0,0010	0,0000	0%	-	-	100%
VTot	mg/L	24	0,01	1,36	0,5504	0,3970	72%	0,9407	0,1695	4%
VDis	mg/L	24	0,01	1,02	0,3311	0,3188	96%	0,8777	0,0075	17%
ZnTot	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
ZnDis	mg/L	24	0,02	0,02	0,0200	0,0000	0%	-	-	100%
Cloru	mg/L	24	17163	19999	19314	744	4%	0,8285	0,0009	0%
Mg	mg/L	24	968	1326	1141	86	8%	0,9717	0,7100	0%
Na	mg/L	24	10744	15424	12973	1674	13%	0,8668	0,0046	0%
Chfla	ug/L	24	0,15	5,04	1,8396	1,7100	93%	0,8214	0,0007	0%
ColTot	NMP/100 ml	24	1,8	33	5,0667	7,6337	151%	0,5027	0,0000	75%
DBO	mg/L	24	2	2	2,0000	0,0000	0%	-	-	100%

Calidad de sedimentos

Se analizó un total de 43 parámetros en sedimentos, de los cuales 8 correspondieron a granulometría, específicamente relacionados con la composición del tipo de sedimentos, 3 parámetros fisicoquímicos, 13 compuestos orgánicos, y 19 metales totales (**Tabla 145**).

Del total de parámetros analizados, un 12% presentó más de un 90% de los datos bajo los límites de detección, por lo cual carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 145**). Del resto, los parámetros granulométricos grava media, grava fina, arena muy gruesa, arena gruesa, arena media y limo presentaron coeficientes de variación superiores al 100%. Adicionalmente, los parámetros nitritos, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, bario, cromo y níquel presentaron coeficientes de variación superiores al 100%.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que temperatura, amonio, boro y hierro tienden a distribuirse normalmente (**Tabla 145**). La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 145**.

Tabla 145. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de sedimentos analizados por el CEA.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
GM	%	6	0	4,98	0,87	2,01	231%	0,5286	0,0001	0%
GF	%	12	0	17,64	3,47	5,42	156%	0,6929	0,0007	0%
AMG	%	12	0,07	58,67	10,33	18,26	177%	0,6354	0,0002	0%
AG	%	12	0,04	23,33	4,58	7,66	167%	0,6450	0,0003	0%
AM	%	12	0,35	24,37	6,88	7,81	114%	0,8083	0,0116	0%
AF	%	12	2,77	70,33	29,49	17,62	60%	0,9362	0,4505	0%
AMF	%	12	0,52	75,95	42,54	28,25	66%	0,8609	0,0501	0%
L	%	12	0,06	8,67	2,29	2,71	118%	0,8086	0,0118	0%
pH	unidad	12	6,29	7,73	6,97	0,65	9%	0,7580	0,0032	0%
Redox	mV	12	6	289	94,00	92,10	98%	0,8605	0,0496	0%
Temp	ºC	6	13,2	16	14,38	1,04	7%	0,9430	0,6831	0%
COT	g/Kg	12	0,332	12,3	3,87	3,84	99%	0,8453	0,0322	0%
HAP	mg/Kg	12	0,1	0,8	0,45	0,37	81%	0,6498	0,0003	100%
NH4	mg/Kg	6	300	700	483	147	30%	0,9580	0,8043	0%
PO4	mg/Kg	12	14,1	124	68,61	46,87	68%	0,8029	0,0101	0%
Ptot	mg/Kg	12	15,1	503	211	205	97%	0,7680	0,0041	0%
NO3	mg/Kg	6	10	15,4	10,93	2,19	20%	0,5192	0,0000	67%
NO2	mg/Kg	8	0,3	100,0	26,10	45,62	175%	0,5814	0,0001	0%
N_amon	mg/Kg	6	2,62	24,4	9,48	7,90	83%	0,8277	0,1027	0%
NTK	mg/Kg	6	56,7	356	160	110	69%	0,8828	0,2823	0%
Ninorg	mg/Kg	6	300	1600	750	459	61%	0,8521	0,1637	0%
Norg	mg/Kg	12	50	12600	2700	4594	170%	0,6002	0,0001	0%
Ntot	mg/Kg	12	58,6	14200	3339	5153	154%	0,6513	0,0003	0%
MOT	%	12	0,572	2,12	1,19	0,46	39%	0,9245	0,3257	0%
Al	mg/Kg	12	137	11054	3974	3163	80%	0,8737	0,0728	0%
As	mg/Kg	12	2,39	22,41	12	5	41%	0,9209	0,2937	8%
Ba	mg/Kg	12	0,196	186,35	63,72	68,53	108%	0,8300	0,0210	0%
Be	mg/Kg	12	0,018	1,66	0,84	0,86	102%	0,6498	0,0003	100%
B	mg/Kg	12	9,72	89,96	50,99	27,14	53%	0,9487	0,6186	0%
Cd	mg/Kg	12	0,06	4,12	2,12	2,09	98%	0,6666	0,0004	75%
Co	mg/Kg	12	0,122	12,16	5,81	4,02	69%	0,9117	0,2243	8%
Cu	mg/Kg	12	0,3	109	39,89	29,47	74%	0,9226	0,3083	8%
Cr	mg/Kg	12	0,45	132,2	25,47	34,37	135%	0,5301	0,0000	8%
Fe	mg/Kg	12	258	22730	12681	6599	52%	0,9659	0,8632	0%
Mn	mg/Kg	12	2,15	365,65	138	104	75%	0,9237	0,3185	0%
Hg	mg/Kg	12	0,108	0,152	0,11	0,01	11%	0,5934	0,0001	75%
Mo	mg/Kg	12	0,31	17,51	5,07	5,58	110%	0,7652	0,0039	92%
Ni	mg/Kg	12	0,38	89,3	12,05	24,58	204%	0,4495	0,0000	8%
Ag	mg/Kg	12	0,05	1,73	0,89	0,88	99%	0,6498	0,0003	100%
Pb	mg/Kg	12	0,27	15,6	7,04	5,47	78%	0,9101	0,2142	25%
Se	mg/Kg	12	1,65	1,77	1,71	0,06	4%	0,6498	0,0003	100%
V	mg/Kg	12	0,693	88,35	46,75	28,03	60%	0,9168	0,2605	0%
Zn	mg/Kg	12	0,767	119	43,76	31,12	71%	0,9239	0,3200	0%

En la **Figura 322** se entrega la composición de los sedimentos para cada una de las estaciones analizadas en el submareal, durante las campañas de invierno y verano. Se puede observar que en la mayoría de las estaciones dominan las arenas muy finas, salvo para la estación BQ5 (invierno y verano) que presentó una mayor proporción de arenas gruesas y arenas muy gruesas,

y la estación BQ1 (verano), que presentó una importante proporción de arenas muy gruesas, arenas medias y arenas finas. En las estaciones BQ4 y BQ6 se observó una importante proporción de arenas finas (**Figura 322**).

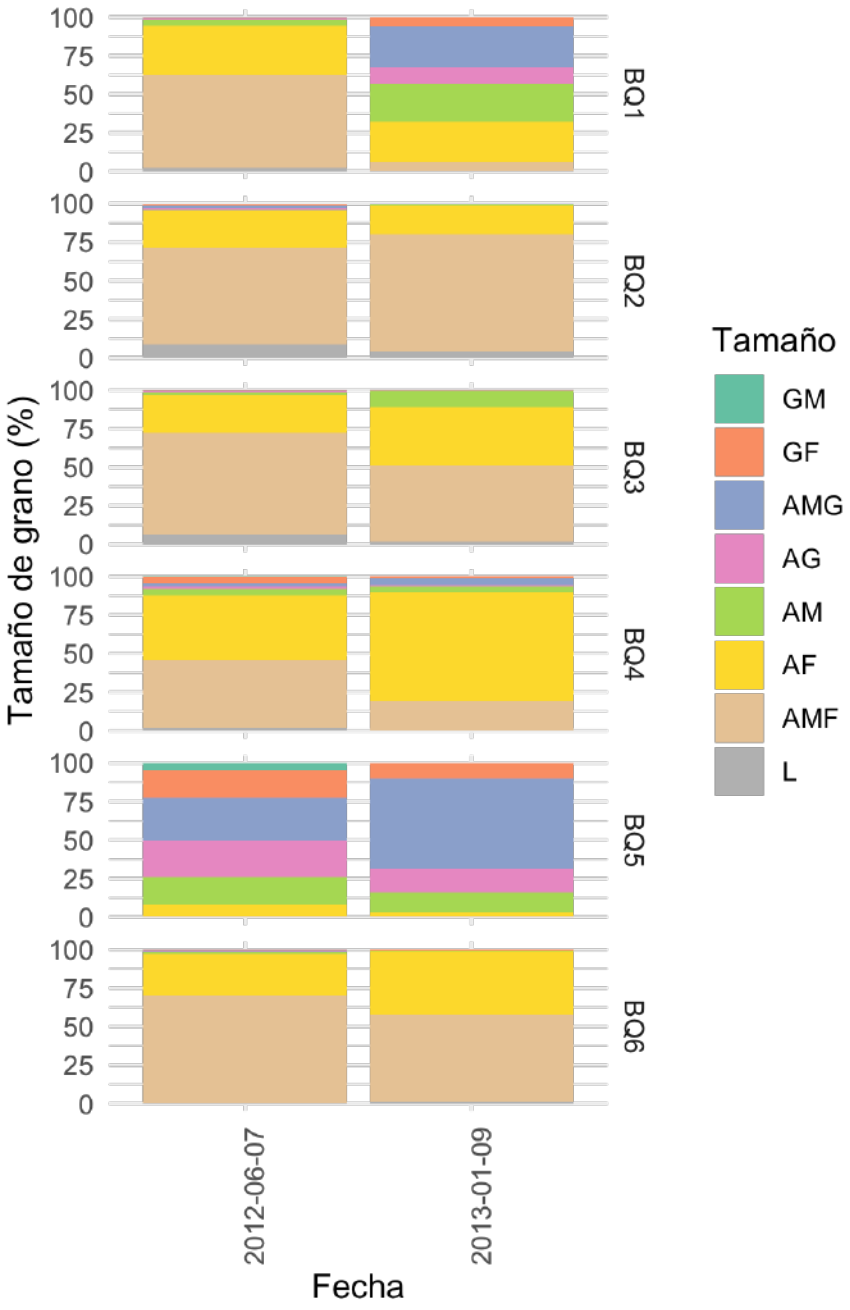


Figura 322. Fracción granulométrica por estación submareal entre los 2012 y 2015.

Calidad de organismos

Se analizó un total de 19 parámetros en muestras de *Fissurella sp*, provenientes de 3 localidades, a saber: Ritoque, Quintero y Horcón, durante el verano de 2013. Del total de parámetros analizados, un 32% presentó más de un 90% de los datos bajo los límites de detección, por lo cual carecen de relevancia estadística y son descartados de los análisis (destacados en gris en la **Tabla 146**). Del resto, los parámetros aluminio total, boro total y cadmio total presentaron coeficientes de variación superiores al 100%.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que sólo zinc total tiende a distribuirse normalmente (**Tabla 146**). La estadística descriptiva para el total de parámetros analizados se entrega en la **Tabla 146**.

Tabla 146. Estadística descriptiva de los parámetros de calidad de organismos analizados por el CEA.

Parámetro	Unidad	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p	%BLD
AlTot	mg/Kg	23	6,14	194,25	52,84	56,35	107%	0,7936	0,0003	0%
AsTot	mg/Kg	23	0,13	1,84	0,51	0,45	88%	0,8215	0,0009	0%
BaTot	mg/Kg	23	0,03	0,43	0,16	0,12	75%	0,8845	0,0123	0%
BeTot	mg/Kg	23	0,25	0,25	0,25	0,00	0%	-	-	100%
Btot	mg/Kg	23	0,48	60,39	9,61	15,67	163%	0,6353	0,0000	0%
CdTot	mg/Kg	23	0,03	0,45	0,09	0,10	109%	0,6725	0,0000	43%
CoTot	mg/Kg	23	0,03	0,07	0,03	0,01	26%	0,2150	0,0000	96%
CuTot	mg/Kg	23	2,6	180,15	71,32	59,97	84%	0,8956	0,0205	0%
CrTot	mg/Kg	23	0,05	0,1	0,05	0,01	20%	0,2730	0,0000	91%
FeTot	mg/Kg	23	11,57	348,85	81,55	80,45	99%	0,7489	0,0001	0%
LiTot	mg/Kg	23	0,1	0,78	0,21	0,16	74%	0,7132	0,0000	43%
MnTot	mg/Kg	23	0,42	4,35	1,31	1,05	81%	0,7456	0,0001	0%
MoTot	mg/Kg	23	0,08	0,08	0,08	0,00	0%	-	-	100%
NiTot	mg/Kg	23	0,08	0,08	0	0	0%	-	-	100%
AgTot	mg/Kg	23	0,25	0,49	0,28	0,06	23%	0,4872	0,0000	78%
PbTot	mg/Kg	23	0,2	1,14	0	0	87%	0,4129	0,0000	83%
SeTot	mg/Kg	23	0,5	2,46	0,68	0,43	63%	0,4686	0,0000	52%
ZnTot	mg/Kg	23	3,6	18,0	7,89	3,44	44%	0,9196	0,0655	0%
HgTot	mg/Kg	23	0,01	0,01	0,01	0,00	0%	-	-	100%

Comunidades

En esta sección se entregan los resultados de abundancia y biomasa para macrofauna intermareal, megafauna intermareal, macrofauna submareal, fitoplancton, zooplancton e ictioplancton, medidos en las campañas de invierno de 2012 y verano de 2013.

Para macrofauna intermareal la abundancia osciló entre 0 y 11.552 ind/m^2; con una media de 57,76 ind/m^2, mientras que las biomasas oscilaron entre 0 y 32,64 g/m^2, con una media de 0,23 g/m^2. En el caso de la megafauna intermareal, sólo se registró abundancia con niveles que oscilaron entre mínimos de 0,08 y 1,67 ind/10 m^2, y una media de 0,26 ind/10 m^2. El fitoplancton presentó abundancias que fluctuaron entre 0,004 cel/L hasta máximos de 4,4 cel/L; cuya composición osciló entre 0,2% y 94,8%; y una media de 18,55%. Para zooplancton, se registró una abundancia que osciló entre mínimos de 0,05 ind/m^3 y máximos de 9.286 ind/m^3 y una composición relativa que osciló entre 0,005% y máximos de 95,2%, con una media de 8,05%. Finalmente, para ictioplancton las abundancias oscilaron entre mínimos de 0,08 ind/m^3 y máximos de 2,67 ind/m^3, con una media de 0,62 ind/m^3. La composición de ictioplancton fluctuó entre 11,4% y máximos de 100%,con una media de 77,8%.

Cabe destacar que, la totalidad de los parámetros presentaron alta variabilidad, con coeficientes de variación superiores al 100%, exceptuando la composición del ictioplancton (CV=42%). En cuanto a las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, se observó que ninguna de las variables analizadas se distribuye normalmente (**Tabla 147**).

Tabla 147. Estadística descriptiva de los parámetros de comunidades analizados en el intermareal y submareal.

Matriz	Parámetro	Nº	Min	Max	Promedio	Desvest	CV%	Shapiro-Wilk	valor-p
Macrofauna Intermareal	N	792	0	11.552	57,76	521,28	902%	0,0835	0,0000
	B	792	0	32,64	0,23	2,13	944%	0,0823	0,0000
Megafauna Intermareal	N	46	0,08	1,67	0,26	0,39	148%	0,5299	0,0000
Macrofauna Submareal	N	241	0	4.456,9	81,73	340,10	416%	0,2121	0,0000
	B	241	0	6,7131	0,09	0,63	684%	0,1273	0,0000
Fitoplancton	N	65	0,004	4,4	0,57	1,08	190%	0,5747	0,0000
	Comp	65	0,2	94,8	18,55	28,23	152%	0,6679	0,0000
Zooplancton	N	149	0,06	9.286,31	182,49	1002,63	549%	0,1789	0,0000
	Relat	149	0,01	95,20	8,05	19,02	236%	0,4765	0,0000
Ictioplancton	N	9	0,08	2,67	0,62	0,84	137%	0,6263	0,0002
	Comp	9	11,48	100	77,78	32,70	42%	0,7447	0,0047

En la **Figura 323** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de macrofauna intermareal entre las campañas de invierno 2012 y verano 2013, observándose que en la estación BQ1_TR se registran las mayores abundancias por taxa. En cuanto a la composición de especies, el grupo dominante corresponde al genero *Excirolana* (*E. braziliensis* y *E. hirsuticauda*) para la mayoría de las estaciones de muestreo. En cuanto a la época del año, se observa que, en invierno, las abundancias fueron superiores a las observadas en verano, excepto para las estaciones BQ3_TR y BQ5_TR.

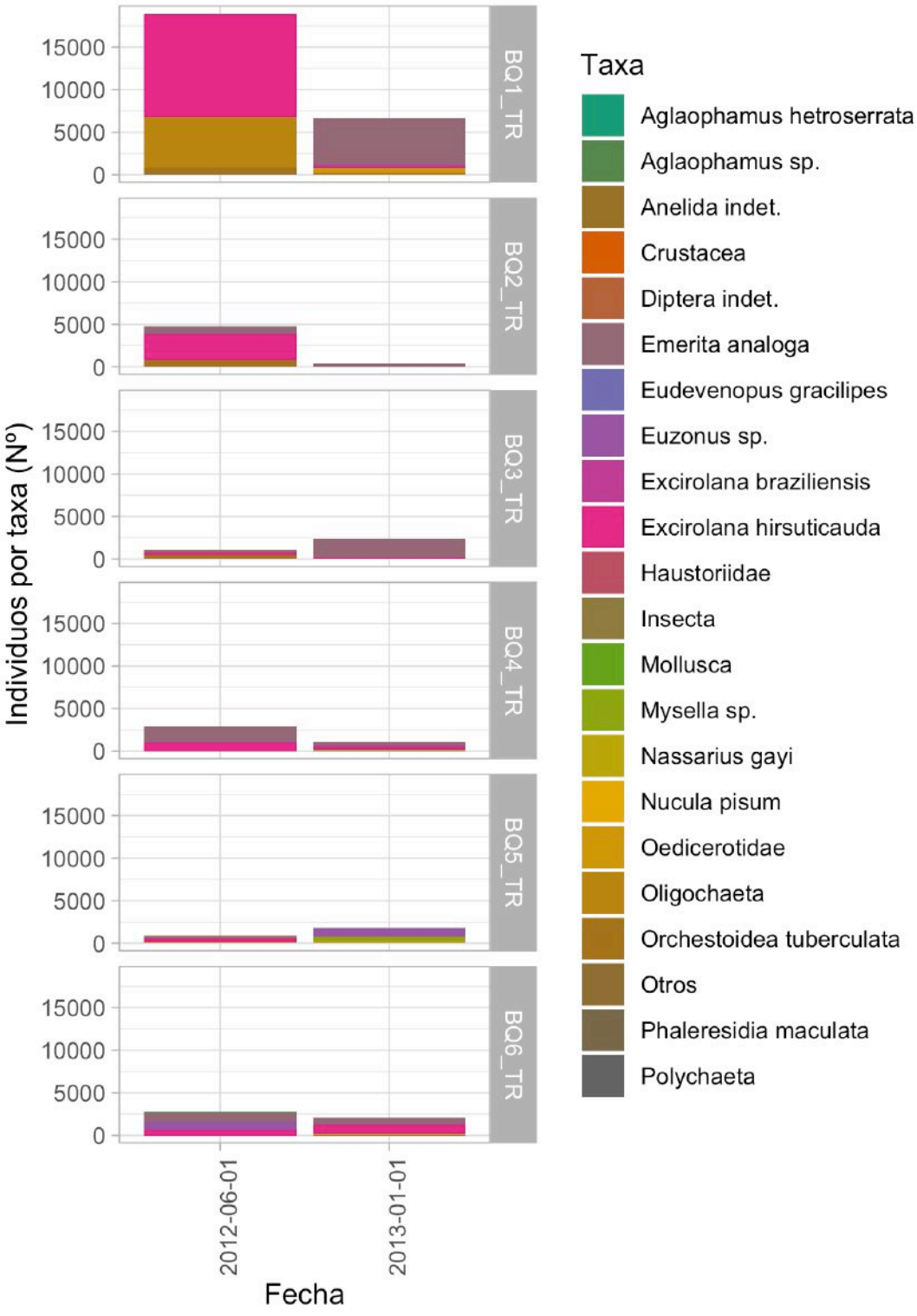


Figura 323. Composición taxonómica de la macrofauna intermareal, CEA 2014.

En la **Figura 324** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de megafauna intermareal entre las campañas de invierno 2012 y verano 2013, observándose una baja composición de especies en la mayoría de las estaciones durante la campaña de invierno, excepto en las estaciones BQ3-TR y BQ6-TR donde los grupos dominantes correspondieron a *O. peruviana* y *R. chilensis*.

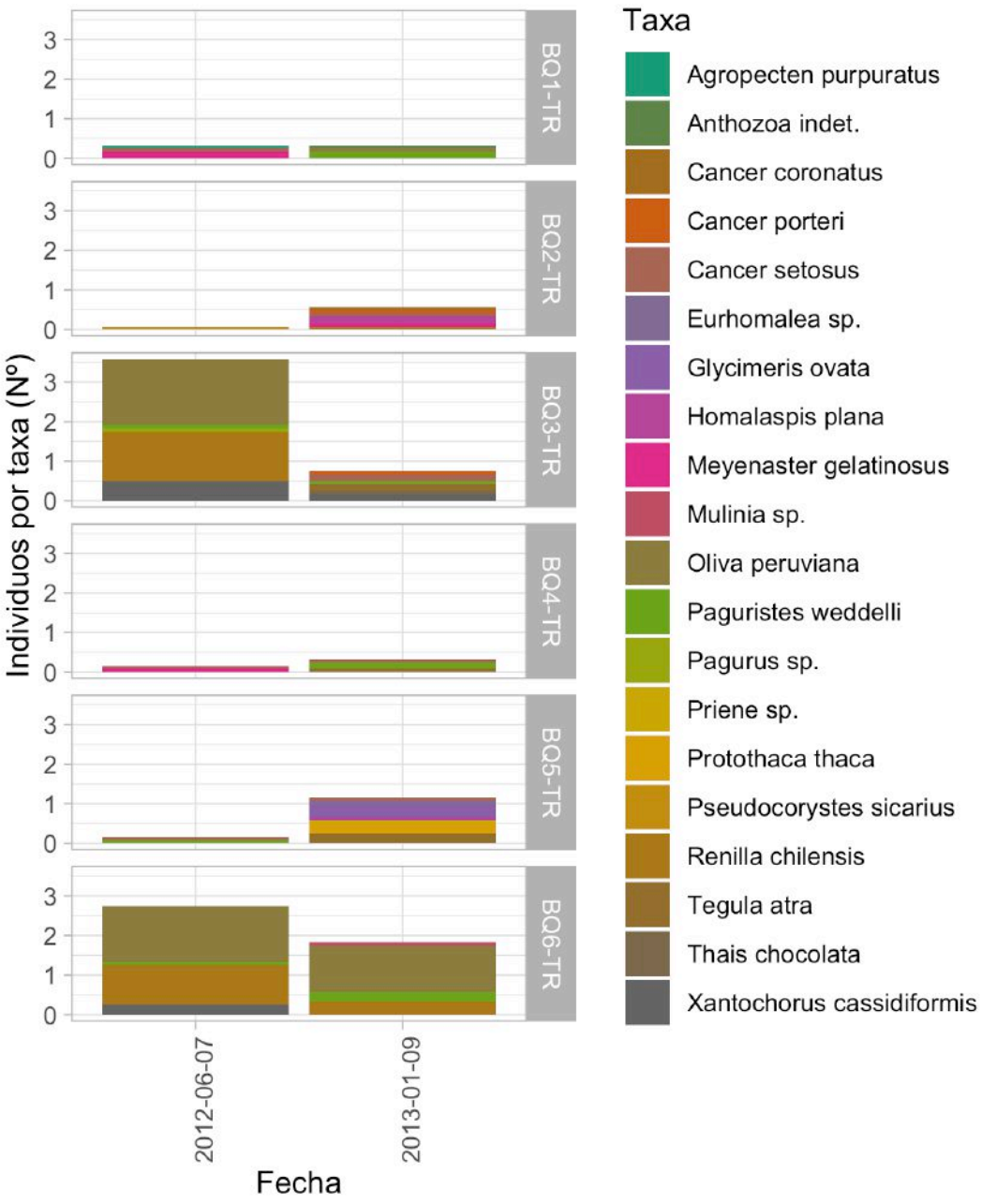


Figura 324. Composición taxonómica de la megafauna intermareal, CEA 2014.

En la **Figura 325** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de fitoplancton entre las campañas de invierno 2012 y verano 2013, observando un mayor dominio de diatomeas en todas las estaciones de muestreo, con mayor abundancia en época de verano, excepto en las estaciones BQ4 y BQ5, registrando las abundancias similares entre campañas. Cabe destacar que, el grupo de dinoflagelados solo estuvo presente en la estación BQ3 durante verano.

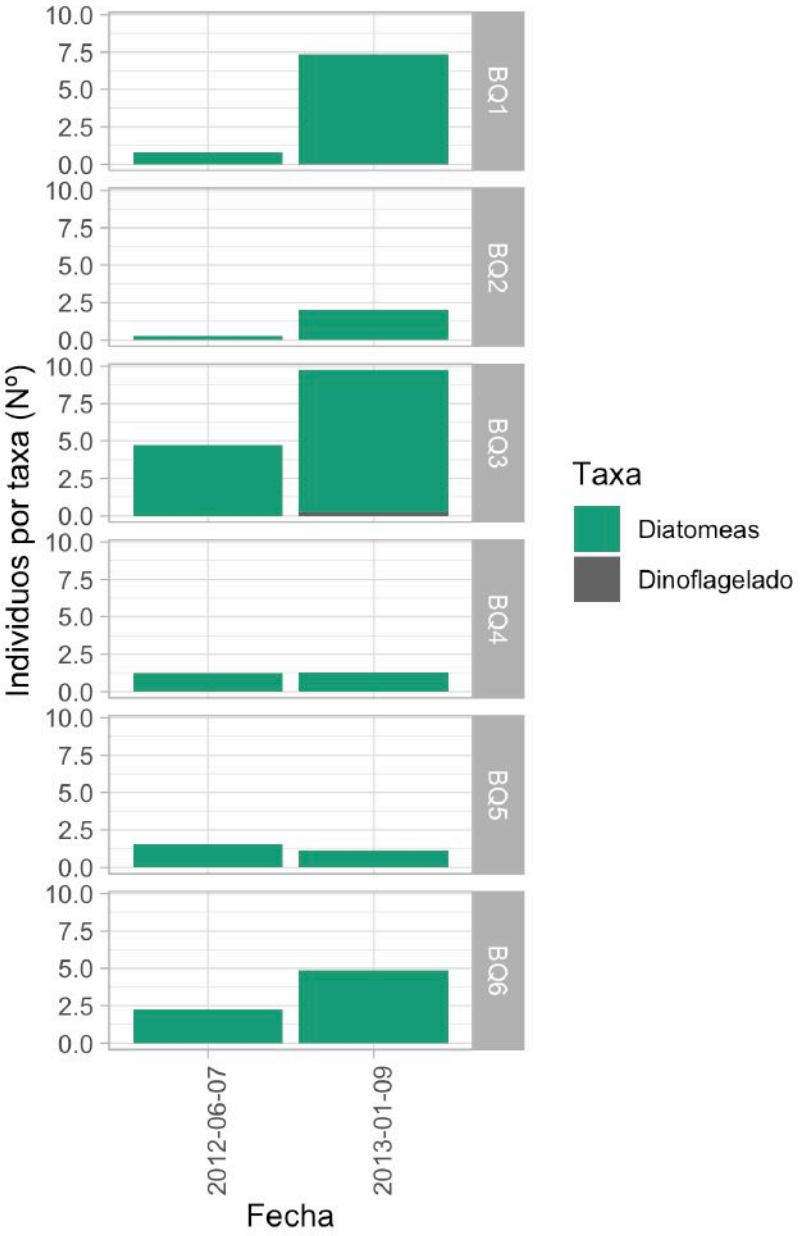


Figura 325. Composición taxonómica de fitoplancton, CEA 2014.

En la **Figura 326** se entrega la composición taxonómica para la comunidad de ictioplancton entre las campañas de invierno 2012 y verano 2013, destacando altas abundancias de huevos de mote (*N. crockeri*) en las estaciones BQ1 y BQ5 durante invierno. En general, se observó una baja presencia de ictioplancton entre estaciones y campañas de muestreo.

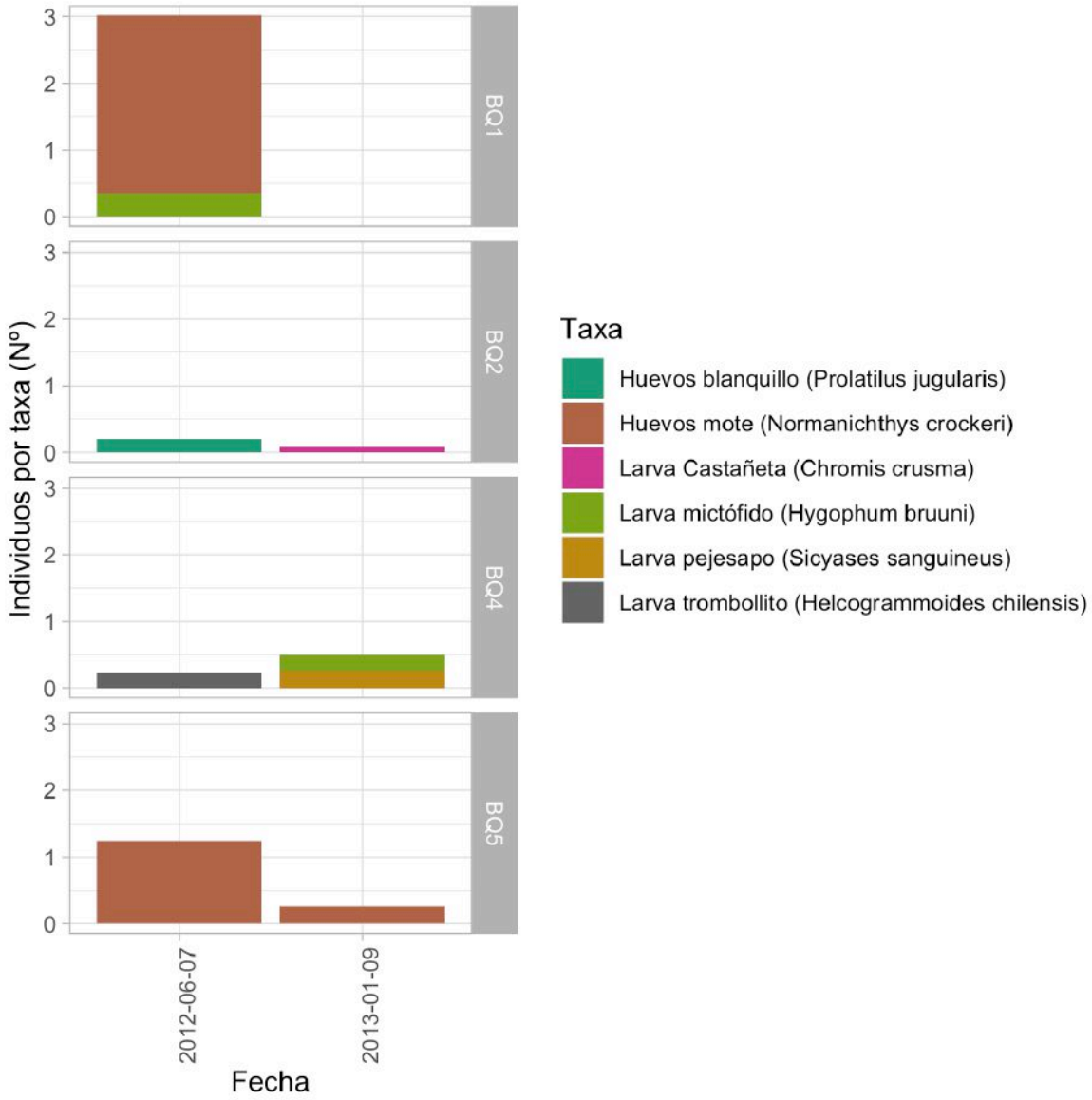


Figura 326. Composición taxonómica de ictioplancton, CEA 2014.

5.5.2.3.2 Determinación de patrones espacio-temporales

Columna de agua

En la **Figura 327** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para el total de parámetros analizables medidos en columna de agua, durante los meses de junio de 2012 y enero de 2013. El análisis arrojó diferencias significativas entre épocas de año (PERMANOVA R^2=0,49; P<0,01), con mayores niveles de bario total, bario disuelto, clorofila, sólidos suspendidos totales, conductividad, nitrógeno total kjeldahl, molibdeno disuelto, nitrógeno total, alcalinidad, vanadio total, vanadio disuelto, magnesio y cobalto total durante el verano de 2013; y mayores concentraciones de plata disuelta, plata total, coliformes totales, fósforo, cloruros, nitratos, nitritos, carbono orgánico total y carbono orgánico disuelto durante invierno de 2012. Los parámetros boro disuelto, boro total, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cobalto disuelto, solidos disueltos, salinidad y hierro total, tendieron a mantener sus concentraciones durante ambas campañas de monitoreo.

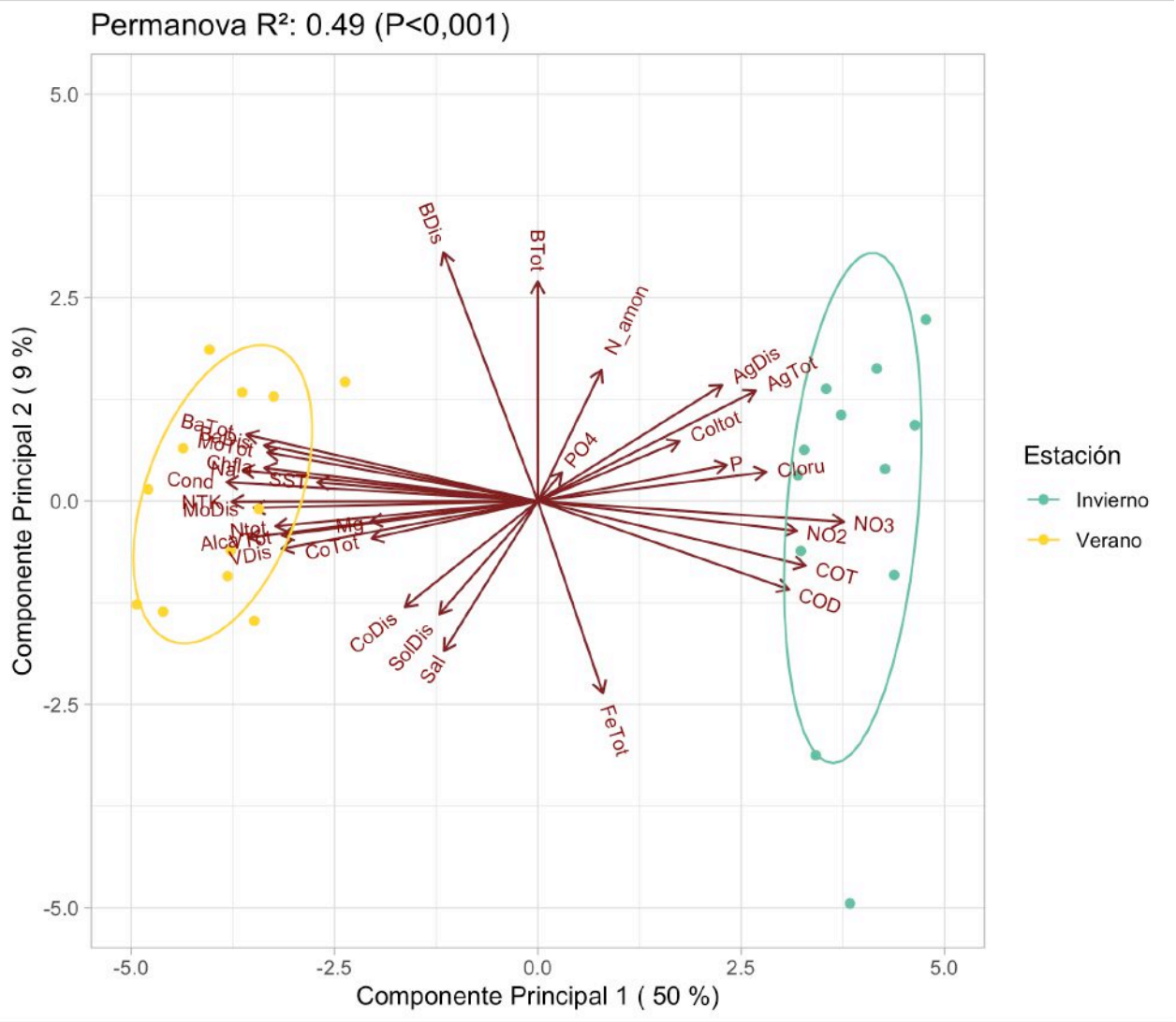


Figura 327. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en columna de agua.

Sedimentos

En la **Figura 328** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para el total de parámetros analizables medidos en sedimentos, durante los meses de junio de 2012 y enero de 2013. El análisis arrojó diferencias significativas entre épocas de año (PERMANOVA R^2=0,36; P<0,01), con mayores niveles potencial Redox, mercurio y pH durante el invierno de 2012; y mayores concentraciones de hierro, plomo, boro, nitrógeno orgánico, vanadio, cobalto, nitrógeno total, arsénico total, carbono orgánico total, manganeso, fosfato, fósforo total, cadmio, cromo y níquel durante verano de 2013. Los parámetros granulométricos limo, arena muy fina, arena fina, grava fina y arena gruesa, y los parámetros químicos aluminio, zinc, materia orgánica total, tendieron a mantener sus concentraciones durante ambas campañas de monitoreo.

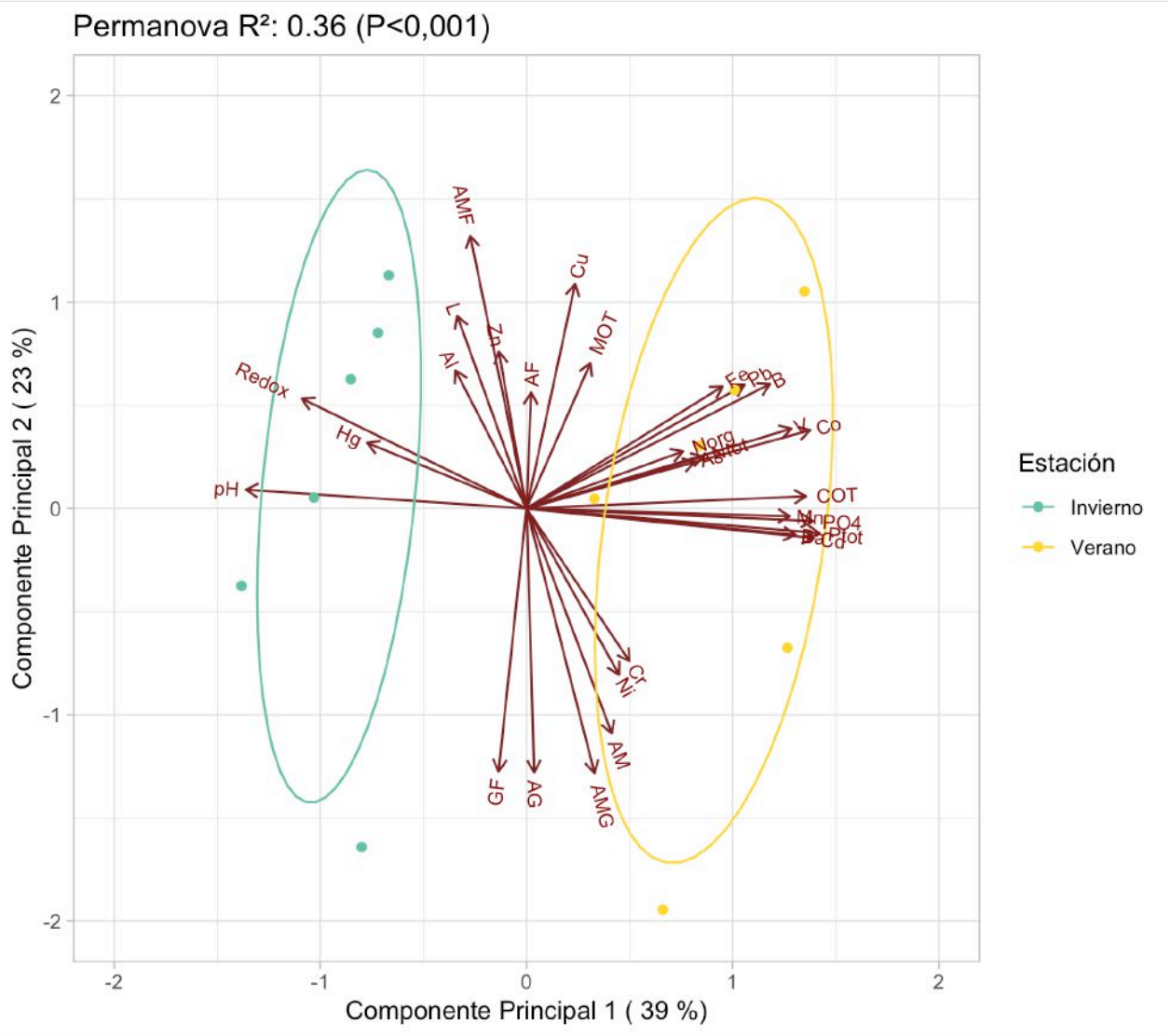


Figura 328. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en sedimentos.

Calidad de organismos

En la **Figura 329** se entrega un análisis de componentes principales (PCA), para el total de parámetros analizables medidos en *Fissurella sp*, en 3 localidades diferentes durante enero de 2013. El análisis arrojó diferencias significativas entre localidades (PERMANOVA R^2=0,40; P<0,01), con mayores niveles plata total, arsénico total y cadmio total en la localidad de Horcón ubicada al norte de bahía Quintero; por el contrario, los parámetros plomo total, selenio total,

cobre total, zinc total, boro total, litio total, aluminio total y manganeso total, presentaron mayores concentraciones en la localidad de Ritoque. Los organismos extraídos de la localidad de Quintero, presentaron menores concentraciones de bario total. Cabe destacar que, tanto en Horcón como Ritoque se analizaron 10 puntos de muestreo; mientras que, en Quintero, hay registros de estos parámetros solo para 3 puntos de muestreo.

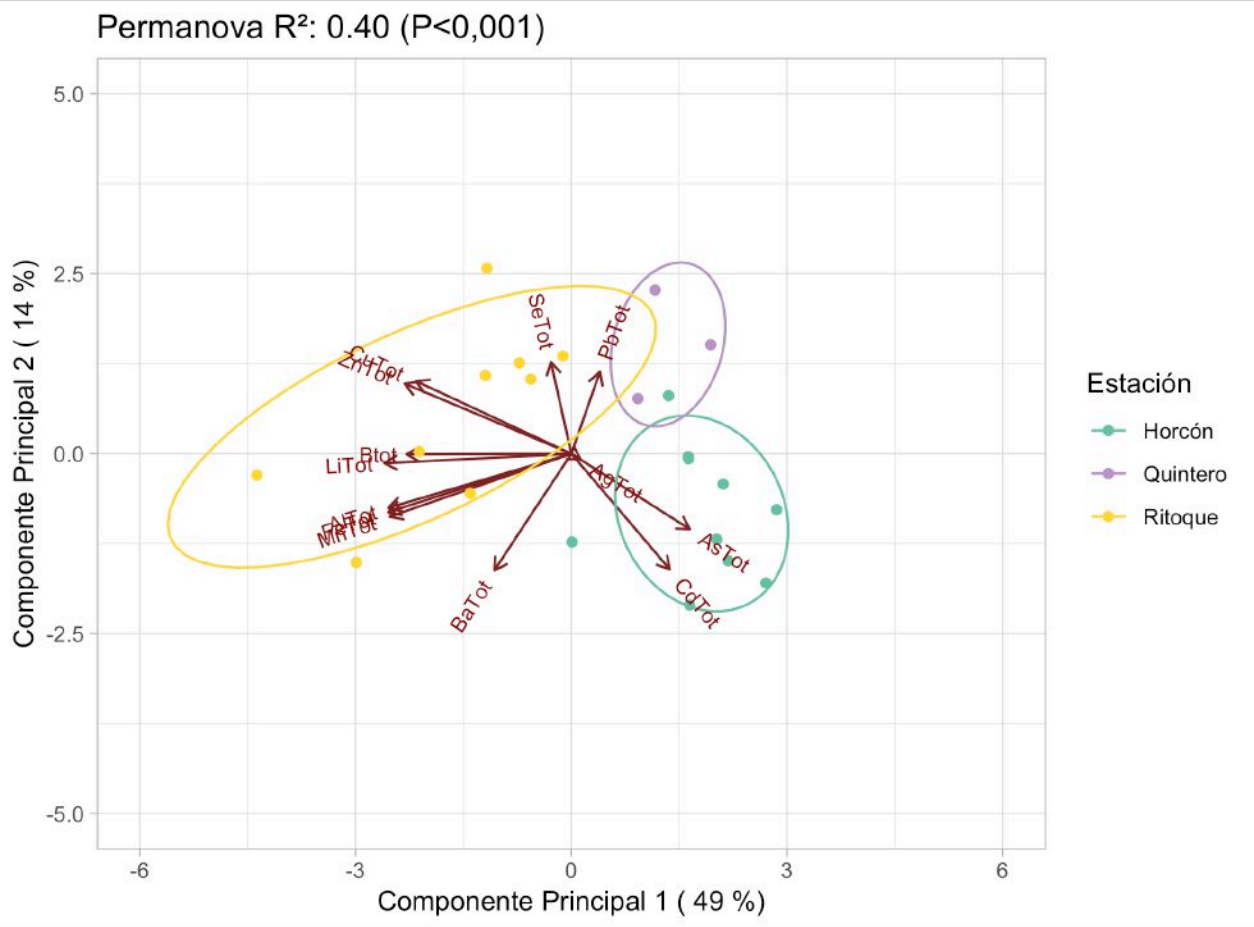


Figura 329. Análisis de componentes principales para la totalidad de parámetros analizables monitoreados por el CEA en organismos.

Comunidades

En la **Figura 330** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna intermareal. En la mayoría de las estaciones la riqueza de especies fue más alta en verano, salvo las estaciones BQ2_TR y BQ3_TR. Del mismo modo, el resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que la campaña de invierno presenta diversidades más bajas que en verano, observándose valores que oscilan mayormente entre 0 y 1,5.

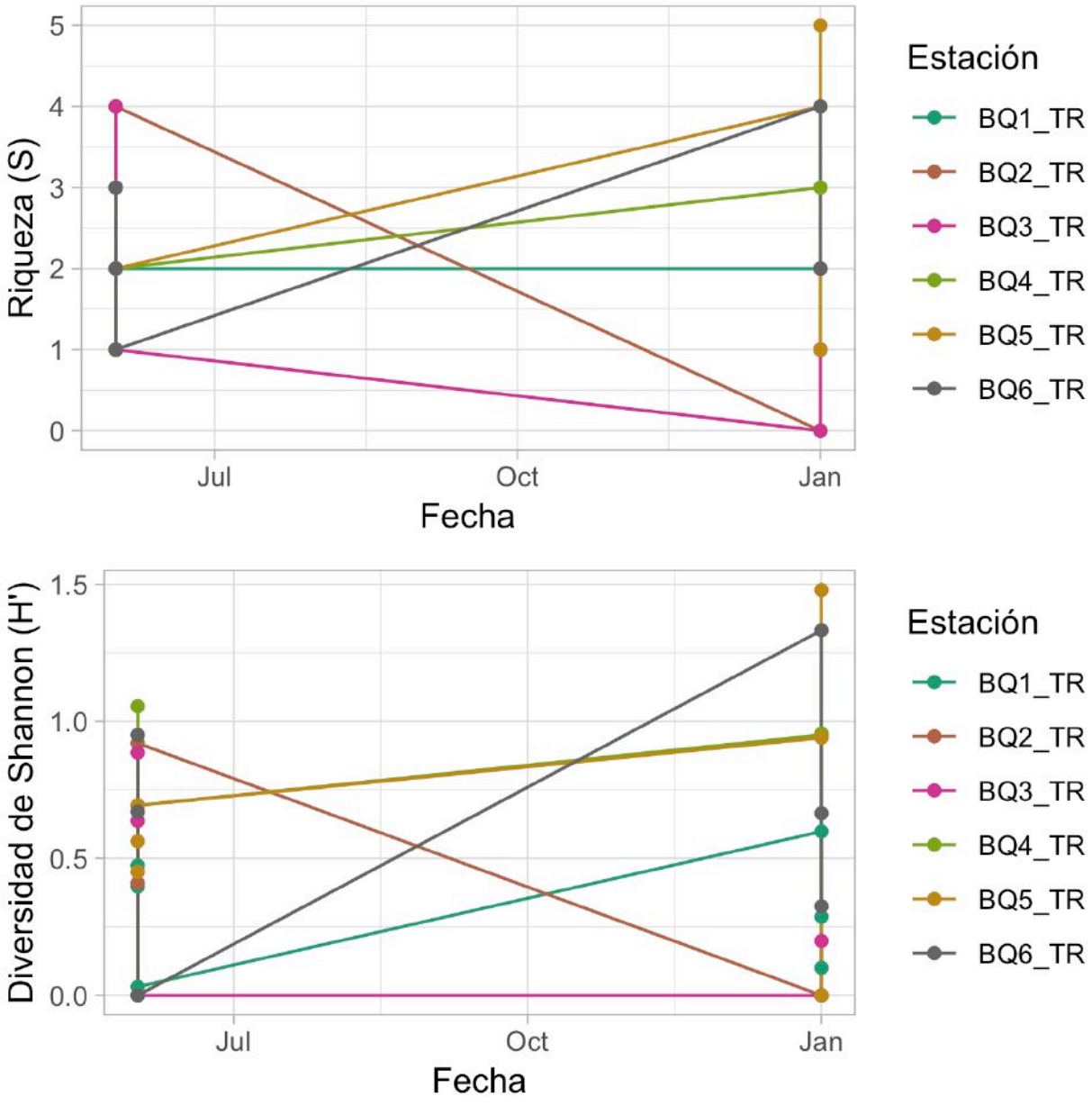


Figura 330. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la comunidad bentónica intermareal.

El análisis NMDS efectuado para macrofauna intermareal (**Figura 331**), muestra la existencia de un patrón asociado a la diferenciación entre secciones de muestreo, donde las estaciones del intermareal alto (A) tienden a diferenciarse debido a la mayor presencia *de Oligochaeta, Orchestoidea tuberculata, Mysella sp y Nassarius gayi;* mientras que la sección baja (B) se diferencia debido a una mayor presencia de la especie *Emerita análoga y Aglaophamus sp*. Estos resultados corroboran que la estructura de las comunidades del intermareal obedece a un cambio en el patrón de secciones, resultado que es estadísticamente significativo (PERMANOVA R^2=0,16; p<0,001).

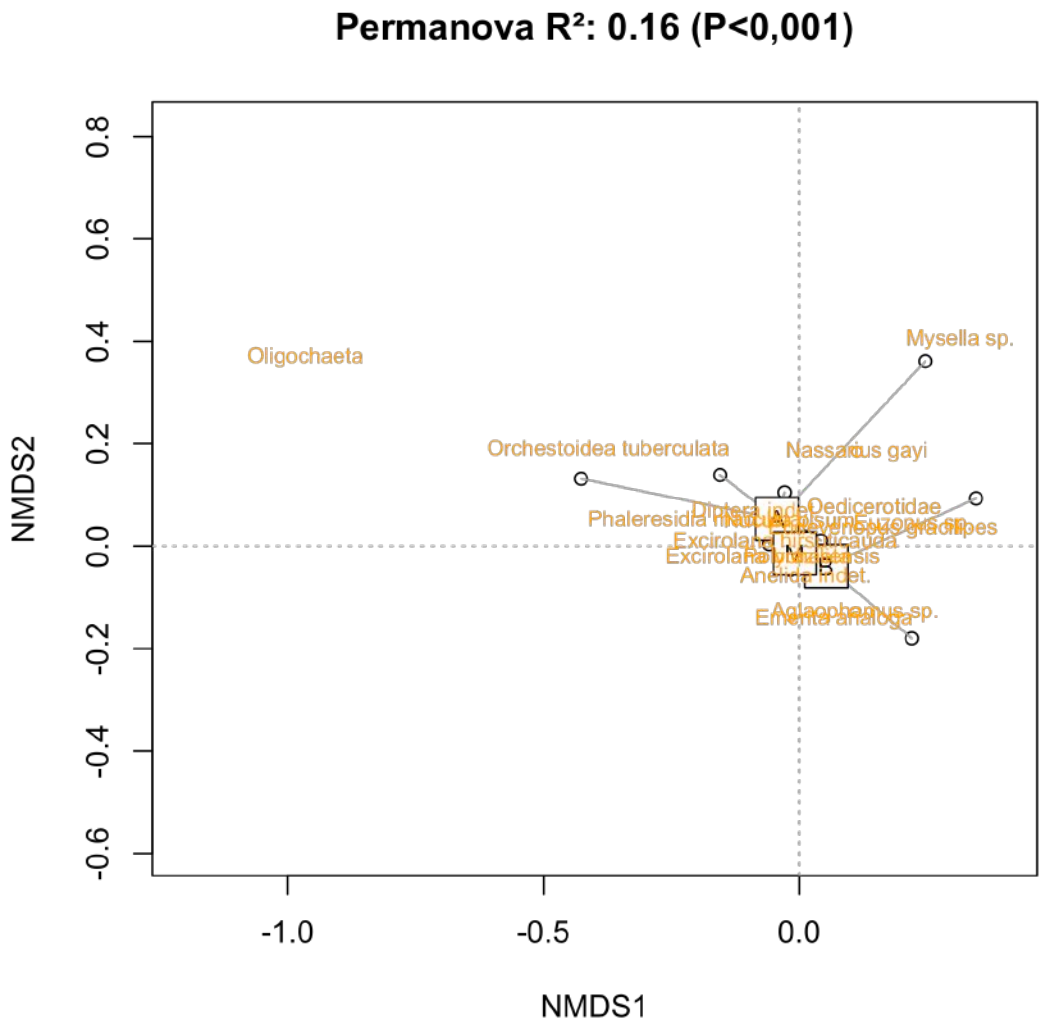


Figura 331. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el intermareal.

En la **Figura 332** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la megafauna intermareal. En la mayoría de las estaciones la riqueza de especies fue más alta en verano, salvo las estaciones BQ1-TR y BQ6-TR. Del mismo modo, el resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra que la campaña de invierno presenta diversidades más bajas que en verano, observándose valores que oscilan mayormente entre 0 y 1,5, exceptuando las estaciones BQ1-TR y BQ6-TR, con diversidades que se mantuvieron constantes entre campañas.

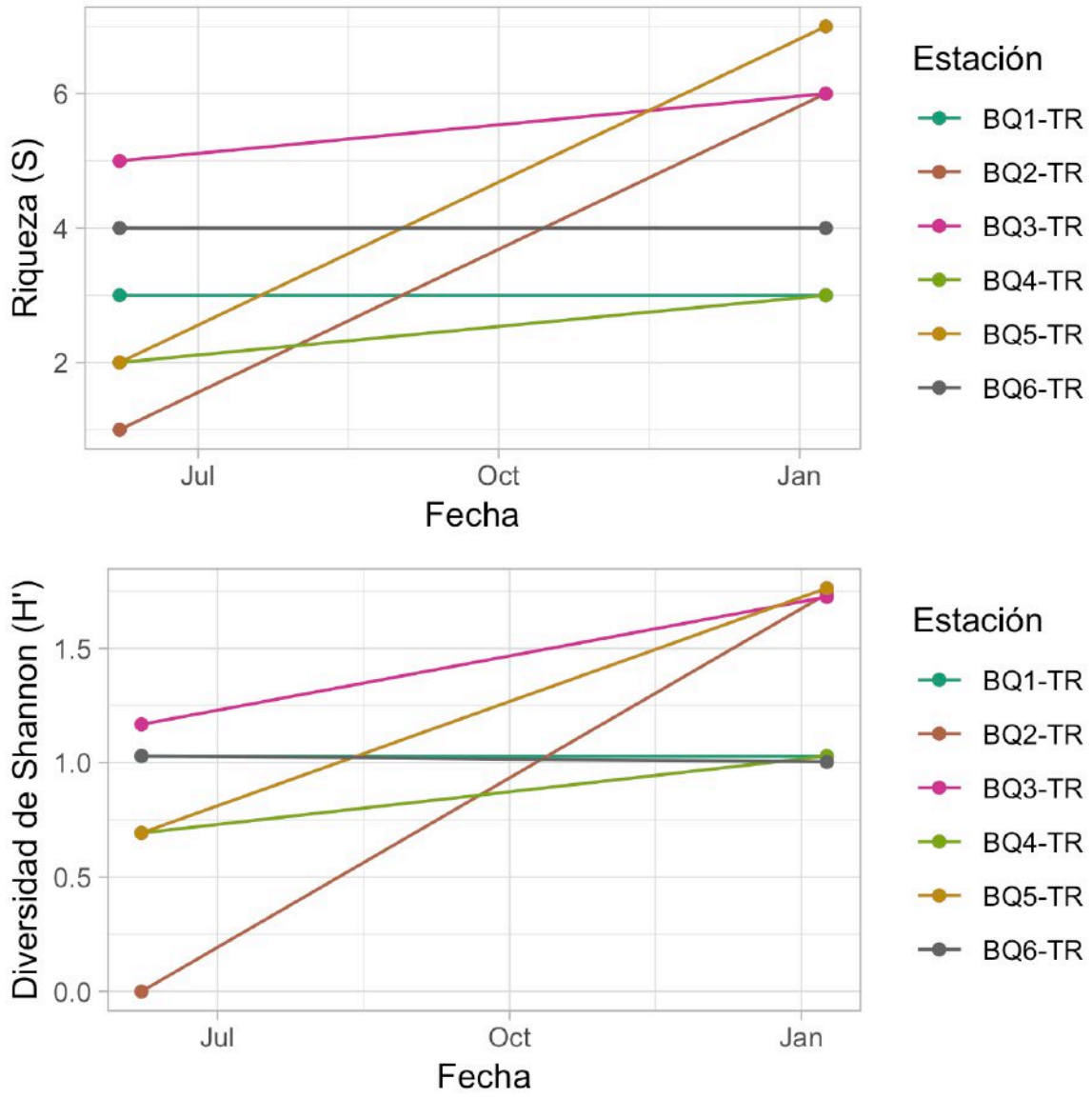


Figura 332. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para la megafauna intermareal.

El análisis NMDS efectuado para megafauna intermareal (**Figura 333**), muestra que no existen diferencias significativas en la composición taxonómica entre invierno y verano (PERMANOVA R^2=0,06, P=0,35). Solo es posible observar que las especies *Renilla chilensis* y *Olivia peruviana* están mayormente presentes en época de invierno.

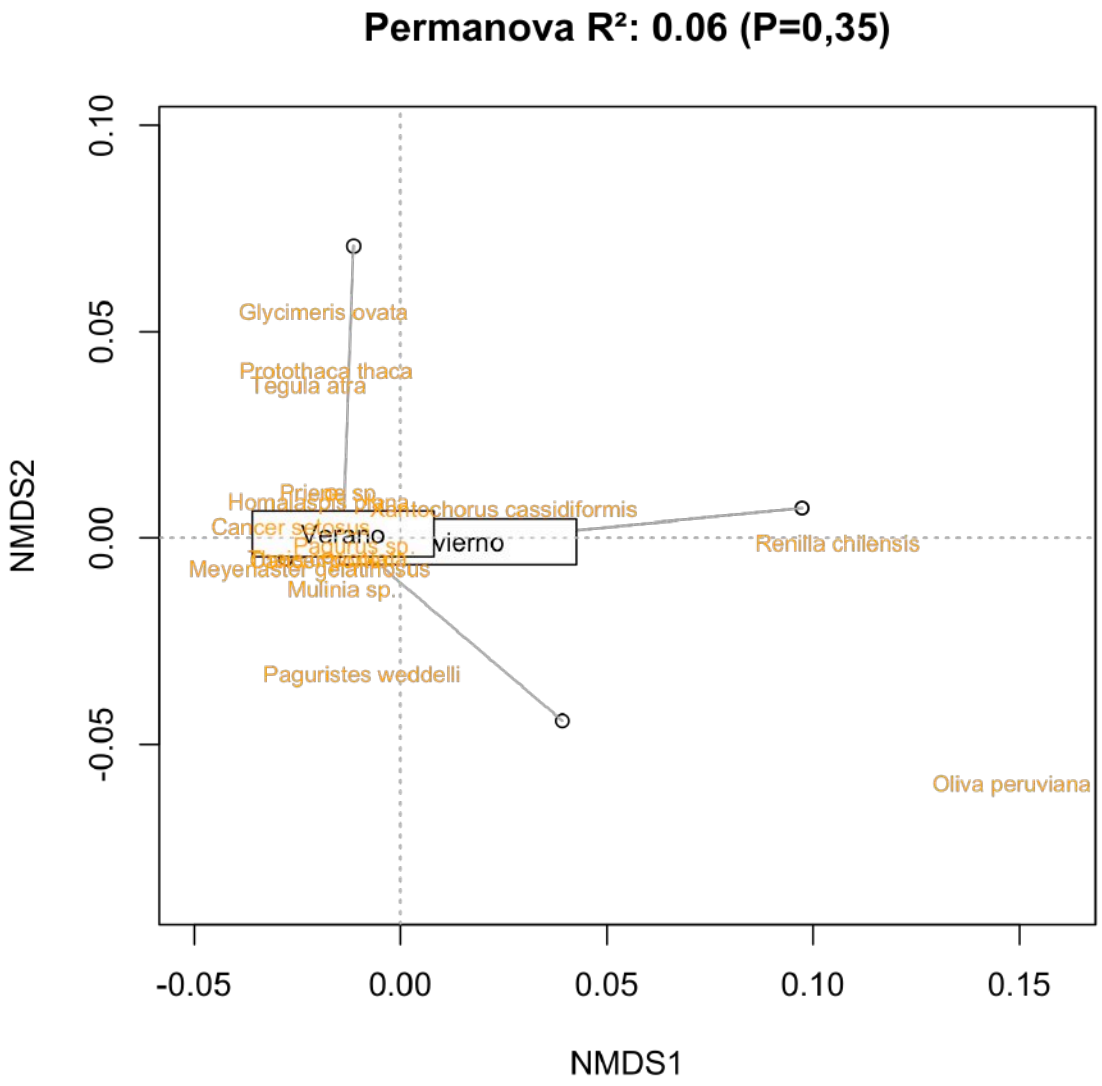


Figura 333. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en megafauna intermareal.

En la **Figura 334** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades de la macrofauna submareal. En todas las estaciones la riqueza de especies fue más alta en invierno, con máximos superiores a 60 especies, registrado para la estación BQ1. El resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra diferencias entre campañas y estaciones de muestreo. Las estaciones BQ2 y BQ4 presentaron diversidades similares en invierno y verano; mientras para la estación BQ1 y BQ5 fueron mayores en invierno. Finalmente, en la estación BQ6 las diversidades fueron mayores en verano.

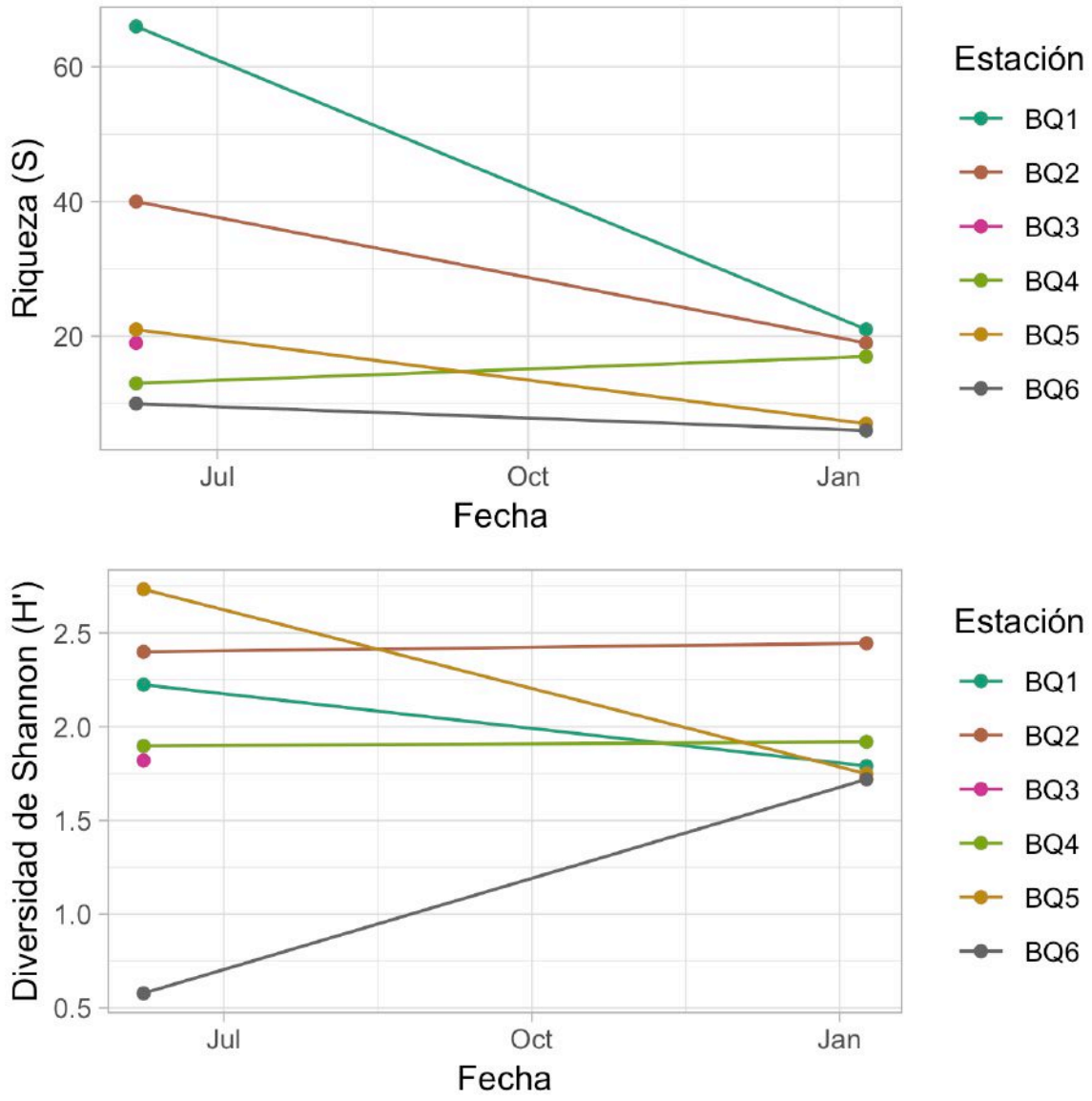


Figura 334. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para macrofauna submareal.

En la **Figura 335** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del fitoplancton. La riqueza presentó diferencias entre estaciones y campañas de muestreo, destacando mayor número de especies las estaciones BQ1 y BQ2 durante verano y en la estación BQ6 durante invierno. Por otro lado, el resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra en todas las estaciones de muestreo, mayores diversidades en verano, con valores máximos (H'>1,2) registrados para la estación BQ1.

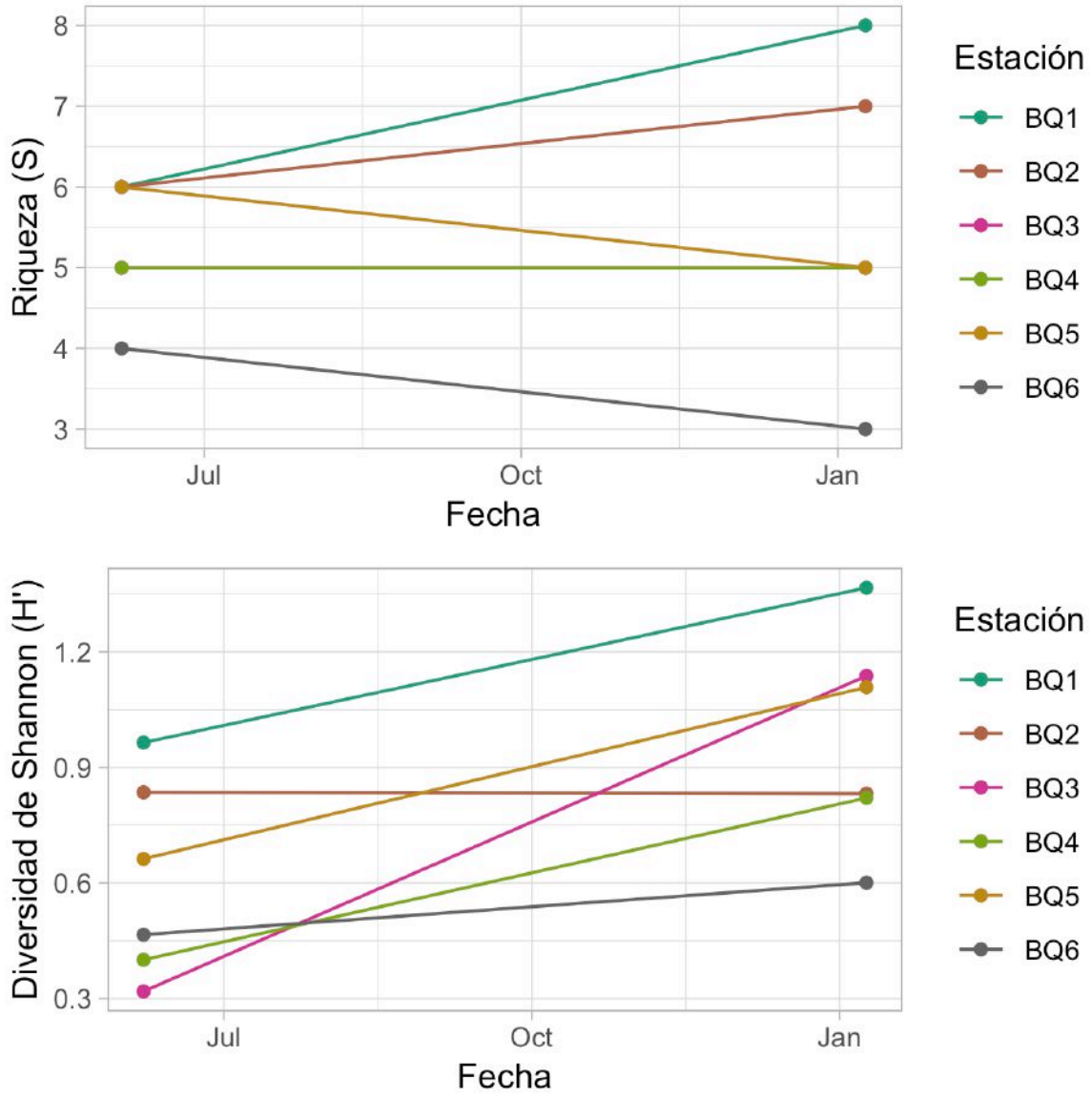


Figura 335. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para fitoplancton.

El análisis NMDS efectuado para fitoplancton (**Figura 336**), muestra diferencias significativas entre épocas de muestreo, con mayor presencia de las especies *Chaetoceros sp, Cylindrotheca closterium* y *Lichmophora sp.* en verano, mientras que en invierno se observa un mayor dominio para la mayoría de las especies registradas (PERMANOVA R^2=0,25, P<0,05).

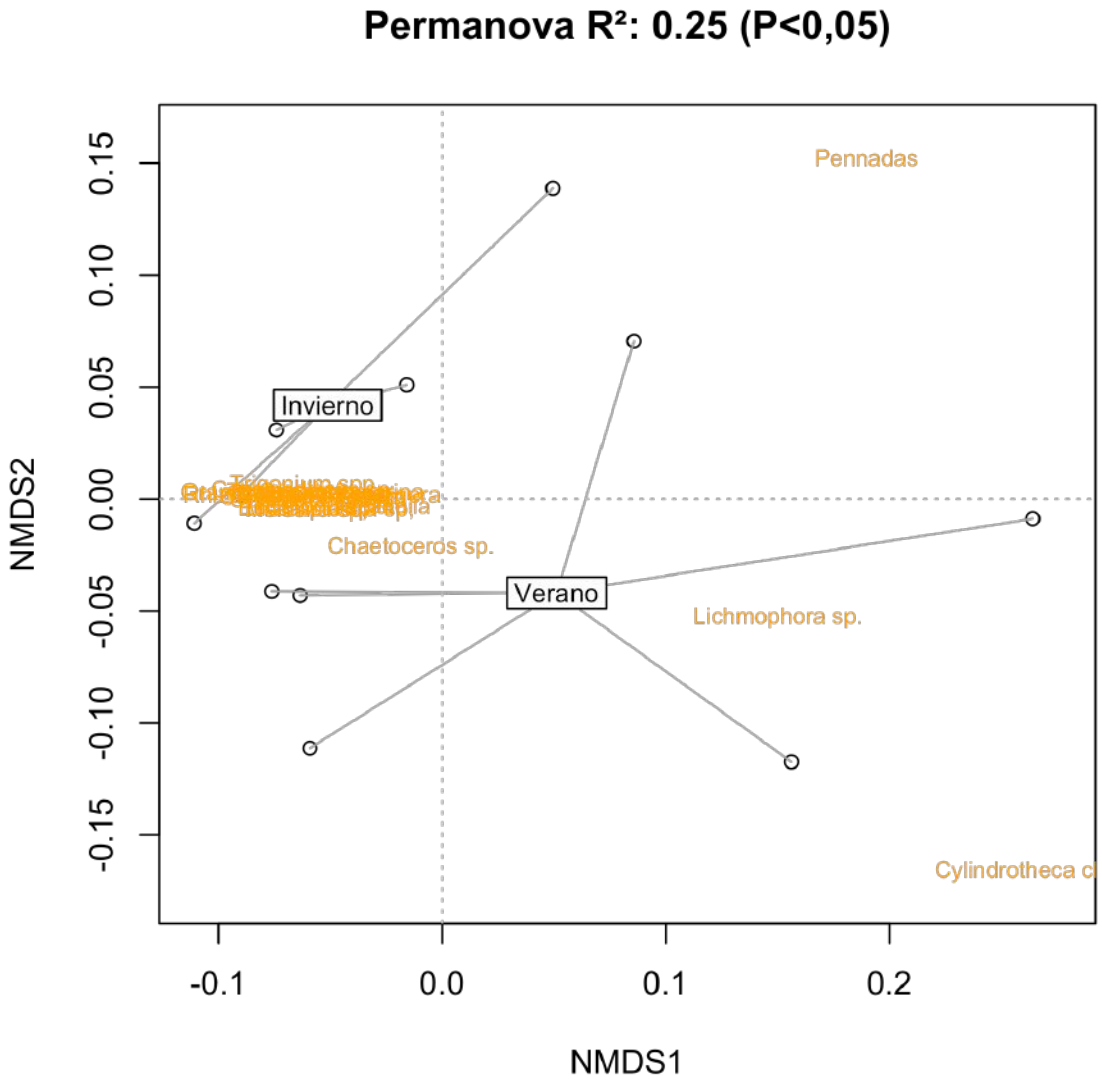


Figura 336. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el fitoplancton.

En la **Figura 337** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del zooplancton. En la mayoría de las estaciones la riqueza de especies fue más alta en verano, con

máximos superiores a 17 especies, registrado para la estación BQ1. Por otro lado, el resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra mayores diversidades en invierno, con máximos (H'>1,5) registrados en las estaciones BQ1, BQ4 y BQ6.

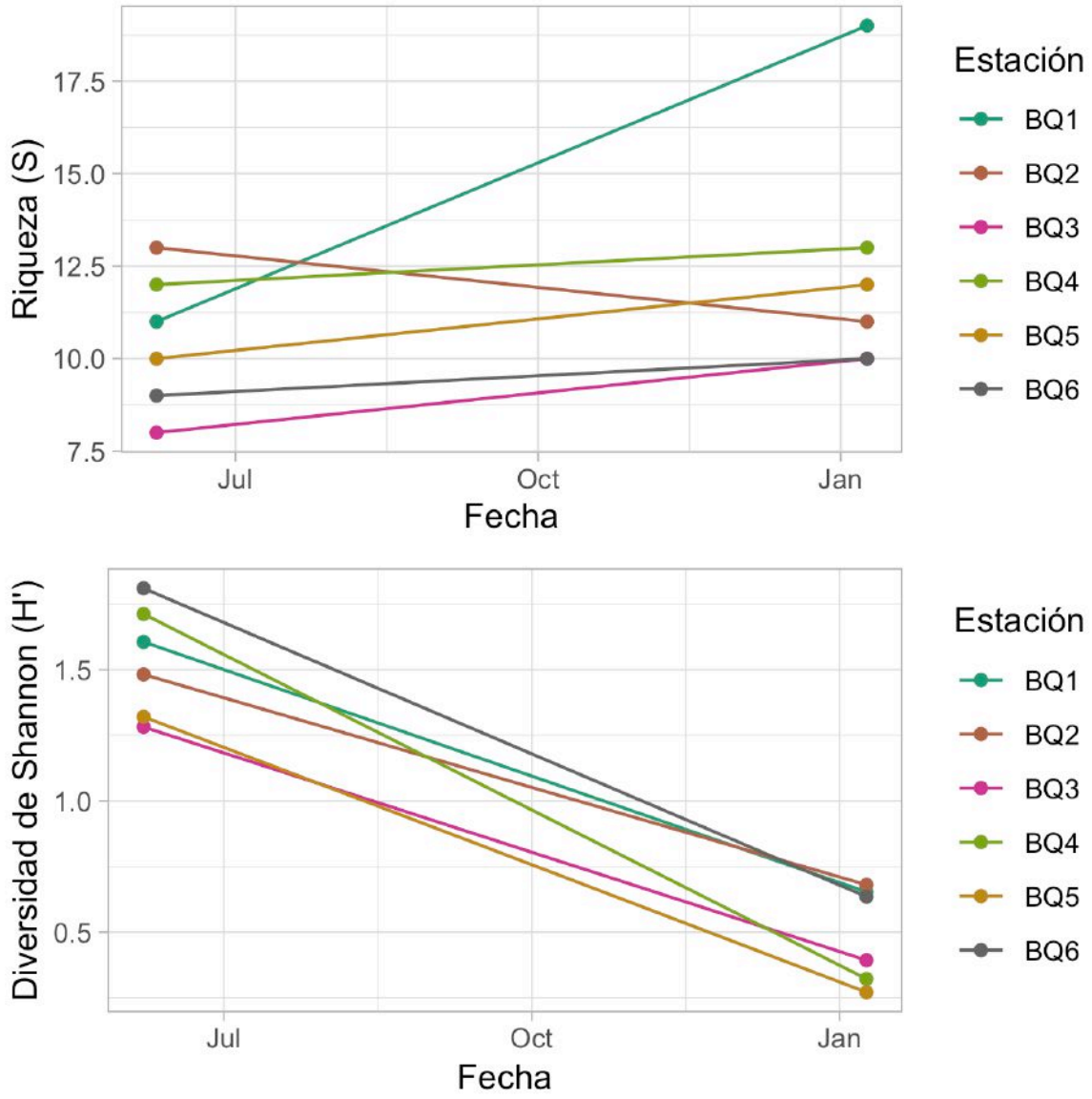


Figura 337. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para zooplancton.

El análisis NMDS efectuado para zooplancton (**Figura 338**), muestra la existencia de un patrón asociado a la diferenciación entre épocas de muestreo. Durante invierno, la composición del zooplancton presentó un mayor dominio de larvas de crustáceos (zoea y nauplius), grupos de

gelatinosos (Appendicularia y Tunicados) y copépodos del orden Cyclopoida; mientras que en época estival el zooplancton presenta un mayor dominio de copépodos de pequeño y mediano tamaño, (*Acartia tonsa, Rhincocalanus nasutus, Paracalanus indicus, Centropages brachiatus*) y larvas zoeas de crustáceos decápodos (*Pleuroncodes monodon*). Estos resultados corroboran que la estructura de las comunidades del zooplancton se encuentra modulado por la variabilidad estacional, resultado estadísticamente significativo (PERMANOVA R^2= 0,69, P=0,005).

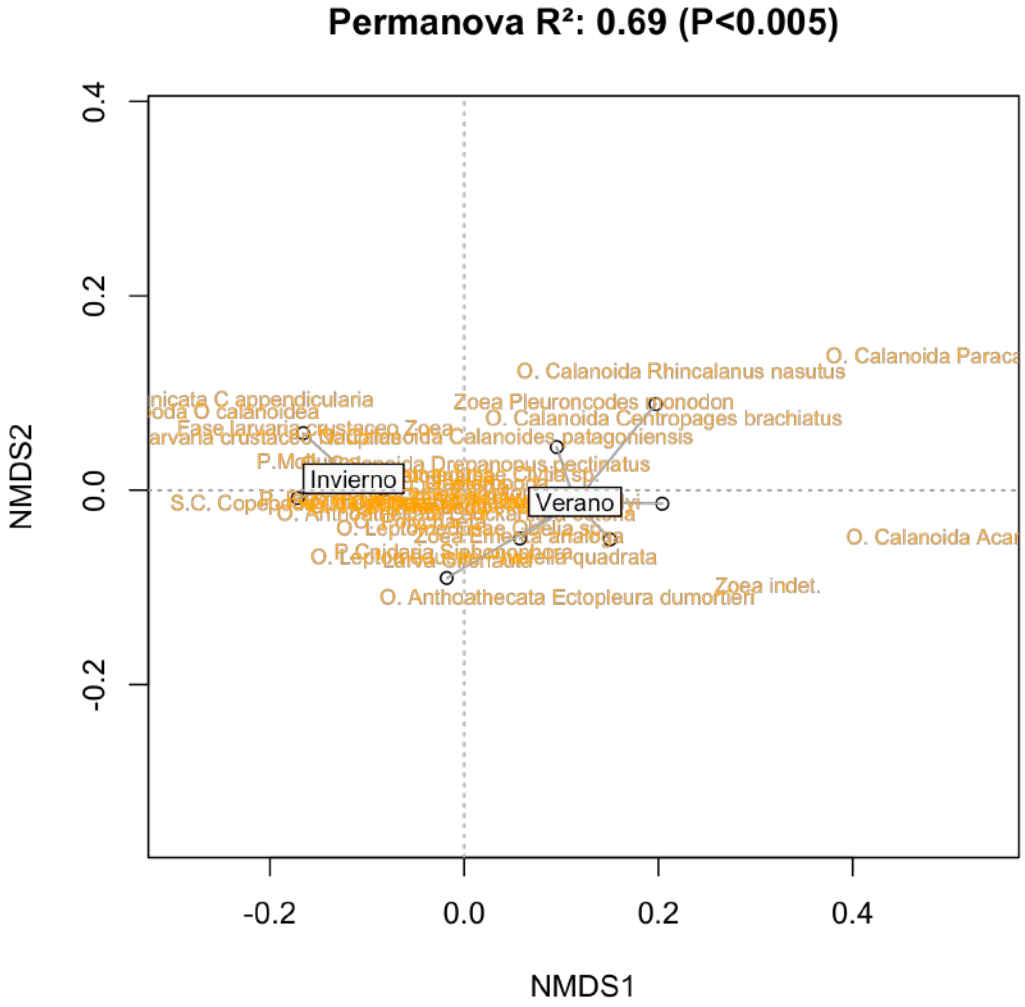


Figura 338. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el zooplancton.

En la **Figura 339** se entregan los resultados de Riqueza y Diversidad para las comunidades del ictioplancton. En la mayoría de las estaciones, la riqueza de especies fue mayor en verano. Del

mismo modo, el resultado del análisis del índice de diversidad de Shannon muestra mayores diversidades en verano, con valores máximos superiores a H'>0,6.

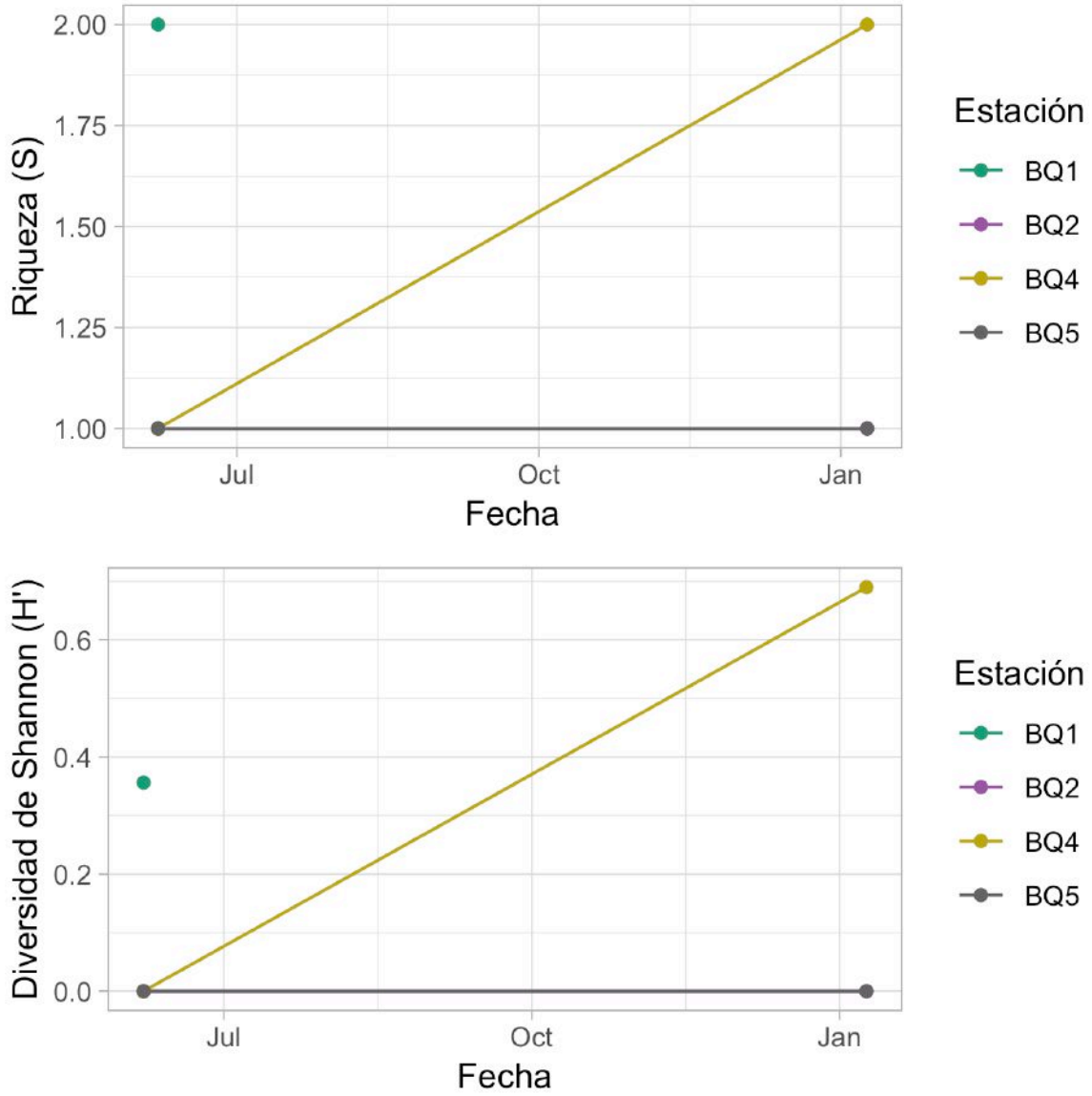


Figura 339. Resultado del análisis de la Riqueza observada (S); por estación de muestreo para ictioplancton.

El análisis NMDS efectuado para ictioplancton (**Figura 340**), no muestra diferencias significativas entre épocas de muestreo (PERMANOVA R^2=0,20, P=0,39).

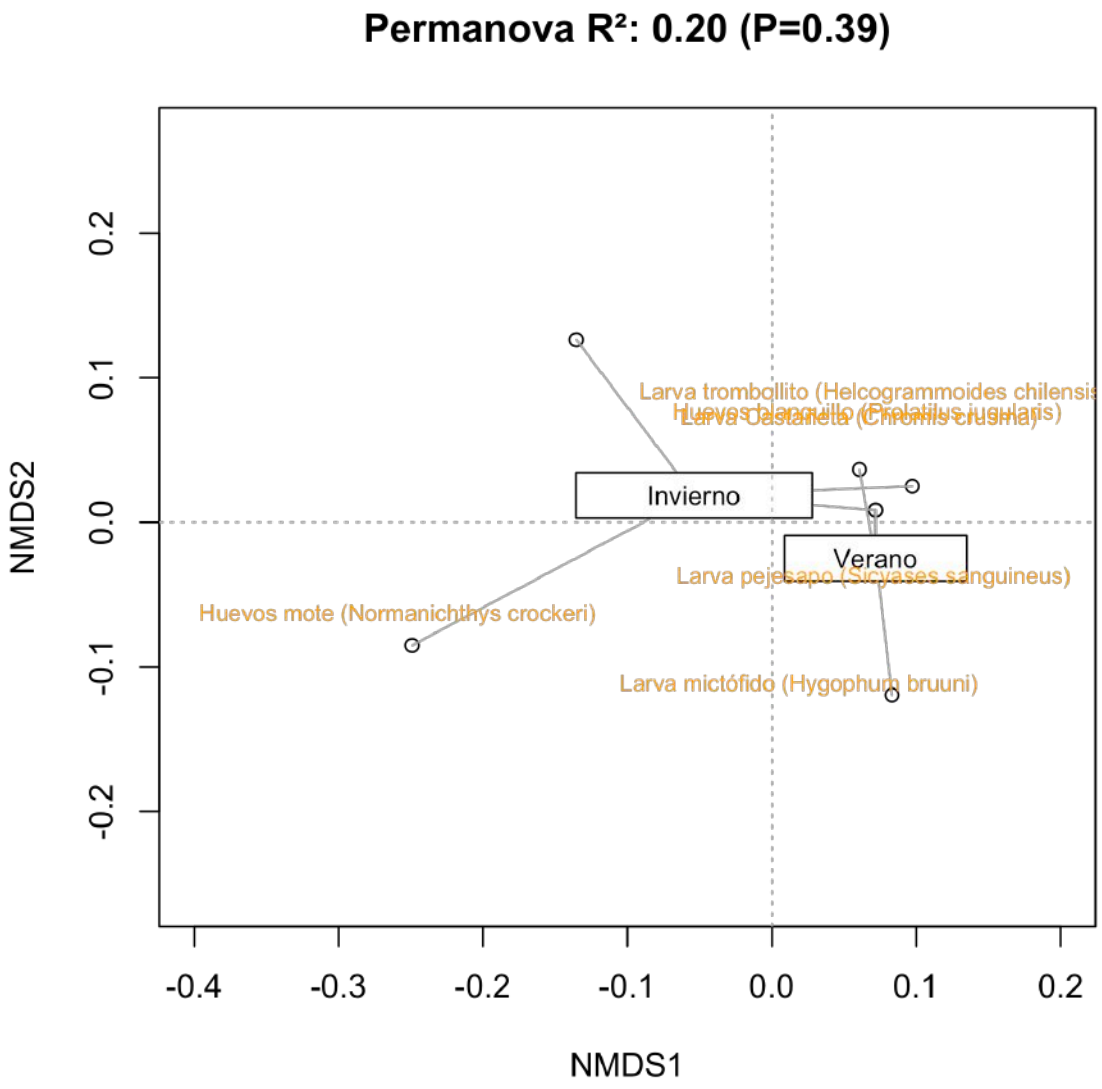


Figura 340. Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para secciones por taxa identificado en el ictioplancton.

5.5.3 Sistematización de información bibliográfica

La información disponible para el sector de Bahía Quintero-Puchuncaví presentó un amplio número de antecedentes, que incluye publicaciones científicas nacionales e internacionales, tesis académicas e informes técnicos, revelando investigaciones en diferentes ambitos, destacando estudios ambientales, genómicos, paleoecológicos, geográficos y sociológicos-antropológicos.

Del total de artículos científicos analizados, 9 correspondieron a publicaciones internacionales, 6 en revistas nacionales y 6 a tesis académicas, incluyendo tesis de estudios de pre- y postgrado. En cuanto a la revisión de documentación técnica, se recopiló estudios de carácter ambiental para las matrices aire, suelo, agua y biota, abordados principalmente en las comunas costeras de Concón, Quintero y Puchuncaví. Para efectos de este reporte, se destacan aquellos estudios donde se realizan análisis de calidad química, específicamente en los ecosistemas marinos. Dentro de los documentos técnicos analizados, se destaca que los informes de POAL (DIRINMAR, 2019) y del Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2014) incluyeron bases de datos analizables, las cuales fueron incluidas dentro de los análisis efectuados para el presente Informe.

Los principales resultados obtenidos producto de la sistematización de la información bibliográfica disponible indican que Bahía Quintero, se encuentra en una condición ambiental crítica, revelando serios problemas de contaminación.

En cuanto al sistema marino, el gran desarrollo de actividades industriales que operan en el borde costero ha provocado que estas comunas se encuentren altamente intervenidas, dado que la operación conlleva a la generación y liberación de sustancias al ambiente. Se ha documentado una disminución de la calidad química tanto en agua, como sedimentos marinos y biota dentro de la bahía (DIRINMAR, 2019; Encina et al. 2015; CEA, 2014), con parámetros que exceden las referencias ambientales utilizadas actualmente, provocando un alto riesgo ecológico tanto en el sistema marino como en la población residente (Carrasco et al. 2015).

En síntesis, la información recopilada indica que, el aumento y la priorización del establecimiento de polos industriales, por sobre el bienestar del ambiente y sus comunidades, generan situaciones de peligro, como la exposición a altas concentraciones de contaminantes, convirtiendo a la bahía de Quintero en una Zona de Sacrificio, la cual debe ser monitoreada en forma regular para conservar su calidad en el mediano a largo plazo (Valenzuela, 2016). El resultado de la sistematización de información se entrega en el **Anexo 1**.

5.6 OE3. Análisis crítico de los Planes de Seguimiento y propuesta de nuevos criterios y variables a incorporar en dichos Planes.

5.6.1 Análisis general de las técnicas de laboratorio indicadas en los PSBQ

Se analizó un total de 861 métodos evaluados tanto en agua como en sedimentos, en un registro que consideró aquellas campañas de monitoreo donde se constató cambios en los límites de detección o cambios de técnicas de análisis. El análisis se hizo en forma separada para columna de agua y para sedimentos.

5.6.1.1 Columna de agua

De un total de 600 métodos de análisis evaluados para columna de agua, se puede establecer que solo en 9 casos se hace referencia a la matriz marina, estos corresponden a métodos que están dentro de las 13 referencias denominadas otros métodos de análisis (OTM) en la **Tabla 148** y son una combinación de los métodos ST 5520D y PNUMA-COI, para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua de mar.

La información recolectada permite establecer que el 47,8% de las técnicas utilizadas en agua de mar, corresponden a técnicas desarrolladas para el análisis de las matrices de aguas continentales o aguas de desechos, en específico estas son SM (43,3%) y NCh (4,5%). En tanto que el 45,3% de los métodos de análisis revisados para agua, no hacen referencia al método utilizado, informando solo la técnica de análisis o el equipamiento con el que se desarrolló dicho análisis (**Tabla 148**).

Tabla 148. Revisión general de los métodos utilizados en columna de agua de mar en los programas de seguimiento ambiental de Bahía Quintero.

Referencia del Análisis en Agua de Mar	N° de Referencias	% de Referencias
SM (Standard Method)	260	43,3
EPA (Environmental Protection Agency Method)	7	1,2
SM/EPA (Técnicas Combinadas)	4	0,7
NCh (Norma Chilena)	27	4,5
OTM (Otras Metodologías de Análisis)	13	2,2
RE (Resolución Exenta)	-	-
Referencia (Métodos de Papers y Libros)	17	2,8
Sin Método (Equipamiento o Técnica de Análisis)	272	45,3

5.6.1.2 Sedimentos

De un total de 261 métodos de análisis informados para sedimentos superficiales, se puede establecer que sólo en 4 casos se hace referencia a la matriz marina, estos corresponden a métodos que están dentro de las 37 referencias denominadas otros métodos de análisis (OTM) en la **Tabla 149** y son una combinación de los métodos ST 5520D y PNUMA-COI, para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos marinos.

Adicionalmente, la categoría denominada otros métodos de análisis (OTM) correspondiente al 14,2%, los cuales consideran métodos ISO, INIA y códigos específicos de procedimientos internos de los laboratorios. Sin embargo, ninguno de los métodos que están citados en esta categoría, han sido desarrollados para el análisis de sedimentos.

Finalmente, se puede establecer que el 33,6% de las técnicas utilizadas para sedimentos corresponden a técnicas desarrolladas para aguas, las cuales en su mayoría corresponden a métodos específicos para aguas continentales y aguas de desechos (SM, EPA, RE y SM/EPA). Por último, el 35,6% de los análisis revisados para sedimentos marinos no hacen referencia al método o equipamiento utilizado.

Tabla 149. Revisión general de los métodos utilizados en sedimentos marinos en los programas de seguimiento ambiental de Bahía Quinteros.

Referencia del Análisis en Sedimentos Marinos	N° de Referencias	% de Referencias
SM (Standard Method)	27	10,3
EPA (Environmental Protection Agency Method)	35	13,4
SM/EPA (Técnicas Combinadas)	23	8,8
NCh (Norma Chilena)	-	-
OTM (Otras Metodologías de Análisis)	37	14,2
RE (Resolución Exenta)	3	1,1
Referencia (Métodos de Papers y Libros)	43	16,5
Sin Método (Equipamiento o Técnica de Análisis)	93	35,6

5.6.1.3 Análisis general de los métodos utilizados

Del análisis de los métodos a los cuales hacen referencia los PSBQ realizados en Bahía Quintero, se puede mencionar que, en general sólo se hace mención al método de lectura, y no al método de digestión de la muestra. Esto es muy relevante, especialmente en metales y compuestos orgánicos, debido a que, si no es detallado el método de digestión, no es posible determinar a qué fracción (particulada o disuelta) corresponde el análisis, lo cual no permite evaluar de forma detallada si la metodología empleada en cada análisis es la adecuada.

Solo en casos aislados se informa la fracción en la que fue realizado el análisis, siendo un aspecto altamente relevante desde el punto de vista ambiental, dado que el impacto que tiene una sustancia en la fracción particulada o disuelta es muy distinta para las comunidades naturales y por ende en el sistema. La fracción disuelta, puede permanecer mucho más tiempo en la columna de agua, y a su vez, es una fracción que está biodisponible para ser incorporada por los organismos. En tanto que la fracción particulada, presenta tiempos de residencia en la columna de agua más cortos, y cuyas concentraciones están más relacionadas a la dinámica que afecta a los sedimentos. Además, dado a que corresponde a una fracción de mayor tamaño, sus constituyentes no están biodisponibles para ser incorporados de forma directa como ocurre con la fracción disuelta.

Es importante indicar que, evaluar el tamaño y la biodisponibilidad de estas fracciones es sin duda de gran relevancia ambiental, ya que, este tipo de diferenciación permite tener una

aproximación al riesgo por exposición. Adicionalmente, se ha establecido que la disponibilidad de la mayoría de las especies químicas esta estrechamente relacionada con el tamaño de las partículas, forma química y constante de solubilidad (Kps), (Mehler et al., 2011; Piérard et al., 1996; Davis & Benner, 2005; Vicente-Martorell et al*.,* 2009).

5.6.1.4 Análisis de las técnicas de laboratorio

En términos generales, la información obtenida a partir de los informes PSBQ disponibles, no permite evaluar las técnicas de muestreo y preservación de muestras, debido a que los informes no presentan esta información en detalle. Los pocos documentos que parcialmente informan estos aspectos, señalan procedimientos de forma muy general, sin especificar los métodos para muestreo y preservación de cada análisis efectuado. Sólo en algunos informes de laboratorio se indica que los muestreos fueron realizaron con un laboratorio acreditado INN, bajo Norma Técnica 17.025 o 17.020, sin detallar el método de muestreo o si los tiempos de preservación son ajustados a la naturaleza de los análisis.

En cuanto a las técnicas de laboratorio, existen varios puntos que es necesario destacar:

- Los PSBQ presentan cambios regulares de laboratorio entre las distintas campañas de muestreo, lo que a su vez conlleva cambios en las técnicas, métodos, límite de cuantificación y límite de detección para los parámetros a través del tiempo.

- En general no se detallan las metodologías de análisis, solo se menciona la técnica (i.e., gravimetría, espectrofotometría, colorimetría, GC/MS, etc.). Esta descripción es muy general y no permite evaluar si el método que se está utilizando es el adecuado para la matriz, o si esta técnica permite obtener cuantificaciones en el orden del parámetro a niveles naturales.

- Cuando se mencionan los métodos, los laboratorios que ejecutan los análisis declaran utilizar principalmente los Standard Method (SM), que son procedimientos analíticos desarrollados para aguas y aguas residuales, que no deben ser extrapolados directamente a la matriz marina sin una previa validación, ya que, el agua de mar es una matriz extremadamente compleja que contiene una gran cantidad de interferentes (dependiendo de la salinidad). En otras palabras, no es adecuado utilizar los métodos de

SM sin ejecutar previamente un exhaustivo procedimiento, que elimine los interferentes que genera el agua de mar, y con porcentajes de recuperación y límites de cuantificación acordes con la matriz marina, la cual presenta muchos elementos orgánicos e inorgánicos a nivel de traza y ultra traza. La información sobre las limitaciones y campos de acción de las técnicas efectuadas a partir de los Standard Method (SM), se indica en la Sección A (Introducción) de cada método descrito en el SM.

- En cuanto a sedimentos, las UF AES GENER 1 y 2 y OXIQUIM, están utilizando metodologías desarrolladas para aguas. Por ejemplo, el parámetro sulfuros aparece en varios PSBQ ejecutados bajo la metodología SM 4500 (4500-S2- D: Sulfide by Methylene Blue, Examination of Water and Wastewater), desarrollado para aguas y aguas residuales.

- Es importante destacar que, la SMA comenzó a exigir a fines del 2016, que los programas de monitoreo ejecutados bajo una resolución de calificación ambiental, debían ser analizados con laboratorios que contaran con la autorización de Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) y que los muestreos fuesen ejecutados por un laboratorio acreditado bajo la Norma 17025 en los alcances autorizados para muestrear, o bien por una entidad técnica con acreditación 17020 y con autorización ETFA a partir del año 2018. No obstante, estas exigencias no se ven reflejadas en los informes evaluados, donde una parte importante de los PSBQ son ejecutados por laboratorios sin acreditación, una proporción menor por laboratorios acreditados como INN bajo la norma 17025 y una cantidad muy baja por laboratorios con autorización ETFA.

Con estos antecedentes, en la **Tabla 150** se entrega un resumen con los principales parámetros analizados actualmente en los PSBQ de Bahía Quintero y el método recomendado y validado para agua y sedimentos marinos.

Tabla 150. Resumen de los principales parámetros analizados en los PVAs de Bahía Quintero para matriz marina (agua y sedimentos). Se indica límite de detección recomendado (LD), límite de cuantificación recomendado (LC), unidad de medida y referencias a los métodos validados.

Matriz	Parámetro	Metodología	LD	LC	Unidad	Métodos Validados en Matriz Marina
Agua	Aceites y Grasas	Gravimetría	0,3	1	mg L-1	H. H. Rump and H. Krist: Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water and Soil. 1988.
Agua	Amonio	Espectroscopía UV/VIS	0,07	0,25	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Amonio	Espectroscopía UV/VIS	0,001	0,005	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Arsénico Total	HGAAS	0,07	0,3	µg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3114.
Agua	Arsénico Total	ICP-OES/HG	0,07	0,23	µg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3114.
Agua	Carbono Orgánico Total	Combustión Catalítica	0,01	0,5	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5310 B.
Agua	Cobalto Total	GFAAS	0,08	0,3	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua	Cobalto Total	ICP-MS	***	0,01	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua	Fosfato	Espectroscopía UV/VIS	0,04	0,13	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Fosfato	Espectroscopía UV/VIS	0,004	0,012	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Fósforo Total	Espectroscopía UV/VIS	0,14	0,5	µM	Solórzano, L ., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754758.
Agua	Fósforo Total	Espectroscopía UV/VIS	0,004	0,016	mg L-1	Solórzano, L ., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754758.
Agua	HAP's	GC-MS	0,001	0,002	µg L-1	EPA Method 8270 D.
Agua	HCT (C10-C38)	GC-MS	0,004	0,013	µg L-1	EPA Method 8270 D.
Agua	Indice de Fenol	Espectroscopía UV/VIS	0	0,001	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5530 C.
Agua	Lípidos	Gravimetría (Soxhlet)	***	3	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5520 D.
Agua	Níquel Total	ICP-MS	0,01	0,03	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua	Níquel Total	GFAAS	0,15	0,6	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua	Nitrato	Espectroscopía UV/VIS	0,3	1	µM	Jones, M.N. (1984). Nitrate reduction by shaking with cadmium Water Res.18,643646.
Agua	Nitrato	Espectroscopía UV/VIS	0,019	0,062	mg L-1	Jones, M.N. (1984). Nitrate reduction by shaking with cadmium Water Res.18,643646.
Agua	Nitrito	Espectroscopía UV/VIS	0,04	0,13	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Nitrito	Espectroscopía UV/VIS	0,002	0,006	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	Oxígeno Disuelto	Winkler	0,04	0,13	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua	pH	Potenciometría	***	***	***	NCh2313/1. Of95. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500H+.
Agua	Plomo Total	ICP-MS	0,004	0,015	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua	Plomo Total	GFAAS	0,13	0,5	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua	SAAM	Espectroscopía UV/VIS	***	0,004	mg L-1	NCh2313/27. Of1998.
Agua	Sólidos Disueltos Totales	Gravimetría	2,2	8	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 C.
Agua	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	0,3	1	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 D.
Agua	Sólidos Totales	Gravimetría	***	2,5	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 B.

Matriz	Parámetro	Metodología	LD	LC	Unidad	Métodos Validados en Matriz Marina
Agua	Sulfato	Gravimetría	3	10	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 4500SO42 C.
Agua	Sulfato	Cromatografía Iónica	0,03	0,1	mg L-1	EPA Method 300.1.
Agua	Vanadio Total	ICP-MS	0,01	0,03	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua	Vanadio Total	GFAAS	0,75	2,5	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Arsénico Extraíble	HGAAS	0,3	1,5	µg g-1	EPA Method 3052.
Sedimentos	Arsénico Extraíble	ICP-OES/HG	0,07	0,23	µg kg-1	EPA Method 3052.
Sedimentos	Carbono Orgánico Total	Análisis Elemental (CHN)	***	***	***	Vector. CHN/O Analyzer. User Manual.TeKmarDohrmann.
Sedimentos	Cobalto Extraíble	GFAAS	0,006	0,02	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Fosfato	Cromatografía Iónica	***	0,22	µg g-1	EPA Method 300.1.
Sedimentos	Granulometría	Gravimetría	***	***	***	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 26, de la Subsecretaría de Pesca.
Sedimentos	HAP's	GC-MS	0,001	0,004	µg g-1	EPA Method 8270 D.
Sedimentos	HCT (C10-C38)	GC-MS	0,004	0,012	µg g-1	EPA Method 8270 D.
Sedimentos	HCT (C10-C38)	GC-FID	0,015	0,03	µg g-1	EPA 8015D (semivolatile organic compounds by gas chromatography)
Sedimentos	Humedad	Gravimetría	***	***	***	Hakanson, L. (1981). A manual of lake morphometry. Berlin: Springer-Verlag.
Sedimentos	Niquel Extraíble	ICP-MS	0,01	0,03	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Niquel Extraíble	GFAAS	0,15	0,6	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Niquel Extraíble	FAAS	0,5	8	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Niquel Extraíble	ICP-OES	0,2	1,2	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	ICP-MS	0,004	0,015	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	GFAAS	0,13	0,5	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Plomo Extraíble	FAAS	1	5	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	ICP-OES	0,3	2	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Sulfato	Cromatografía Iónica	4	13	µg g-1	EPA Method 300.1.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	ICP-MS	0,01	0,03	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	GFAAS	0,75	2,5	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	FAAS	7	50	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	ICP-OES	***	0,1	µg g-1	EPA Method 3051 A.

*** Sin información
FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Llama
GC-FID: Plasma Acoplado Inductivamente con detector de ionización de llama
GC-MS: Plasma Acoplado Inductivamente con Detector Masa
GFAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito
HGAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros
ICP-OES: Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma
ICP-OES/HG: Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente con Generación de Hidruros

5.6.1.5 Análisis de los límites de detección y de cuantificación

En cuanto a los límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LC), la Norma ISO/IEC 17025 establece que los laboratorios deben verificar o validar los métodos antes de ponerlos en práctica. El LD corresponde a la menor cantidad de un analito cuya señal puede ser distinguida del ruido, y es definido como la concentración mínima de una sustancia, que puede ser detectada por un método analítico determinado. Este valor se obtiene a partir de una serie de blancos (Agua mili Q libre de analitos), que son analizados con el método a evaluar. Otra definición del LD es: "*la concentración del analito que da una señal igual al blanco más 3 veces la desviación estándar del blanco*".

Por otro lado, el LC es un descriptor más efectivo, que permite conocer la mínima concentración que el método utilizado puede detectar. Este límite está basado en 2 parámetros estadísticos, donde se evalúa la precisión y exactitud del método, bajo condiciones experimentales bien definidas.

De acuerdo a la información levantada, los PSBQ que se ejecutan en Bahía Quintero informan en la mayoría de los casos sólo el LD del método que están utilizando, el cual corresponde a la menor concentración que el equipamiento puede alcanzar con un blanco, por lo tanto, no se evalúa la sensibilidad del método para la detección del analito. Regularmente el valor del LD puede encontrarse entre 1 a 10 veces por debajo del límite de cuantificación del método. Por lo tanto, informar solamente el valor de LD, no permite asegurar que el parámetro esté por debajo de una concentración, dado que existe un rango entre el LD y LC que no está siendo cuantificado, y, por lo tanto, no permite establecer con rigurosidad estadística que este dato sea correcto.

El uso del LD puede generar información inadecuada en la toma de decisiones, sobre todo desde el punto de vista de regulaciones normativas, dado que podemos estar asumiendo la ausencia de una sustancia o analito al considerar el LD como un valor de cuantificación correcto, cuando en la práctica el parámetro puede estar presente sobre ese valor de LD, por este motivo, es fundamental utilizar el LC, sobre todo cuando los LD están muy cercanos a los límites naturales que debiese presentar una matriz.

5.6.2 Análisis especifico de los principales parámetros identificados.

5.6.2.1 Medición de pH

La metodología utilizada para medir el pH del agua de mar es mediante potenciometría, lo cual es correcto, y en la gran mayoría las campañas se ha utilizado sondas multiparamétricas o sondas perfiladoras (CTD con sensor de pH) que proporcionan mediciones *in situ*. Sin embargo, en algunas campañas las mediciones de pH se realizaron con peachímetros de sobre mesa (e.g., Campañas 30 y 36 de AES GENE, PSBQ ENAP, campañas septiembre 2012 y febrero 2013), por lo tanto, no son mediciones *in situ* como se menciona en el informe, si no que corresponden a mediciones *ex situ*, las cuales requieren obtener una muestra mediante una botella de muestreo para su posterior medición.

5.6.2.2 Transparencia

Esta medición se realiza regularmente con Disco Secchi en terreno, y sus resultados también se han utilizado en estos programas de vigilancia para informar la penetración de luz y/o zona fótica, que requiere ser calculada a través de la metodología propuesta por Vollenweider (1969). Esta es una sencilla medición que no presenta una metodología acreditada. Pero su correcta medición requiere de un muestreador experimentado y de la validación mediante un perfil de turbidez o quantómetro para resolver efectivamente la penetración de la luz.

5.6.2.3 Hidrografía

Las mediciones de los principales parámetros hidrográficos *i.e.,* salinidad, temperatura y oxígeno disuelto, que son informados por los programas de vigilancia ambiental de las UF de Bahía Quintero, han sido medidos *in situ* a través de sondas hidrográficas de mediciones continuas (YSI, CTD-O), electrodos específicos, sensores multiparámetro y mediante el método winkler específico para oxígeno disuelto. Solo algunos en un programa de monitoreo (ESVAL) menciona métodos estandarizados para los parámetros salinidad (conductividad - SM 2510) y temperatura (SM 2550), que aparecen con referencias cambiadas entre los parámetros, y con importantes cambios en las unidades de medición (PSU, Ms y ms), pero conservando el mismo LD.

Se destacan los amplios LD que son informados entre los distintos PVAs para Temperatura (0,0001 a 0,1 °C), Salinidad (0,000 a 0,01 psu) y Oxigeno disuelto (0,01 mg/L a 1 ml/L). Sin duda que esto se debe a la amplia gama en los equipos utilizados, donde el equipo más adecuado tanto por la calidad de su información (bajos LD) y por la exactitud en la caracterización de la matriz marina, corresponde a los perfiladores *in situ* (CTD-O).

Es importante mencionar que, ninguno de los laboratorios menciona cómo es evaluado el aseguramiento de calidad de los datos, es decir, no se mencionan las calibraciones, chequeos de estándares, programas de verificación o protocolo de mediciones que permitan asegurar que la calidad de la información es apropiada. Los equipamientos de terreno al igual que los de laboratorio deben asegurar un rango de cuantificación dentro del rango de las concentraciones naturales, que permitan describir efectivamente la variabilidad ambiental de estos parámetros en el sistema en estudio.

5.6.2.4 Sólidos sedimentables y sólidos disueltos

Los programas de monitoreo informan los sólidos sedimentables y sólidos disueltos en agua de mar mediante el Método 2540-F, Standard Method, el cual detalla el análisis sólo de los sólidos sedimentables. Los sólidos disueltos deben analizarse mediante el 2540-B o 2540-C, en caso de utilizar Standard Method, cuya principal diferencia corresponde a la temperatura de secado de 103–105°C y a 180°C, respectivamente. Al analizar ambos parámetros por el mismo método, se está incurriendo en un error, debido a que el método 2540-F, corresponde a la materia que se deposita por acción de la gravedad en el fondo de cualquier recipiente o cuerpo receptor que contenga agua, mientras que, los sólidos totales disueltos, corresponden a la cantidad de materia que permanece como residuo, posterior a la evaporación total de agua en una muestra a la cual se le ha realizado separación de sólidos.

Los sólidos suspendidos totales, son aquellos sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales disueltos. Todos los seguimientos ambientales informaron el método 2540-D (Standard Method), el cual es el adecuado siempre que sea validado para la matriz marina, ya este método al igual que todos los métodos desarrollados por el SM es un método para análisis de aguas no salinas y aguas residuales.

5.6.2.5 Detergentes

Para la determinación de jabones y detergentes tensoactivos aniónicos, en los programas de monitoreo se utilizó el método 5540- B y 5540-C del SM. Este es un método desarrollado para analizar aguas superficiales y aguas residuales, y debe tenerse en cuenta la posible presencia de otro tipo de sustancias activas al azul de metileno, que pueden afectar la lectura de este análisis. En agua de mar, este método requiere ser validado para la matriz marina, validación que no es mencionada en ninguno de los procedimientos analíticos informados en los programas de monitoreo aquí analizados. Los LD informados para este parámetro fluctuaron entre 0,001 y 0,1 mg/L, que son casi un orden de magnitud más altos que el LC informado (0,2 mg/L), lo que evidencia lo poco específica de esta técnica de muestreo, aún más en muestras multi elementales como es el agua de mar.

5.6.2.6 Coliformes Fecales y Totales

Los coliformes fueron analizados en su totalidad mediante el método 9221 SM, que describe la técnica de fermentación por tubos múltiples para miembros del grupo de coliformes, que en su

apartado 9221-B desarrolla la técnica estándar de fermentación de coliformes totales y en el 9221-E el procedimiento para análisis de coliformes fecales. El LD informado es igual a 1,8 NMP/100 ml, descrito para todos los PVAs evaluados, no obstante, un solo seguimiento ambiental en una oportunidad informa un LC de 1,0 UFC/100 ml, que no corresponden al método referido. Estos métodos del SM han sido ampliamente utilizados en los PVAs para el ambiente marino, a pesar de no ser una metodología diseñada para agua de mar, permitiendo establecer la condición microbiológica de un cuerpo de agua salino (Toledo et al., 2005).

El análisis de colimetría como un indicador de contaminación, es un método vigente y muy utilizado hasta hoy. En efecto, los parámetros de coliformes fecales y totales son un buen indicador de la calidad microbiológica y patógena, dado que permiten evaluar la condición del cuerpo de agua receptor de manera continua, bajo una metodología estándar y reproducible. Estas determinaciones son importantes porque brindan información valiosa en el estudio de las poblaciones microbianas presentes en los cuerpos de agua (Abbaszadegan, 2006). Sin embargo, se debe tener en consideración que las importantes variaciones registradas en este parámetro están relacionadas principalmente con la alta variabilidad estacional, producto de los aportes continentales de los ríos en épocas de invierno.

El método ampliamente utilizado para la determinación de coliformes, es el cultivo en un medio líquido, en varios tubos y el cálculo de su Número Más Probable (NMP), el cual es un método estadístico para estimar las concentraciones con múltiples ensayos en diluciones hasta la extinción (SM 20th, 9221 B y E). Este método es aplicable para todo tipo de agua, incluyendo aquellos que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica en suspensión.

Finalmente, para coliformes, las altas variabilidades en muchos casos pueden estar relacionadas con la ejecución de las metodologías de análisis, tiempo de espera hasta el análisis (holding time), y condiciones de preservación de las muestras. Por este motivo, es muy importante mencionar que los tiempos de análisis, y las condiciones de transporte y preservación de las muestras, son elementos críticos, y por lo mismo deben ser realizados por laboratorios acreditados bajos normas que cualifiquen tanto el análisis (IS 17.025, 2017), como el muestreo (ISO 17.020, 2012).

5.6.2.7 Metales y metaloides en columna de agua y sedimentos

De acuerdo con los informes revisados, la medición de Arsénico en agua de mar se ha ejecutado mediante tres métodos, a saber:

Método 3500 del Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). Este método es colorimétrico y requiere la ausencia de interferentes, que no es el caso del agua de mar, y, por lo tanto, no sería un método apropiado.

Método 3125 del Standard Methods (SM). Corresponde a la medición de As utilizando técnicas de ICP/MS, la cual es una técnica adecuada por su alta sensibilidad. Sin embargo, llama la atención el Límite de Detección (LD) informado por el laboratorio que lo utiliza, i.e., 0,0005 mg/L, que equivale a 0,5 µg/L, sin embargo, este LD es muy alto para la sensibilidad de la técnica, que según el método 3125 descrito en el SM debería ser del orden de 0,025 µg/L, es decir el LD informado es 20 veces más alto, lo que conlleva a una perdida de sensibilidad analítica.

Método 3114B del Standard Methods (SM). En este método la medición de As se hace por Espectrometría de Absorción Atómica de llama (EAA – llama), informando un LD adecuado. Sin embargo, esta técnica tiene menos sensibilidad que la EAA horno de grafito (EAAHG) y la ICP/MS, que la hace menos adecuada para muestras de agua de mar.

La medición de As en muestras de sedimentos requiere una digestión previa de la muestra antes de su lectura, lo que se ha hecho fundamentalmente utilizando el método EPA 3050 B y la lectura se hace por el método 3114 SM, y se menciona el método EPA 6010 mediante ICP-AES (campaña 34 AES GENER) y el método EPA 7062 (campaña 44 AES GENER) que requiere EAAHG. Es importante mencionar que en el caso del As la digestión descrita en el método EPA 3050 B se debe considerar una medición por EAAHG y no por EAA de llama, que es lo que se menciona método 3111 de SM, que tiene una menor sensibilidad, ya que es por lectura directa en un espectrómetro de llama.

La cuantificación de Cobre, Níquel, Plomo y Vanadio en agua de mar se ha hecho según las metodologías descritas en el manual Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), ediciones 21 y 22,

principalmente por técnicas de espectrometría de absorción atómica de llama (métodos SM 3111) y con menor frecuencia por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (métodos SM3113). También se ha utilizado los métodos descritos en este manual para cuantificación mediante ICP/MS (métodos SM 3125). Sin embargo, en las campañas 57 y 59 de la TM Ventanas, las mediciones de Cu, Ni y Pb se hicieron por gravimetría y las campañas 61 y 63 mediante un método identificado como ME-04 2007 y método NCh. 2313/10, respectivamente.

Respecto a las metodologías utilizadas para la medición de los metales estudiados en la matriz agua de mar, se debe indicar que las más adecuadas por su sensibilidad y límites de detección (**Tabla 151**) son las basadas en Espectrometría de Absorción Atómica de Horno de Grafito (EAA-HG; SM 3113) e ICP-MS (SM 3125). Los métodos basados en Espectrometría de Absorción Atómica de llama (EAA-llama) por lectura directa, que es la técnica más utilizada en estos programas, tienen serias limitaciones para ser usadas en el análisis de agua de mar, ya que consideran un límite de detección instrumental (LDI) insuficiente para detectar las bajas concentraciones en que estos elementos están presentes. Por ejemplo, el Cu mediante EAA-llama tiene un LDI de 10 µg L^{-1} y las concentraciones típicas de Cu en agua de mar varían entre 2 y 6 µg L^{-1}. Lo mismo se presenta en el caso del V, que mediante la EAA-llama el LDI es de 200 µg L-1 y la concentración característica es de alrededor de 8 µg L^{-1}. Como resultado de esta falta de sensibilidad, los resultados se informan como bajo el límite de detección (< LD). Para mejorar la sensibilidad de esta técnica se requiere una etapa de quelación y extracción con APDC y MIBK, respectivamente, tal como se menciona en la sección SM 3110 (Metals by Atomic Absorption Spectrometry), sin embargo, esto se hace en un número reducido de campañas, reduciendo la sensibilidad de método de lectura directa.

Tabla 151. Límites de Detección estimados de acuerdo a los métodos descritos en el SM, Edición No. 22

Metal	EAA-llama (µg L^{-1})	EAA-HG (µg L^{-1})	ICP-MS (ng L^{-1})	EAA-GH (µg L^{-1})	ICP-AES (µg L^{-1})
As	-	-	25	2	-
Cu	10	1	3	-	6
Ni	20	1	4	-	15
Pb	50	1	5	-	40
V	200	1	20	-	8
SM Método	3111B	3113B	3125B	3114B	3120B
No. Tabla SM	3111: I	3113: II	3125: I	-	3120: I

Por otra parte, dado las bajas concentraciones de estos elementos en el agua de mar, lo recomendable es utilizar técnicas más sensibles como la EAA-HG y la ICP/MS, lo cual se realiza

para varias campañas. Sin embargo, es notorio que no se logran los niveles de detección característicos de estas metodologías, que son generalmente menores a 1 µg L^{-1} para la EAA-HG (SM 3113) y decenas de ng L^{-1} para ICP/MS (SM 3125) (**Tabla 151**). El análisis de muestras con niveles traza y ultra traza como los de los metales estudiados, requiere procedimientos basados en técnicas de preparación de materiales, reactivos e instalaciones en el laboratorio que realiza los análisis tipo Clase 5 (ex Clase 100). Con estas consideraciones se pueden obtener LD adecuados que permiten cuantificar sustancias a nivel traza y ultra traza como se requiere para los elementos estudiados.

Se debe señalar que dentro de las técnicas utilizadas para la medición de metales, se menciona el método SM 2540, utilizado en la campaña 48 de AES GENER U1 y U2, el cual no corresponde a un métodos para medir metales, sino a la medición de Solidos Suspendidos Totales con secado a 103°C. Finalmente, el método gravimétrico mencionados en las campañas 57, 59, 61 y 63 del programa de TM Ventanas, no es adecuado por la baja sensibilidad y por el hecho que requiere conocer exactamente las relaciones estequiometrias de las diferentes especies químicas de los elementos, tal como se describe en los métodos. Esto es muy difícil de conocer en el medio marino, ya que existen diferentes especies en las cuales los elementos están presentes, por ejemplo, cloruros, sulfatos, óxidos etc.

En el caso de los sedimentos, para la medición de los metales se requiere un paso previo que es la digestión ácida para extraer los metales a medir. En los estudios realizados en los programas evaluados, el principal procedimiento de digestión es el Método EPA 3050B, que tiene dos aplicaciones: EAA-llama y ICP-AES (ICP- Atomic Emission Spectrometry) donde se puede analizar Cu, Ni, Pb y V y otro procedimiento para EAA-HG e ICP/MS que se debe utilizar para As. Además, este método es una digestión ácida fuerte para todos aquellos elementos “ambientalmente disponibles” y no para metales totales, ya que no destruye la matriz silícea del sedimento. Como alternativa a la digestión ácida, se ha utilizado también el método EPA 3051 y 3052 (sedimentos y organismos, respectivamente) consistente en un sistema de digestión de microondas, que permite manejar mejor las condiciones del ataque ácido de la muestra, mejorando la reproducibilidad del análisis. Así, como resultado de la digestión de la muestra sólida se tiene un extracto líquido donde el uso de la EAA-llama o ICP-AES son las recomendadas. Sin embargo, a pesar de que la EAA-llama y la ICP-AES tienen la sensibilidad adecuada para la cuantificación de metales en sedimento, llama la atención la gran disparidad en los LD para los diferentes metales, los que pueden variar entre 0,5 µg g^{-1} (i.e., As y Cu); 1 µg g^{-1} (i.e., Ni, Pb y V);

10 µg g-1 (i.e., As y Cu); informándose valores de 100, 200, 500, 800, 1500, 2500, 3500, 4060 y 4850 µg g^{-1} para Cu, Ni, Pb y V (**Tabla 152**). Los LD menores son adecuados para los niveles naturales esperados en sedimentos costeros (Chester, 2000), pero aquellos sobre 10 µg g^{-1} no son los adecuados, disminuyendo significativamente la relevancia de la información ambiental que queda retenida en los sedimentos.

Tabla 152. Límites de detección informados por los laboratorios que han realizados análisis en el área de estudio.

Metal	Mínimo (µg g^{-1})	Método	Máximo (µg g^{-1})	Método	Conc. Característica [1] (µg g^{-1})
As	0,5	EPA7062	10	EPA3050/SM3114 EPA3050B/EPA6010	5
Cu	0,5	EPA6010	10 100 500 3500	EPA3051/EAA-llama EPA3050/SM3114D EPA3051/EAA-llama EPA3050/SM3111B	56
Ni	0,5	SM3125 SM3111D	200 500 1500 4060	Espectrofotométrico Espectrofotométrico - EPA3050/3111B	35
Pb	1,0	SM3125 SM3111B	200 500 800 4850	Espectrofotométrico EPA3050/SM3111B SM3111 EPA3050/SM3111B	22
V	1,0	SM3125 EPA7910/3050	500 2500	Espectrofotométrico EPA3050/SM3111B	145

(1): Chester, 2000.-

En general, tanto en columna de agua como en sedimentos se analizaron estos elementos principalmente a través del Standard Method. Estos métodos no son adecuados para ser utilizados en la matriz marina, sin una previa validación, puesto que la matriz salina es altamente compleja debido a la gran cantidad de interferentes que presentan producto de las sales, iones y cationes presentes en estas muestras. Adicionalmente, se requiere del uso de rigurosos procedimientos de pretratamiento y digestión de las muestras, mediante el cual se elimina la sal y otros posibles interferentes, antes de ser sometidas al proceso de lectura en el equipamiento adecuado.

5.6.2.8 Iones inorgánicos disueltos

Para sulfuros, fluoruros y cloro libre residual se mencionan distintos métodos, pero el más común entre ellos, y que es mencionado para el análisis de estos estos tres iones, es la serie 4500 SM, para análisis de constituyentes inorgánicos no metálicos, en sus apartados específicos 4500-S (sulfuros), 4500-F (fluoruros) y 4500-Cl (cloro libre). Estos métodos han sido desarrollados para

analizar aguas residuales y aguas crudas no salinas, por lo tanto, es requisito validar estos métodos para ser utilizados en la matriz marina.

En específico, el método para 4500-S letra G, corresponde al análisis mediante el uso de electrodo ion selectivo, al igual que el método EPA 9031, ambos métodos poseen una baja sensibilidad lo que conlleva a tener amplias variaciones en las lecturas, sobre todo en la matriz salina. Esto se traduce en LD altos que varían entre 1,0 y 5,0 mg/kg, de acuerdo con los valores informados en los programas de vigilancia. En tanto que, el análisis realizado mediante el método propuesto por Fonselius et. al., (1999) es un método basado en lixiviación y lectura mediante espectrofotometría en rango visible, el cual es un método específico para el análisis de aguas marinas, con LD en el orden de 0,002 mg/kg.

Cabe destacar que, los métodos mencionados en los PVAs son todos para análisis de aguas, y el análisis de sulfuros sólo fue realizado en sedimentos, y los resultados son informados en unidad de masa y no en volumen como la técnica lo menciona. Por lo tanto, es posible que se esté analizando agua intersticial de los sedimentos, o se esté analizando erróneamente la matriz sedimentaria con un método para agua, en cualquiera de los casos, estos detalles metodológicos deben ser informados en los PVAs, situación que no acontece en ningún informe o certificado de análisis.

Los fluoruros sólo fueron analizados mediante la técnica 4500-F letras B y C, que detalla una destilación preliminar y luego la lectura mediante el uso de electrodo ion selectivo. Este corresponde a un método ampliamente utilizado en aguas residuales, y a pesar de no ser un método desarrollado para aguas marinas, dado que presenta un LD entre los 0,1 a 0,5 mg/L es utilizado en agua de mar, donde sus concentraciones están muy relacionadas con la salinidad y generalmente los fluoruros presentan concentraciones sobre el 1,0 mg/L, por lo que esta técnica permite llegar con holgura a las concentraciones naturales para esta matriz.

El cloro libre residual ha sido analizado mediante técnicas principalmente colorimétricas, donde en algunos casos, se declara el uso del método SM 4500-CI, letras F y G. Estos métodos presentan importantes interferencias, y ninguno de ellos es aplicable a aguas estuarinas o marinas, dado que existe el riesgo de que el bromuro presente en las aguas salinas se convierta en bromo y bromaminas, que se detectan como cloro libre o cloro total. Por otra parte, medir cloro libre residual es una medida inadecuada en agua de mar, debido a que existe una importante

cantidad de materia orgánica oxidable. Esta condición, no permite la presencia de cloro libre en las aguas marinas costeras.

5.6.2.9 Aceites y Grasas.

El método utilizado para el parámetro aceites y grasas es el SM 5520, donde en sus apartados 5520-B describe la extracción Líquido-Líquido y en el 5520-D la extracción con Soxhlet. Llama la atención en este parámetro, que las unidades fiscalizables TM VENTANAS y ENAP QUINTERO durante los años 2012, 2013 y 2014 no informaron el método mediante el cual se analizó este parámetro.

El LD informado estuvo en el rango de 0,0003 – 10,00 mg/L, sin embargo, los valores característicos para este parámetro en agua de mar fluctúan entre 0,001 a 5,35 mg/L (Arias et al., 2001), reflejando que solo el LD presentado por el PSBQ COPEC QUINTERO (0,0003 mg/L) está por debajo del rango natural esperado para el agua de mar, y por lo tanto, es un límite de detección adecuado para describir la variabilidad natural de este parámetro. Por otra parte, es importante mencionar que, ninguna de las UF informan el LC, por lo que no podemos evaluar si la concentración de cuantificación de este parámetro está bajo el valor más bajo detectado naturalmente en agua de mar.

El método utilizado es el adecuado, siempre que el parámetro esté debidamente validado para la matriz marina, logrando resolver un límite de cuantificación bajo los valores naturales.

Es importante destacar que, analíticamente, el contenido de aceite y grasas (e.g., SM 5520) es cualquier sustancia soluble en un solvente orgánico que se puede recuperar, y por lo tanto, no representa un grupo específico de compuestos. Por otra parte, en el análisis de lípidos, la muestra se somete a una hidrólisis ácida en un sistema de reflujo, por lo que generalmente este parámetro presenta mayores concentraciones que aceites y grasas.

5.6.2.10 Carbono Orgánico Total (TOC)

El TOC fue analizado mediante diversos métodos por los PSBQ de las distintas UF, entre los que encontramos el de Walkley – Black modificado (Loring & Rantala, 1992; Gaudette et al., 1974), el método EPA 9060 A, método de análisis de compost (INIA N° 7.2, 2005), el método para los suelos de Chile (INIA N° 32, 2006) y el método propio del laboratorio AGQ (PEC-013 –

Volumetría). Estos métodos presentan una amplia variación entre los límites de detección (10000 mg/kg a 0,6 mg/g) y cuantificación (0,01 mg/kg a 0,001 mg/kg), con técnicas que van desde la volumetría (materia orgánica oxidable), analizador CHN y analizadores de carbono. De los métodos utilizados, el método más adecuado es el método EPA, el cual dentro de sus alcances menciona las aguas salinas. Sin embargo, el método más adecuado, considerando el LC, es el que informa AGQ Lab (0,001 mg/kg) para el PSBQ de AES GENER U1 y U2, el cual permite con seguridad llegar a los niveles naturales de TOC en los sedimentos marinos, los cuales fluctúan entre 1,53 a 4,72% (Boning et al., 2005).

5.6.2.11 Fenol

En esta categoría se agrupan los fenoles, índice de fenol y compuestos fenólicos, todos ellos analizados en los PVAs mediante el mismo método (SM 5530), que ha sido desarrollado para fenoles. Los métodos declarados por los PSBQ, mencionan como métodos los apartados 5530-B que describe el procedimiento de Clean-up, el 5530-C para el método de extracción con Cloroformo y el 5530-D para el método directo a través de espectrofotometría UV-Visible (colorimetría). Este es un método muy sensible, pero tal como recomienda el procedimiento del SM, debe ser previamente validado para ser utilizado en las matrices salinas. Dada la sensibilidad que este método posee, se considera un método adecuado y que permite obtener bajos LD (0,0005 mg/L). Cabe destacar que, utilizando el mismo método, distintos laboratorios informan un amplio rango de LD (0,0005 a 0,1 mg/L) y ninguno de ellos informa el LC, lo que no permite analizar en detalle si los métodos logran cuantificar las concentraciones naturales.

5.6.2.12 Hidrocarburos

Los hidrocarburos medidos en los diferentes programas de vigilancia ambiental en bahía Quintero son fundamentalmente los Hidrocarburos Totales (HCT) y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), en dos matrices ambientales, i.e., agua y sedimentos. Sin embargo, a lo largo de los programas, en la columna de agua también se han identificados Hidrocarburos Aromáticos Totales, Hidrocarburos Alifáticos e Hidrocarburos Parafínicos, aunque estos dos últimos, son algunas fracciones de hidrocarburos lineales, que están incluidas en los HCT. También los hidrocarburos se cuantifican como Hidrocarburos Fijos (HF) y Volátiles (HV), expresión que está relacionada con la metodología utilizada, establecida en la NCh. 2313/7, que indica que los HF se cuantifican por gravimetría y los HV por cromatografía gaseosa (GC), con detector de

ionización de llama (“FID” en inglés). Esta norma, que está definida para residuos industriales líquidos, permite calcular los Hidrocarburos Totales como la suma de ambas fracciones.

Las técnicas más comunes utilizadas para el análisis HC y HAP son la cromatografía gaseosa (CG) (Miẽge et al., 1998; Lacorte et al., 2000, Rima 2013) y la Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (“HPLC” en inglés) (Kiss et al., 1996; Kishikawa et al., 2003, Rima 2013), lo que se aprecia en la base de datos confeccionada con la información recolectada de los diferentes programas ejecutados en bahía Quintero. Básicamente, la determinación de estos parámetros consiste en un proceso de extracción con un solvente y la cuantificación posterior con CG (con detectores FID o MS) o HPLC (con detectores de fluorescencia o UV). También se menciona la cuantificación de HC por gravimetría (N.Ch. 2313/7), la que hace referencia a aguas residuales.

En relación con el contenido de hidrocarburos en la columna de agua (niveles superficie y fondo), se han descrito 25 formas de expresión de las metodologías utilizadas para su cuantificación, siendo la GC la más mencionada, con alrededor del 10,3%, seguida por la HPLC con detector de fluorescencia con un 8,4%. Estas dos metodologías también son las más mencionadas en la medición de hidrocarburos en sedimento, i.e., 20,2% por CG y 16,8% por HPLC con detector fluorimétrico. Sin embargo, muchas de las descripciones de la metodología usada para la medición de estos parámetros, se basan en estas dos metodologías, aplicada a dos grupos de compuestos relacionados, pero que no miden exactamente los mismo, lo que dificulta la comparación con fines de seguimiento ambiental. Por ejemplo, hidrocarburos aromáticos totales vs hidrocarburos aromáticos policíclicos, ya que los últimos tienen más de dos anillos bencénicos, pero ambos son aromáticos. Una situación similar sucede con los hidrocarburos totales, que no corresponde a la misma fracción según la metodología utilizada en su cuantificación, ya que si se sigue lo establecido en la N. Ch 2313/7, los hidrocarburos totales a la suma de los hidrocarburos fijos que se realizan por gravimetría y los hidrocarburos volátiles que se realizan por GC con detección FID.

Los métodos de extracción indicados en las metodologías de los diferentes programas, exhiben una alta variabilidad, principalmente en los métodos descritos en el manual Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), ediciones 21 y 22 (SM Nos. 5520D; 6200, 6410B, 6440C), métodos EPA (3540C, 3630, 5021, 610, 8015), norma chilena N.Ch 2313/7, ISO 13859 y COI 1982. Las metodologías mencionadas

son principalmente para aguas residuales, ya sea municipales o industriales, (e.g., métodos APHA), o bien para lodos, suelos y desechos biosólidos tratados (e.g., métodos ISO 13859). Para el uso de estas metodologías en matrices diferentes a las indicadas, como por ejemplo, en aguas naturales, se requiere un proceso de validación, tal como se recomienda en los mismos procedimientos utilizados, particularmente por efecto de los interferentes que puedan existir. Esta consideración se torna relevante en muestras marinas, debido al alto contenido de iones disueltos y por la gran variedad de procesos naturales que pueden producir compuestos orgánicos.

Adicionalmente, dada la gran variedad de metodologías analíticas utilizadas para la determinación de los compuestos orgánicos, que van desde la gravimetría hasta CG/MS, y que tienen sensibilidades muy distintas, se hace difícil la comparación de la información obtenida del contenido de hidrocarburos en Bahía Quintero por los diferentes programas. Esto se puede apreciar por el amplio rango de límites de detección informados, los que se muestran en la **Tabla 153**, donde se reportan LD analíticos con órdenes de magnitud diferentes.

Tabla 153. Límites de detección para hidrocarburos informados por los laboratorios que han realizados análisis en el área de estudio.

Madriz	Método	Unidad	Compuesto	Mínimo	Máximo
Agua	Espectrofluorimetría	ug/L	HAP	0,1	0,2
	HPLC Fluorimetría	ug/L	HAP	0,0002	0,2
	GC/MS-MS	ug/L	HCT	2	3
	GC/FID	ug/L	HCT	0,005	21
	Gravimetría (N.Ch. 2313/7)	ug/L	HF	1000	5000
	GC/FID (N.Ch. 2313/7)	ug/L	HV	10	100
Sedimentos	Espectrofluorimetría	mg/kg	HAP	0,01	0,015
	HPLC Fluorimetría	mg/kg	HAP	0,01	0,015
	GC/MS-MS	mg/kg	HCT	0,01	0,05
	GC/FID	mg/kg	HAL	0,21	0,053
	Gravimetría (N.Ch. 2313/7)	mg/kg	HF	0,015	25

HAP: hidrocarburos aromáticos policíclicos
HCT: hidrocarburos totales
HF: hidrocarburos fijos
HV: hidrocarburos volátiles
HAL: hidrocarburos alifáticos

5.6.2.13 Fosfato y Fósforo total

Respecto a las formas de fósforo en el agua, se puede mencionar que este elemento existe siempre combinado, y se puede distinguir el fosfato o bien orto fosfato (PO_4^{3-} o PO4-P), que representa las formas inorgánicas; el fosfato condensado (también mencionado como ácido

hidrolizable) que son múltiples moléculas de fosfato que comparten uniones covalentes en los átomos de P y O cercanos y; finalmente el fósforo total, que incluye también las formas orgánicas. De estas tres formas, sólo el fosfato se puede medir directamente y las otras dos formas requieren una digestión previa para llevar todo a fosfato. Por este motivo el fósforo total es siempre mayor que el orto fosfato (Melcer et. al, 2003; Hach, 2013).

5.6.2.14 Materia Orgánica

El análisis de materia orgánica total (MOT) es un parámetro de carácter general que permite establecer la cantidad total de compuestos y sustancias de origen orgánico en una muestra sedimentaria. Este parámetro es determinado principalmente mediante métodos gravimétricos, con técnicas que consideran la pérdida de peso por ignición, i.e., calcinando la muestra en una mufla a temperatura constante. El método más reportado en los PVAs corresponde al INIA N° 34 (2006), el cual es un método recomendado para suelos continentales con un LD de 0,1%, pero dado las concentraciones de MOT presentes en los sistemas costeros (2,2 a 25,2%, *sensu* Silva & Astorga, 2010), este método bien ejecutado, puede resolver sin problemas el contenido de MOT en los sedimentos costeros. Por otra parte, la UF PESQUERA QUINTERO informó la concentración de MOT mediante el método de Loring & Rantala (1992), basado en gravimetría por volatilización indirecta, estandarizado para sedimentos marinos. Este método es más especifico y permite obtener un menor LD (0,0002 mg), sin embargo, dada las concentraciones esperadas en sedimentos marinos, ambos métodos son adecuados.

5.6.2.15 Granulometría

El análisis del tamaño de granos de los sedimentos se evaluó principalmente mediante los métodos de Folk y Ward (1957) para tamaño de grano y Wentworth (1922) para análisis en escala Phi (ϕ). Estos métodos son adecuados y han sido ampliamente utilizados para describir la población de sedimentos marinos. En las metodologías evaluadas se informan variaciones en los métodos, pero fundamentalmente hablan de un análisis gravimétrico, a partir de una muestra de sedimentos tamizada en seco, y que es evaluada a través de una escala de tamaños y porcentajes en escala Phi (ϕ) y milímetros, para establecer la población de sedimentos que domina en las muestras analizadas.

5.6.3 Evaluación de la idoneidad de los parámetros de la Vigilancia Ambiental

Al analizar los parámetros informados por los programas de monitoreo ambiental de cada una de las UF, los principales problemas que se detectan son:

1. Los parámetros analizados no están acordes a la actividad que se desea vigilar.
2. En algunos PSBQ sólo se evalúan parámetros químicos, sin analizar variables complementarias que permitan contextualizar los resultados (i.e. hidrografía, mediciones *in situ*).
3. En la mayoría de los PSBQ no existe trazabilidad entre las matrices evaluadas.
4. En columna de agua, un porcentaje importante de PSBQ analizan sólo muestras superficiales, o dos estratos (superficie y fondo). Este diseño, no permite caracterizar adecuadamente la columna de agua, matriz donde coexisten variados procesos hidrográficos, para los cuales es relevante realizar una caracterización detallada a diferentes niveles de profundidad.

5.6.3.1 Parámetros clave por matriz y tipo de industria

En atención a lo anteriormente expuesto, es necesario definir un programa de observaciones mínimo, que contenga algunos parámetros básicos que debiesen contener todos los programas de Vigilancia Ambiental que se desarrollen en una bahía multiusuario como es Bahía Quintero.

La definición de los tipos de industria se entrega en la **Tabla 154**, donde se clasificaron las UF de acuerdo al tipo de actividad industrial desarrollada.

Tabla 154. Clasificación de UF de acuerdo al tipo de actividad industrial.

Tipo de actividad	Sigla	UF
Termoeléctrica	Termoelec	AES Gener U1-U2
Termoeléctrica	Termoelec	AES Gener U3
Termoeléctrica	Termoelec	AES Gener U4
Terminal marítimo	TM	TM Ventanas
Fundición y refinería de cobre	FR Cobre	CODELCO Ventanas
Transporte y almacenaje de gas licuado y petróleo	TyAGas	TM GASMAR
Transporte y almacenaje de sustancias químicas industriales	TyAQuim	TM OXIQUIM
Transporte, almacenaje y regasificación de GNL	TyAGNL	TM ENAP
Transporte, almacenaje y regasificación de GNL	TyAGNL	TM Quintero
Transporte y almacenaje de combustibles	TyAComb	TM COPEC
Pesquera	Pesq	Pesquera Quintero
Planta de Tratamiento de Aguas Servidas	PTAS	ESVAL

En las **Tabla 155** a **157**, se entrega una síntesis de parámetros clave que debieran ser monitoreados de acuerdo a los tipos de actividad industrial identificado en las 12 UF analizadas en este Proyecto. Cabe destacar que, la propuesta de parámetros aquí presentada, se ha efectuado sobre la base de técnicas disponibles y validadas para agua de mar (ver **Tabla 149**), y corresponden principalmente a métodos extraídos desde EPA Methods, Grasshoff et al. 1999, Crompton 1989, Libes, 2009.

Para agua de mar se observa que los parámetros cloro libre residual, carbono orgánico total, sulfuros, arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio disuelto, vanadio particulado y clorofila presentan alta transversalidad, independiente del tipo de industria, lo cual los convierte en parámetros altamente relevantes que debe ser monitoreados en bahía Quintero (**Tabla 155**). Sin embargo, es importante destacar que, para agua de mar, los parámetros específicos que deben ser vigilados, deben estar relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declare dentro de sus emisiones puntuales o difusas, considerando por ejemplo el análisis de Kd, Kow y Brunt-Vaisala frequency.

El análisis Kd corresponde al coeficiente de partición o coeficiente de distribución, y es una herramienta que permite estimar el potencial de sorción de los compuestos, sustancias o elementos disueltos. Debido a la importancia del carbono orgánico en los sistemas marinos costeros, el proceso de sorción y distribución de compuestos orgánicos (Kd) generalmente se expresa por Koc; donde Koc es el coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica. Por otra parte, el coeficiente de partición será constante sólo si los coeficientes de actividad son constantes, lo que no ocurre en los sistemas naturales (Mott, 2002; Walton et al., 1986).

La estimación del Kd se realiza mediante una ecuación que permite establecer el grado de sorción.

$$Kd = \frac{S}{C}(L\ kg^{-1})$$

donde: S = masa en la fase particulada (mg kg^{-1}); C = masa en fase líquida (mg L^{-1}).

Cuanto mayor sea el Kd, mayor será la tendencia del contaminante a ser adsorbido a otras partículas coloides o hacia los sedimentos. Un Kd para sustancias entre matrices se encuentra en valores comprendidos entre 5 y 500, lo que indica una sorción relativamente fuerte, en tanto que, valores entre 500 y 5000 indica una sorción muy fuerte.

Por último, la velocidad de difusión entre las interfases (sorción), depende del coeficiente de partición y por lo tanto es una herramienta que permite establecer si los sistemas en estudio están bajo una condición normal de sorción o existen aportes adicionales que están afectando la distribución normal de los compuestos, sustancias o elementos analizados (Valocchi, 1984; US EPA, 1999).

Tabla 155. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental agua de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero.

Parámetro	FR Cobre	Pesq	PTAS	TM(*)	Termoelec	TyAComb	TyAGas	TyAQuim	TyAGNL	Total
Pluma Térmica					1					1
Cloro Libre Residual		1	1		1			1	1	5
TOC		1	1		1	1		1	1	6
HS-	1				1		1	1	1	5
As				1	1	1	1	1	1	6
Cd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Cu	1			1	1	1	1	1	1	7
Pb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Hg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Ar	1									1
Ni		1	1							2
V					1					1
Zn		1	1							2
V Disuelto		1	1	1		1	1	1	1	7
V Particulado		1	1	1		1	1	1	1	7
Se	1									1
Se Disuelto					1					1
Se Particulado					1					1
Nitratos			1	1	1	1				4
Fosfatos			1	1	1	1				4
DQO	1	1	1		1					4
DBO5		1	1							2
Clorofila a		1	1	1	1			1	1	6
Hidrocarburos Derivados Petroleo				1		1	1			3
Hidrocarburos Volátiles				1		1				2
Hidrocarburos Fijos				1		1				2
Hidrocarburos Totales	1						1	1	1	4
Hidrocarburos Aromáticos							1	1	1	3
Amonio			1	1		1		1		4
Fósforo Total		1	1	1						3
Cr(VI) Disuelto	1									1
Cr(VI) Particulado	1									1
Fenoles								1	1	2
Color Verdadero		1						1		2
Lípidos Totales								1		1
Compuestos Organicos Halogenados		1	1						1	3
Ácidos Grasos		1	1			1			1	4
Aceites y Grasas		1	1							2
Nitrógeno Total		1	1							2
SAAM		1								1
Coliformes Totales (UFC)		1	1							2
Coliformes Fecales (UFC)		1	1							2
Derivados de Antibióticos (Screaning HPLC/MS)		1								1
Derivados de Farmaceuticos (Screaning HPLC/MS)			1							1
Herbacidas			1							1
Pesticidas			1							1

(*) Los parámetros propuestos para el caso de términal marítimo dependen del tipo de terminal.

Para sedimentos, se observa que los parámetros cloro libre residual, carbono orgánico total, sulfuros, arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio absorbido, vanadio total e hidrocarburos totales, presentan alta transversalidad independiente del tipo de industria, lo cual los convierte en parámetros altamente relevantes que deben ser monitoreados en bahía Quintero (**Tabla 156**). Cabe destacar que, para esta matriz, los parámetros específicos que deben ser vigilados, deben estar relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declare dentro de sus emisiones puntuales o difusas, considerando en el caso de los sedimentos, el análisis de FE, Igeo, LPI, IRE metales y compuestos orgánicos.

Tabla 156. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental sedimentos de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero.

Parámetro	FR Cobre	Pesq	PTAS	TM(*)	Termoelec	TyAComb	TyAGas	TyAQuim	TyAGNL	Total
TOC			1		1	1		1	1	5
HS-	1				1		1	1	1	5
As				1	1	1	1	1	1	6
Cd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Cu	1			1		1	1	1	1	6
Pb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Hg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Ar	1									1
Ni		1	1							2
V					1					1
Zn		1	1							2
V Disuelto			1							1
V Particulado			1							1
V Absorbido		1		1		1	1	1	1	6
V Totales		1		1		1	1	1	1	6
Se	1									1
Se Absorbido					1					1
Se Totales					1					1
Nitratos			1			1				2
Fosfatos			1			1				2
Hidrocarburos Derivados Petroleo							1			1
Hidrocarburos Volátiles				1		1				2
Hidrocarburos Fijos				1		1				2
Hidrocarburos Totales	1			1		1	1	1	1	6
Hidrocarburos Aromáticos							1	1	1	3
Amonio			1			1				2
Fósforo Total		1	1							2
Cr(VI) Absorbido	1									1
Cr(VI) Totales	1									1
Fenoles								1		1
Lípidos Totales								1		1
Compuestos Orgánicos Halogenados		1	1			1			1	4
Ácidos Grasos		1	1			1			1	4
Aceites y Grasas			1							1
Nitrógeno Total		1	1							2
Coliformes Totales (UFC)		1	1							2
Coliformes Fecales (UFC)		1	1							2
Derivados de Antibióticos (Screaning HPLC/MS)		1								1
Derivados de Farmaceuticos (Screaning HPLC/MS)			1							1
Herbacidas			1							1
Pesticidas			1							1

(*) Los parámetros propuestos para el caso de términal marítimo dependen del tipo de terminal.

Para organismos, se observa que los parámetros arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio hidrocarburos totales y ácidos grasos presentan alta transversalidad independiente del tipo de industria, lo cual los convierte en parámetros altamente relevantes que deben ser monitoreados en bahía Quintero (**Tabla 157**). Cabe destacar que, en organismos, los parámetros específicos que deben ser vigilados, deben estar relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declare dentro de sus emisiones puntuales o difusas, considerando adicionalmente análisis comunitarios, estado de condición, bioensayos, bioindicadores y biomarcadores, que permitan evaluar la condición general de las poblaciones naturales que residen en la bahía.

Tabla 157. Propuesta de parámetros clave que debieran ser monitoreados en componente ambiental organismos de acuerdo al tipo de industria identificado en Bahía Quintero.

Parámetro	FR Cobre	Pesq	PTAS	TM(*)	Termoelec	TyAComb	TyAGas	TyAQuim	TyAGNL	Total
HS-	1									1
As				1	1	1	1	1	1	6
Cd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Cu	1			1		1	1	1	1	6
Pb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Hg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Ar	1									1
Ni		1	1							2
V		1	1	1	1	1	1	1	1	8
Zn		1	1							2
Se					1					1
Hidrocarburos Derivados Petróleo							1			1
Hidrocarburos Totales	1			1		1	1	1	1	6
Cr(VI)	1									1
Compuestos Orgánicos Halogenados		1	1			1			1	4
Ácidos Grasos		1	1		1	1		1	1	6
Coliformes Totales (UFC)		1								1
Coliformes Fecales (UFC)		1								1
Derivados de Antibióticos (Screaning HPLC/MS)		1								1
Derivados de Farmacéuticos (Screaning HPLC/MS)			1							1
Herbacidas			1							1
Pesticidas			1							1

(*) Los parámetros propuestos para el caso de términal marítimo dependen del tipo de terminal.

5.6.4 Análisis de idoneidad de las frecuencias de muestreo

5.6.4.1 Análisis de climatologías mensuales

La **Figura 341** muestra el promedio mensual espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) para bahía Quintero y la región oceánica adyacente. Los resultados muestran un marcado ciclo anual, que se caracteriza por un calentamiento estival, asociado al aumento en la radiación solar y en particular al avance de aguas más cálidas de origen subtropical desde la región nor-oeste (>18°C). Esta dinámica muestra un sistema de bajos gradientes horizontales en los meses de enero y febrero, los cuales se manifiestan mayormente durante los meses de marzo a mayo, donde se observa una banda de aguas más frías adjudicables a la acción de la surgencia costera. Entre junio y agosto se observa un enfriamiento general con temperaturas por debajo de los 12°C.

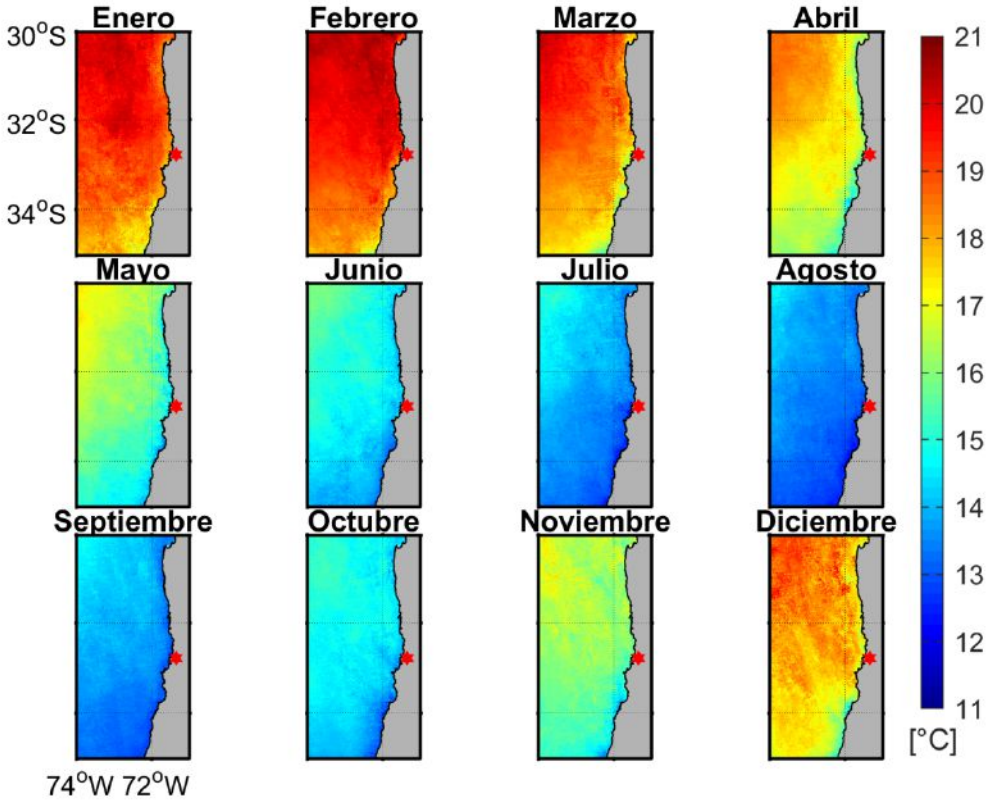


Figura 341. Estacionalidad climatológica de la temperatura superficial del mar [ºC] en la región aledaña a bahía Quintero, periodo 2007-2018. La ubicación de la bahía de Quintero se muestra en estrella roja.

La **Figura 342** muestra la climatología estacional de la clorofila superficial del mar para bahía Quintero y la región oceánica adyacente. Los resultados muestran marcados gradientes zonales

con mayor productividad en la banda costera (> 10 mg m^{-3}), la cual se observa incrementada en el periodo octubre-febrero, donde incluso se observan extensiones costa-afuera en forma de filamentos. El periodo mayo-agosto se caracteriza por bajos niveles de productividad, donde los mayores niveles se encuentran restringidos a una banda costera muy reducida en extensión.

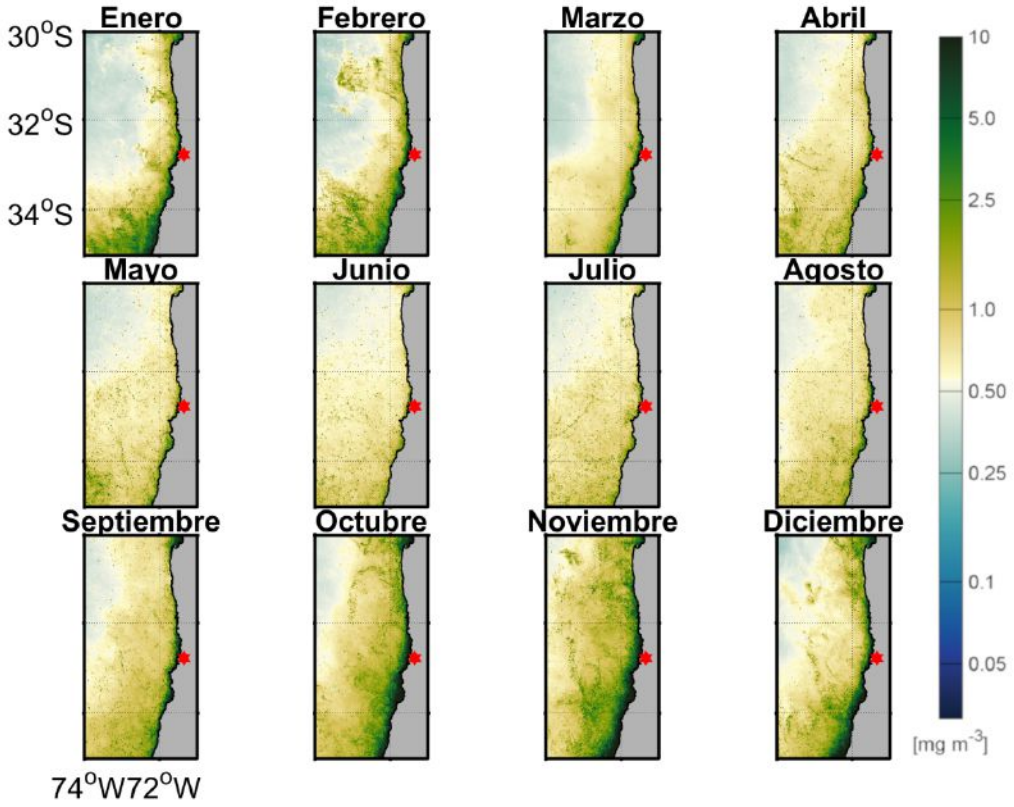


Figura 342. Estacionalidad climatológica de la clorofila superficial del mar [mg m^{-3}] en la región aledaña a la bahía de Quintero, periodo 2007-2018. La ubicación de la bahía de Quintero se muestra en estrella roja.

A partir de las imágenes mensuales de temperatura y clorofila superficial del mar, se elaboraron series de tiempo para las condiciones al interior de bahía Quintero. La **Figura 343** muestra la serie de tiempo de TSM y su correspondiente ciclo anual estimado. El análisis revela la marcada estacionalidad de esta variable al interior de bahía Quintero, destacando los menores niveles entre julio y septiembre, y el máximo en enero-febrero (**Figura 344**). Al mismo tiempo se observa un período de menor amplitud entre los años 2007-2011 (con un mínimo en 2007; La Niña) y mayor entre 2012-2017 (con un máximo en verano de 2016; El Niño). Finalmente, otro aspecto que se obtiene de este análisis es la fuerte componente del ciclo anual, el cual se muestra bastante conservativo, con inicio, máximo y mínimo poco variable a través del tiempo. Sólo el

periodo El Niño 2015-2017 muestra señales de adelantamiento del aumento de la temperatura estival. El ciclo anual de la TSM y su variabilidad para el periodo 2007-2018 se muestra en la **Figura 344**, destacando mínimos cercanos a 12,5ºC y máximos de 17ºC. La expresión espacial del mínimo (julio) y máximo (febrero) anual al interior de bahía Quintero se muestra en la **Figura 345.**

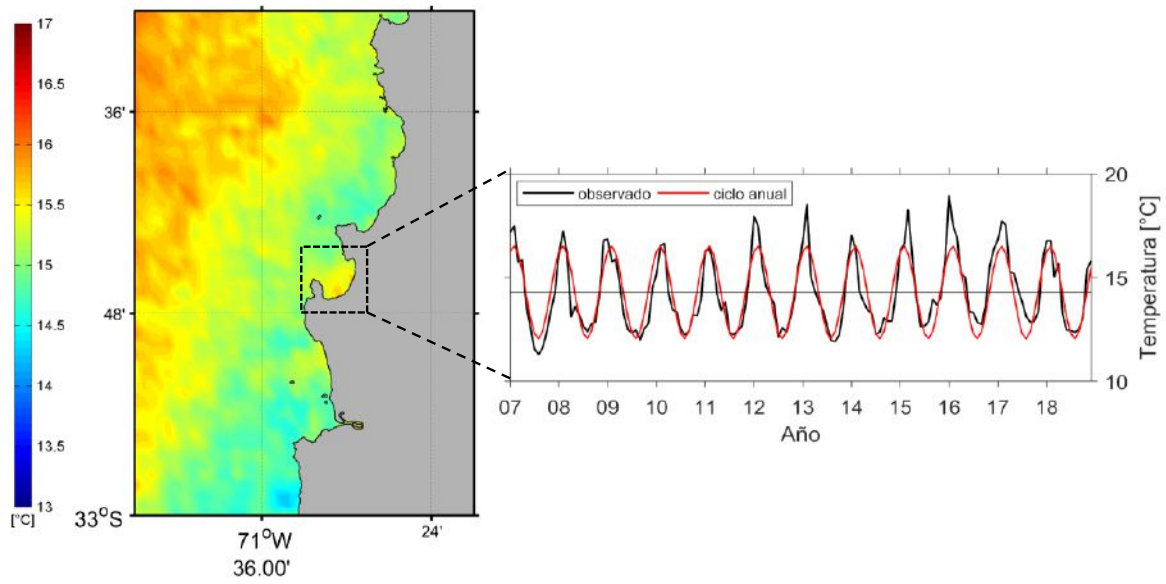


Figura 343. Promedio espacial de la temperatura superficial del mar (panel izquierdo) y serie de tiempo para la bahía de Quintero (línea negra) y su correspondiente ciclo anual (línea roja). La línea horizontal muestra el promedio de largo plazo.

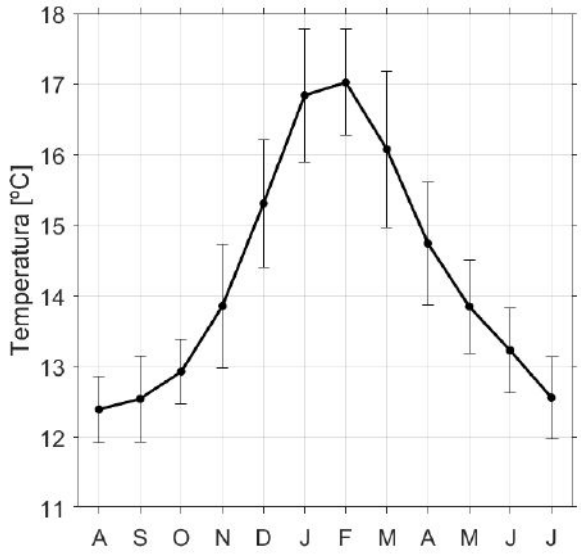


Figura 344. Ciclo anual de la temperatura superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. Las barras de error muestran la desviación estándar mensual.

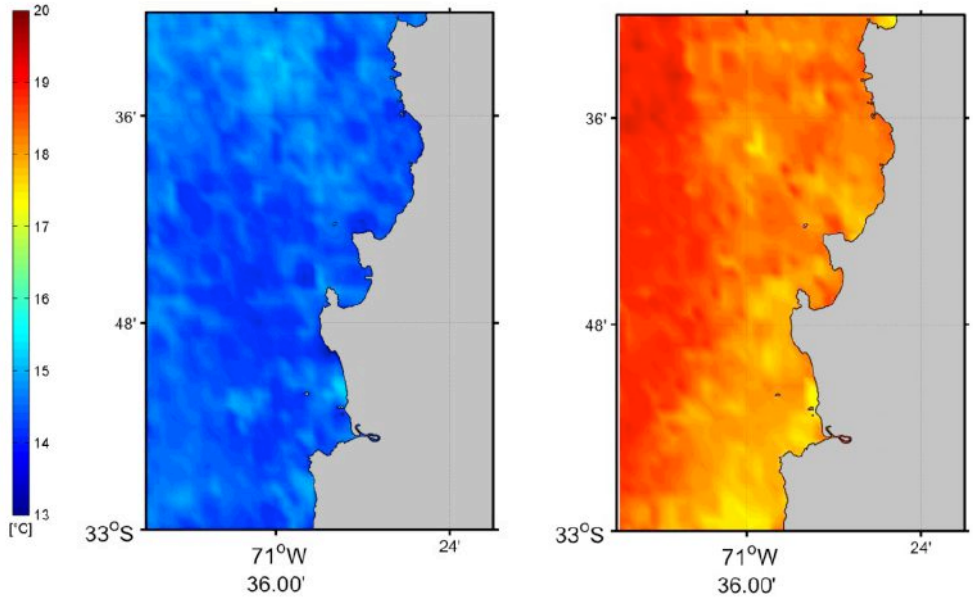


Figura 345. Expresión espacial del mínimo (julio; panel izquierdo) y máximo (febrero; panel derecho) de temperatura superficial del mar al interior de la bahía de Quintero.

La **Figura 346** muestra la serie de tiempo de la clorofila satelital y su correspondiente ciclo anual estimado. El análisis revela una notoria estacionalidad en la productividad al interior de la bahía, destacando los menores niveles entre mayo y julio, y el máximo en noviembre-diciembre (**Figura 347**). Al mismo tiempo se observa un período de mayor amplitud entre los años 2008 y 2012 y menor entre 2013-2017 (con un mínimo destacable 2016-2017). Este análisis reveló mayor variabilidad interanual en el comportamiento del ciclo anual, con algunos años sin un máximo bien identificado (e.g. 2014, 2016) y otros con diferencias en el inicio/termino del ciclo anual (e.g. 2008, 2017); sin embargo el ciclo anual es la componente más significativa en la señal de la clorofila satelital de este sector. De esta manera, el ciclo anual de la clorofila-a y su variabilidad para el periodo 2007-2018 se muestra en la **Figura 347**, destacando mínimos <5 mg m^{-3} y máximos cercanos a 20 mg m^{-3}. La expresión espacial del mínimo (junio) y máximo (diciembre) anual al interior de bahía Quintero se muestra en la **Figura 348**.

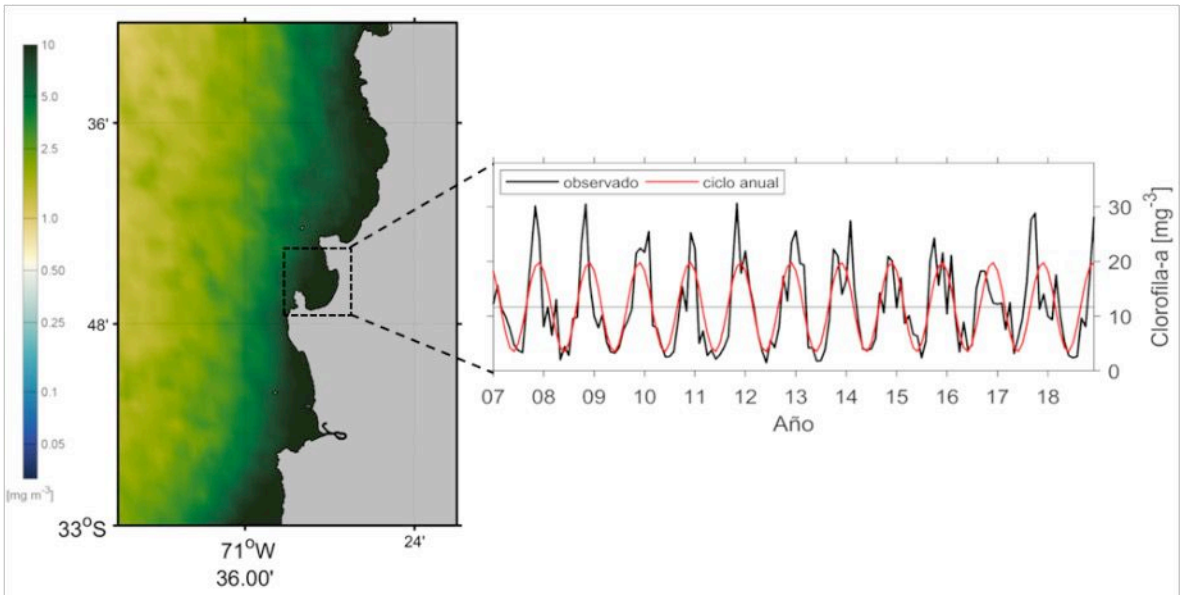


Figura 346. Promedio espacial de la clorofila superficial del mar (panel izquierdo) y serie de tiempo para la bahía de Quintero (línea negra) y su correspondiente ciclo anual (línea roja). La línea horizontal muestra el promedio de largo plazo.

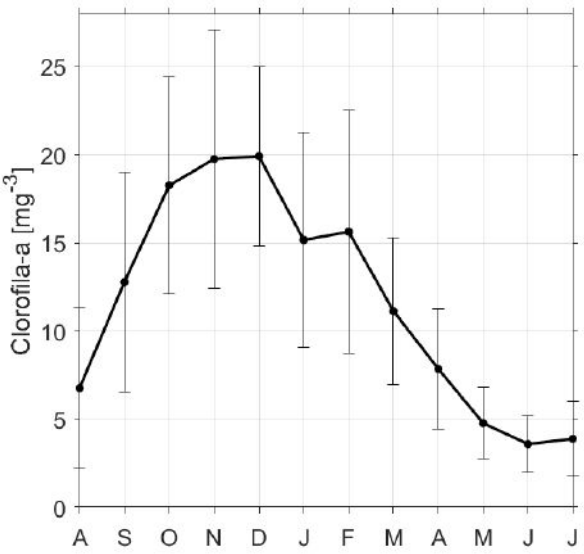


Figura 347. Ciclo anual de la clorofila superficial del mar al interior de la bahía de Quintero. Las barras de error muestran la desviación estándar mensual.

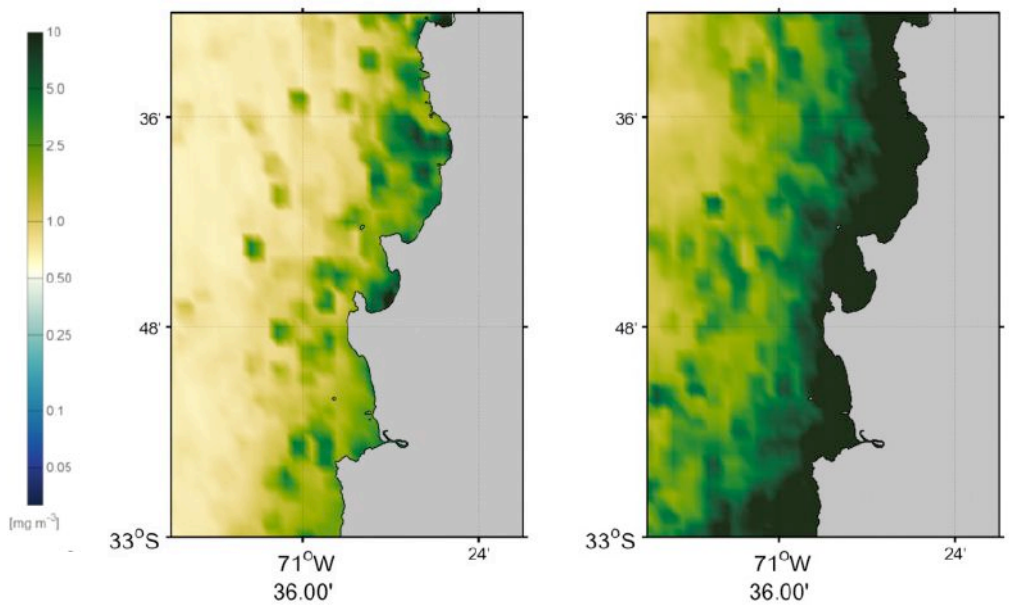


Figura 348. Expresión espacial del mínimo (junio; panel izquierdo) y máximo (diciembre; panel derecho) de clorofila superficial del mar al interior de la bahía de Quintero.

5.6.4.2 Propuesta de épocas de monitoreo

De acuerdo a los resultados de las variables satelitales, los máximos de temperatura superficial del mar ocurren durante los meses de enero y febrero; mientras que los mínimos de esta variable ocurren durante los meses de julio y agosto (**Figura 344 y 345**). En cuanto a clorofila superficial del mar, los máximos ocurren durante los meses de noviembre-diciembre; mientras que los mínimos ocurren durante los meses de junio y julio (**Figura 347 y 348**). Considerando estos antecedentes, se propone como periodos para muestreos estacionales, al menos, los periodos de máxima y mínima variabilidad registrados para ambas variables. De acuerdo con el análisis de climatología mensual, se observa que los mínimos tanto de temperatura como de clorofila fueron identificados en los meses de junio y julio; mientras que, los máximos de temperatura se observaron entre los meses de enero y febrero y; los máximos de clorofila fueron observados entre noviembre y diciembre. De acuerdo con estos análisis, se propone como mínimo que los programas de vigilancia ambiental de bahía Quintero contemplen la ejecución de 3 campañas al año, para rescatar la variabilidad estacional de la estructura hidrografía de bahía Quintero.

Cabe destacar que, dentro de las UF analizadas existe en general, una baja sincronía en las frecuencias de muestreo dentro de cada UF, observándose en la mayoría de los casos, poca regularidad en los meses de muestreo, cumpliendo únicamente con el numero de campañas exigidas por la autoridad ambiental. Es importante destacar que, dentro de las 12 UF analizadas, existen 13 programas de monitoreo, ya que, AES GENER UNIDAD 3, presenta dos programas de vigilancia diferentes, existiendo un programa semestral enfocado en variables químicas, y uno trimestral, enfocado en variables hidrográficas, los cuales son informados como documentos independientes. Del resto, existen 5 programas con 2 campañas al año, a saber: AES GENER UNIDAD 1 y 2, CODELCO COPEC Y ESVAL; 2 programas con 3 campañas al año a saber: TM VENTANAS y OXIQUIM ; 2 programas con 4 campañas al año a saber: AES GENER UNDIAD 4 y GNL QUINTERO; y finalmente 1 programas que presenta frecuencia anual como GASMAR y programa de frecuencia bienal como PESQUERA QUINTERO. Para todos aquellos programas que presentan 2 o menos de 2 campañas al año, se recomienda rediseñar los programas, considerando las fechas de campaña propuestas en este capítulo, con el fin de mejorar la calidad de la información generada, y los análisis que puedan efectuarse a partir de ella. Para aquellos programas que cuentan con 3 o 4 campañas al año, se recomienda ajustar las fechas de muestreo, con la finalidad de rescatar los máximos y mínimos de temperatura y clorofila, lo cual permitirá mejorar el entendimiento de la información levantada.

5.6.5 Análisis de idoneidad del posicionamiento de las estaciones de muestreo

En la **Sección 5.2** se entregó un breve análisis para las UF respecto de la ubicación y diseño de cada uno de los programas, donde se puede resaltar lo siguiente:

- Una de las características de todos los PVA es la ubicación costera de las estaciones de muestreo y que en general no superan los 20 m de profundidad, estando una gran parte de los puntos dentro de la isóbata de los 10 m. Las estaciones de muestreo presentan escaso distanciamiento entre ellas, en algunos casos con diferencias de no más de 100 m. Con esta escasa diferencia espacial, al menos en el caso de la calidad de las aguas, es posible que los puntos estén midiendo la misma calidad, lo que explicaría la baja presencia de diferencias espaciales para esta matriz. Del mismo modo, en los sedimentos no existen grandes diferencias en la granulometría para una misma UF (ver **Figura 286**), por lo cual es esperable que suceda una situación similar.

- Como es esperable, la ubicación de las estaciones de impacto se encuentra asociada a sus propios emisarios. No obstante, debido a la cantidad y cercanía de los emisarios presentes en la bahía, las estaciones de muestreo de una UF se superponen, o entrecruzan con estaciones de otras UF, lo que no permite establecer con claridad cuales son las fuentes verdaderas de alteraciones en los valores registrados en cada PSBQ.

- De las 12 UF, Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2, Pesquera Quintero y Terminal Marítimo GNL Quintero no presentan estaciones “control” (o también denominadas “referencia”), mientras que sólo ENAP Refinerías S.A. y Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4 son las que presentan 2 de este tipo de estaciones y el resto sólo 1. Geográficamente, la mayoría de las estaciones de referencia se ubican al interior de Bahía de Quintero y sólo ESVAL y CODELCO, poseen estaciones de control fuera de la bahía. De todas las estaciones de referencia existentes, la mayoría está ubicada hacia el norte de la bahía.

- La condición mencionada en los dos párrafos anteriores, también genera que en el caso de aquellas UF que tienen estaciones “control” se mezclen con estaciones de “impacto” de otras UF, lo que es contraproducente, ya que se espera que las estaciones “control”

no estén influenciadas (idealmente) por actividades antrópicas y que los cambios o variabilidad que ellas presentan sean el reflejo de una condición natural o más bien de eventos o situaciones de naturaleza de meso escala.

Respecto del diseño asociado a la posición de las estaciones de muestreo, cada UF ha dispuesto sus estaciones de impacto de diferentes maneras, en algunos casos en forma de "X" (Planta de Tratamiento y Emisario submarino ESVAL Quintero, ENAP Refinerías S.A.), en forma paralela a la costa (Pesquera Quintero, Planta GASMAR S.A. Quintero, Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 1 y 2, Complejo Termoeléctrico Ventanas Unidad 4.), triangular (COPEC S.A., Terminal Marítimo OXIQUIM S.A.), rodeando el emisario (Terminal Marítimo GNL Quintero, CODELCO Chile División Ventanas.), sin existir una uniformidad de diseño, lo que también está condicionado por el número de estaciones que cada UF presenta, existiendo desde 4 estaciones hasta 17 estaciones de monitoreo.

Al considerar todos los PVA que se realizan en la bahía, también es evidente que existe una sobreposición de estaciones entre las distintas UF y en particular desde el centro de la bahía hacia el norte (**Figura 349**). Sin duda, que esta situación, evidencia repetición importante de información del ambiente marino, lo que implica una importante pérdida de esfuerzos y recursos al concentrarse las evaluaciones en sólo un sector de la bahía. Si se reorientan los esfuerzos tanto en la posición de estaciones, como en incorporar matrices y/o parámetros de relevancia ambiental que no están siendo incorporados, se podría tener una mejora sustancial del conocimiento de Bahía de Quintero.

Los resultados del análisis transversal para parámetros comparables reflejan esta situación, observándose que, en general, existe una baja diferenciación entre estaciones cercanas y que, en los casos en los que se detectó diferenciación espacial, ésta se debe principalmente a diferencias entre sectores o zonas de la bahía. Tal es el caso de los sólidos suspendidos en columna de agua, del tamaño de grano en sedimentos y de la macrofauna submareal, para las cuales se observó que en la secciones centro y norte de la bahía, asociado al área ubicada entre las UF AES GENER y GNL QUINTERO, ocurre una mayor concentración de sólidos suspendidos en columna de agua, con menores tamaños de granos en sedimentos y con menores niveles de riqueza de especies, especialmente en aquellas zonas con profundidades inferiores a 10 m. Destaca, en el caso del tamaño de grano, un cambio importante en la granulometría informada por La UF Pesquera Quintero, para la zona sur-oeste de la Bahía, donde se observó una alta

proporción de arenas gruesas, lo que pareciera tener efecto sobre la riqueza de especies en la macrofauna, que resulta comparativamente más alta en esta zona.

Destaca también en este análisis, la UF ESVAL, ubicada en la sección sur de bahía Quintero, para la cual se observó temperaturas más bajas en la hidrografía y la presencia importante de la fracción Limo en la granulometría, lo que la diferencia del resto de las UF.

Reconociendo la complejidad de establecer un diseño de monitoreo transversal en sistemas dinámicos, sujetos a una importante variabilidad ambiental, como es el caso de la Bahía Quintero, en la **Figura 350** se diferencian conceptualmente las zonas de impacto directo y una propuesta de zonas o áreas de referencia o control. Para esta propuesta se ha entendido que el objetivo es determinar si la condición actual de la bahía es diferente de las zonas consideradas de referencia o control, y donde se espera que los efectos directos de las actividades industriales presentes en la bahía sean imperceptibles o, al menos, sean aminorados significativamente. En el diseño se identifica un área de impacto, que incluye la mayor proporción de estaciones dispuestas bajo la isóbata de los 20 metros, y 2 zonas control, entendiendo que la selección de una u otra afectará los costos de la vigilancia ambiental.

El área de referencia 1 corresponde a una zona ubicada al interior de la bahía, con profundidades inferiores a 30 metros y ubicada a una distancia cercana a 750 metros desde el límite del área de impacto, donde actualmente existe disposición de estaciones de control para la UF AES GENER. Es importante considerar la presencia de dos AMERB decretadas que comparten superficie con esta zona de referencia (AMERB Horcón y Ventanas), lo que eventualmente pudiera arrojar algún efecto no necesariamente asociado con la operación industrial, fundamentalmente en lo relativo a indicadores comunitarios. El área de referencia 2 corresponde a una zona ubicada fuera de la bahía, a más de 3 km del área de impacto, donde los efectos de la actividad industrial debieran ser aminorados completamente, y que por su conformación de bahía pudiera representar una zona de referencia apta para los fines de la vigilancia. Esta segunda zona de referencia incluye las actuales estaciones control de CODELCO y ESVAL, con menor impacto de la actividad extractiva producida al interior de áreas de manejo, por lo cual debiera ser priorizada como área de referencia.

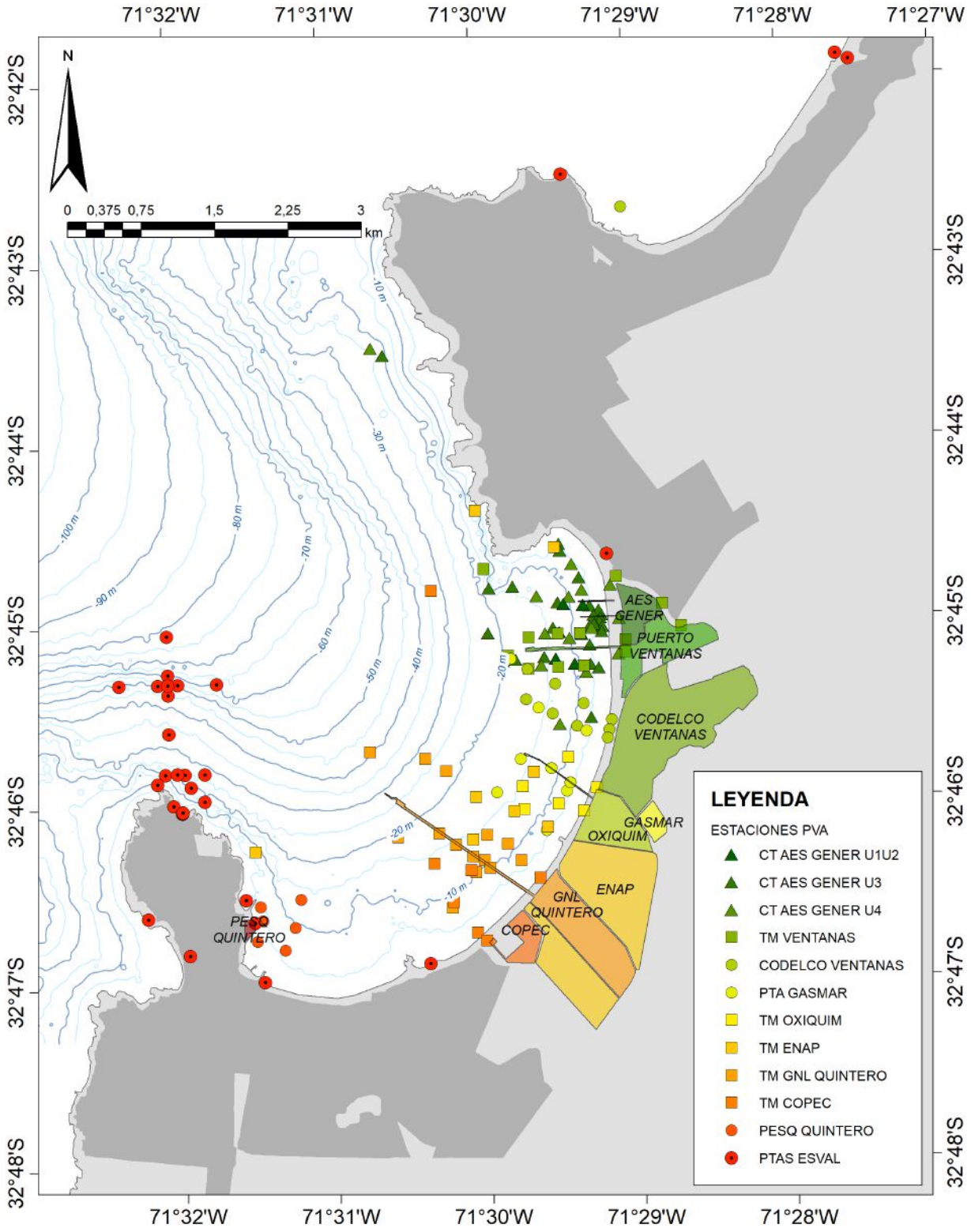


Figura 349. Ubicación del conjunto de estaciones monitoreadas en los distintos PSBQ.

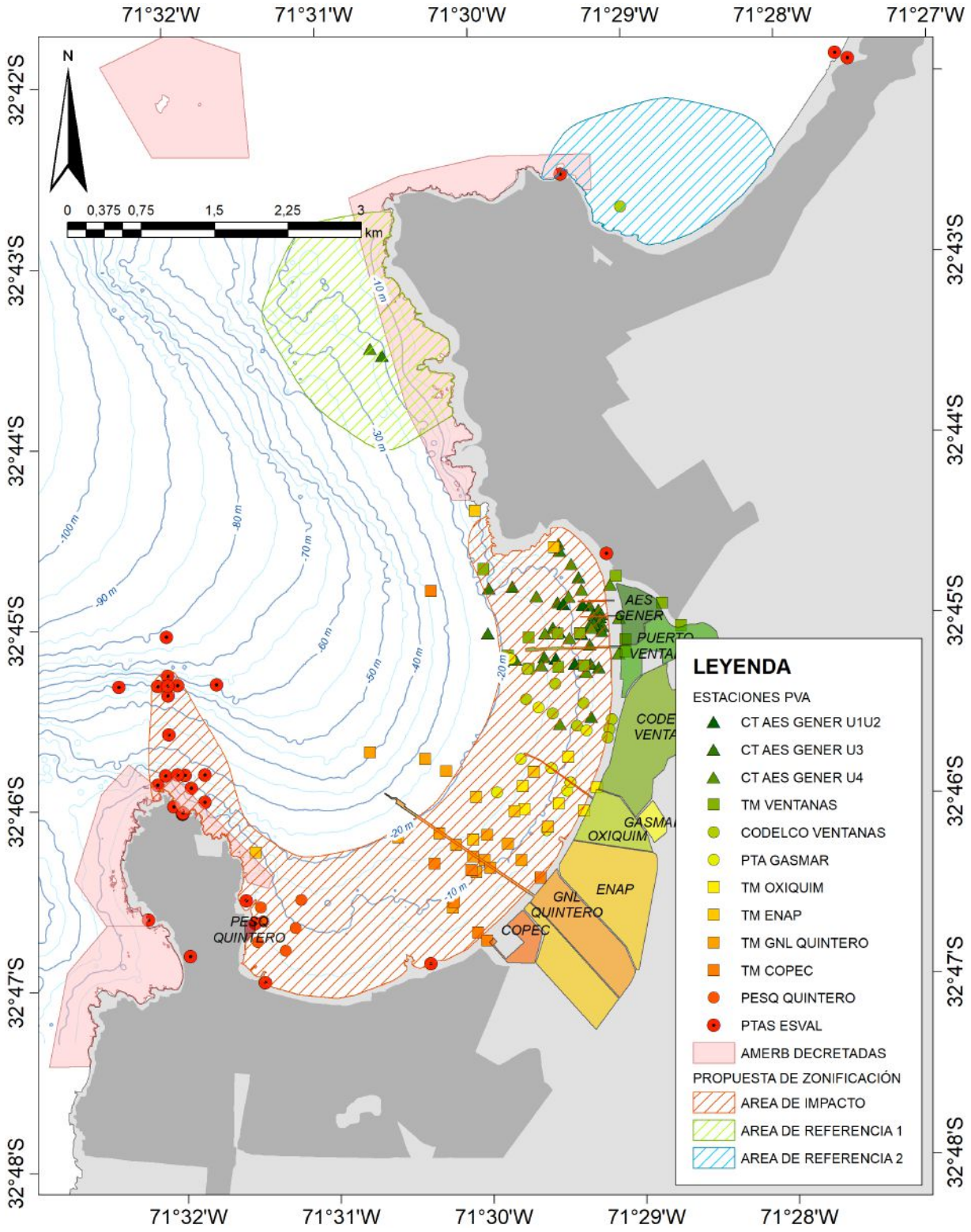


Figura 350. Propuesta de áreas de monitoreo de impacto y control para PSBQ.

6 DISCUSIÓN

Los Planes de Vigilancia Ambiental (PVA) y/o Planes de Seguimiento Ambiental (PSA), corresponden a monitoreos o seguimientos en el tiempo (escala temporal) de distintas matrices ambientales. Estos monitoreos, son generalmente realizados en estaciones ubicadas dentro del área de influencia, considerando además la disposición de estaciones control o de referencia, con el fin de detectar cambios en el área de influencia de las operaciones y los patrones de variabilidad espacio-temporales del área de estudio. En el caso de los PSA y PVA de Bahía Quintero, las principales matrices marinas analizadas correspondieron a: (i) columna de agua, (ii) sedimentos (intermareal y submareal) y, (iii) biota (macrofauna intermareal, macrofauna submareal, megafauna submareal, fitoplancton, zooplancton). Cada una de las 12 UF analizadas, cuenta con un PVA/PSA que ha sido elaborada con baja consideración al resto de las vigilancias ambientales de la bahía, tanto en cuanto a la estructuración espacial, como en cuanto a frecuencia de muestreo y parámetros monitoreados.

El objetivo principal de realizar un PVA/PSA es determinar, en una escala espacio-temporal acorde al impacto, las tendencias del comportamiento de las distintas matrices marinas y detectar si los cambios observados se relacionan o no con la operación que genera la vigilancia. No obstante, aunque los PVA/PSA sean distintos, todos ellos debieran cumplir con ciertas condiciones básicas, tanto en columna de agua (hidrografía y calidad de agua), como en sedimentos (granulometría y calidad de sedimentos) y biota (macrofauna, plancton). Estas condiciones básicas, permitirían contar con un espectro de comparación que posibilite la generación de análisis transversales o integrados, aportando al conocimiento del sistema bajo estudio (von Brömssen et al., 2018).

Así, se torna relevante que cada programa cuente con una trazabilidad mínima de información en las distintas matrices analizadas. A modo de ejemplo, si una empresa por su naturaleza genera un RIL que contiene el elemento o compuesto “X”, es absolutamente necesario, que las mediciones de ese parámetro “X” en el cuerpo de agua receptor, se realicen en la columna de agua, pero además, “X” debiera ser medido en sedimentos, que son considerados un reservorio de elementos o compuestos, y adicionalmente en la biota que puede asimilar dicho compuesto a través de diferentes procesos fisiológicos. Este concepto de “trazabilidad de la información”, debiera ser la base para detectar el efecto real del vertimiento de un determinado contaminante sobre los diferentes componentes ambientales. En particular en el caso de la biota, para el caso

de aquellos elementos o compuestos persistentes como los metales pesados, es además imperioso considerar distintos niveles tróficos.

Considerando este esquema general, se realizó una revisión exhaustiva de los antecedentes de Informes de Seguimiento Ambiental y de los Planes de Vigilancia Ambiental, aportados y entregados por la Subsecretaría de Medio Ambiente, registrándose una gran disimilitud entre programas, algunos con una amplia cobertura de matrices y componentes bióticos, y otros con una muy baja amplitud de matrices evaluadas (sólo sedimentos, organismos y macrofauna).

Esta gran heterogeneidad, dificultó realizar un análisis comparativo a la escala de la bahía. En efecto, de los 12 PVA/PSA que se ejecutan en Bahía Quintero, 9 presentan hidrografía, 3 corrientes, 11 calidad de agua, 12 calidad de sedimentos, sólo 1 calidad de organismos, 11 macrofauna, 3 fitoplancton, 2 zooplancton, 3 megafauna y 2 bioensayos. Adicionalmente, la frecuencia de las campañas de muestreo también muestra una alta heterogeneidad, en algunos casos con monitoreos trimestrales (primavera, verano, otoño e invierno), en otros semestral (invierno y verano u otoño y primavera) o sólo una campaña al año, existiendo incluso programas bienales (1 vez cada dos años).

En cuanto al diseño espacial, se observa que en algunos PSA no poseen estaciones control y que, en ciertos casos, las estaciones control insertan dentro de las zonas de impacto de otra vigilancia ambiental (lo que para una empresa es una “zona control” para otra es su “zona de impacto”). Toda esta heterogeneidad se agudiza aún más cuando se analiza la información correspondiente a los parámetros medidos al interior de cada matriz, sin existir ningún parámetro químico que sea medido de forma transversal en ninguna de las matrices analizadas para los 12 PSBQ.

A partir de la evaluación de la información de la biota (macrofauna submareal, zooplancton y fitoplancton), se detectó la existencia de errores ortográficos graves en cuanto a la nomenclatura taxonómica de especies. Además, en muchos casos la identificación sólo llega a nivel de orden o familia, y en otros a nivel de especies, impidiendo que se puedan efectuar análisis integrados sobre la composición de especies para el submareal.

Del total de parámetros medidos en las 12 UF analizadas, sólo 4 parámetros mostraron cierto grado de transversalidad que permiten la realización de análisis integrados para detectar

tendencias de mediano plazo o diferencias entre UF. En el caso de la hidrografía, se observó para la temperatura que la época del año (trimestre) explica una mayor proporción de la variabilidad observada; mientras que para el oxígeno disuelto se observaron importantes variaciones entre años, aunque sin detectarse tendencias ascendentes y/o descendentes en la serie analizada.

Para los sólidos suspendidos en columna de agua, la posición geográfica de los puntos de muestreo de cada UF, explicó la mayor proporción de la variabilidad observada, siendo la zona norte de la bahía donde se registraron las mayores concentraciones. Para los tamaños de grano registrados en los sedimentos, se observó igualmente una estructuración espacial, con mayores tamaños de grano en la sección sur de la bahía. Se destaca que la UF ESVAL, ubicada en la sección sur de la bahía, tiende a mostrar comportamientos particulares, con menores niveles de temperatura para hidrografía y con la presencia de la fracción Limo en la granulometría, lo que la distingue del resto de las UF.

Como una manera de evaluar cambios generales en las comunidades de la macrofauna submareal, se ejecutó un análisis basado en el contraste estadístico de los indicadores riqueza y diversidad de especies de Shannon-Wiener (H'). El resultado de este análisis reveló que, al considerar en conjunto las UF con bases de datos de macrofauna analizables (10 UF), la diferenciación espacial resultó estadísticamente significativa. Para el caso de la riqueza de especies, las fuentes de variación UF y Estación de muestreo explicaron un 33% de la variabilidad observada, mientras que para la riqueza de especies ambas fuentes de variación explicaron un 23%, observándose en ambos casos que la estación de muestreo correspondió a la principal fuente de variación. El posicionamiento espacial de las estaciones de muestreo rveló que los registros promedio más bajos de riqueza y diversidad de especies fueron observados en las estaciones ubicadas en la zona central de la bahía, y específicamente en áreas más cercanas a la línea de costa y a profundidades inferiores a 10 m.

Respecto a los datos de los efluentes, se observa que la mayoría de los parámetros no presentó excedencias a la norma (DS 90), o bien que las excedencias se registraron en baja proporción y sólo para algunas UF. Los parámetros boro, cloruros, hierro, sulfatos, triclorometano y xileno presentaron excedencias en el 100% de los casos y en todas las UF en las que fueron medidos, aunque el número de determinaciones para estos parámetros fue bajo e inferior a 6.

Respecto a otras fuentes de información independientes de los PVA (POAL y CEA 2014), también se observó una alta variabilidad. En el caso del POAL, los periodos de análisis, las estaciones de muestreo y las técnicas de laboratorio utilizadas para cada matriz ambiental, varían en periodos de tiempo que oscilan entre 4 y más de 10 años, lo que impide generar una base de datos transversal de mediano plazo que permita generar un contraste efectivo entre ambas fuentes de información (POAL vs PSBQ). No obstante, algunos de los resultados relevantes para esta fuente de información indican que, para columna de agua y de manera transversal para todos los parámetros analizados, se detectó una importante diferenciación entre años, con una alta proporción de parámetros bajo los límites de detección, especialmente a partir del año 2014. La variabilidad en los parámetros analizados en esta matriz tampoco permite efectuar análisis integrados o de largo plazo en esta matriz. Para el caso de los sedimentos, las bases de datos POAL muestran también una importante diferenciación entre años de muestreo como principal fuente de variación estadística. La granulometría, medida a partir del 2013, muestra como tendencia general una alta diferenciación entre campañas de muestreo, con baja diferenciación entre estaciones. En efecto, entre 2013 y 2014 predominaron Fango y Arenas Medias a Finas, entre 2015 y 2016 aparece una fracción importante de Arenas Finas y en el 2017 se observa una alta proporción de Arenas Medias, para luego en el 2018, observarse el predominio transversal de Arenas Finas y Arenas Medias a Finas. Esta variabilidad en los tipos de arena fue la que explicó mayoritariamente la diferenciación estadística entre años, al realizar contrastes multivariados incluyendo la granulometría y la concentración de los metales As, Cu, Hg y Pb, además de hidrocarburos fijos y materia orgánica. Destaca también en el POAL, el análisis de la concentración de metales en biota del intermareal (*Perumytilus purpuratus*) en 2 estaciones de muestreo, entre las cuales no se observó diferencias significativas, siendo el Año la principal fuente de diferenciación, principalmente asociado con mayor presencia de cobre, cromo, mercurio, cadmio, plomo y zinc total entre los años 1996 y 1999.

La base de datos del CEA (2014) presentó mayor consistencia en términos de parámetros medidos y ubicación de estaciones de muestreo entre campañas, pero dado que el estudio comprende un corto periodo de análisis (invierno 2012 y verano 2013), tampoco fue posible contrastar esta fuente de información con datos de los PSBQ. Pese a lo breve del periodo de muestreo, la base de datos también mostró importantes diferencias en los límites de detección informados, especialmente en el caso de los sedimentos. En este caso, los resultados del análisis estadístico efectuado revelaron que, en el caso de columna de agua, se midieron 60 parámetros, de los cuales prácticamente el 50% presentó más de un 90% de los registros bajo el límite de

detección. Para los parámetros analizables, se observó importantes diferencias entra campañas de muestreo, con mayores niveles de clorofila, sólidos suspendidos totales, conductividad, nitrógeno total kjeldahl, nitrógeno total y alcalinidad durante el verano de 2013, y mayores concentraciones de coliformes totales, fósforo, cloruros, nitratos, nitritos, carbono orgánico total y carbono orgánico disuelto durante invierno de 2012. Los sedimentos también mostraron diferencias entre campañas de muestreo, con mayores niveles potencial Redox, mercurio y pH durante el invierno de 2012; y mayores concentraciones de metales, nitrógeno y carbono orgánico total durante verano de 2013. Se destaca que, en el caso de la calidad de organismos, si se detectó diferencias espaciales, con mayores concentraciones de plata, arsénico y cadmio en individuos de *Fissurella sp.* extraídos desde la localidad de Horcón, mayores concentraciones de plomo, selenio, cobre, zinc, boro, litio, aluminio y manganeso en organismos extraídos desde la localidad de Ritoque y mayores concentraciones de plomo y selenio, en conjunto con menores concentraciones de bario, en los organismos extraídos desde Bahía Quintero.

Estos resultados indicarían que las fuentes de información adicionales a los PSBQ analizadas, correspondientes al POAL y CEA (2014), presentan igualmente discontinuidad en las mediciones y, aunque permiten generar inferencias parciales en diferentes periodos de tiempo, no permiten integrar los resultados con los que se han obtenido en los PSBQ, ni tampoco entregan antecedentes que permitan generar un diagnóstico acabado de la condición de la Bahía.

Respecto a la idoneidad de los parámetros monitoreados en cada UF, se destaca que gran parte de las técnicas de laboratorio informadas en los PSBQ, no corresponden a técnicas que puedan aplicarse directamente al análisis de aguas marinas. En efecto, dada la gran cantidad de interferentes que el agua de mar posee, se requiere de pre-procesamientos de las muestras, antes de ejecutar los análisis de laboratorio, información que no está disponible en los informes analizados. Del mismo modo, respecto a los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC), la mayoría de los PVA informan sólo el LD del método, el cual corresponde a la menor concentración que el equipamiento puede alcanzar con un blanco, por lo tanto, no evalúa la sensibilidad del método para la detección del analito específico. En este sentido, es importante señalar, que el valor del LD puede encontrarse entre 1 a 10 veces por debajo del límite de cuantificación del método, y por lo tanto, informar solamente el valor de LD, no permite asegurar que el parámetro esté por debajo de una concentración, dado que existe un rango entre el LD y LC que no está siendo cuantificado, y por lo tanto, no es posible establecer con rigurosidad estadística si el dato

medido en laboratorio es efectivamente el valor de LD cuando se informan como No Detectados o incluso cuando están cerca del límite de detección.

Adicionalmente, y en un esfuerzo por proponer una vigilancia ambiental adecuada respecto de las diferentes actividades industriales presentes en la bahía, en este documento se entregan recomendaciones de parámetros clave que, de acuerdo a la experiencia del equipo de trabajo, debieran ser monitoreados en atención al tipo de industria y matriz ambiental en estudio. En términos generales, para agua de mar se recomienda el análisis de los parámetros cloro libre residual, carbono orgánico total, sulfuros, arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio disuelto, vanadio particulado y clorofila; para sedimentos los parámetros cloro libre residual, carbono orgánico total, sulfuros, arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio absorbido, vanadio total e hidrocarburos totales; y para organismos parámetros como arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, vanadio hidrocarburos totales y ácidos grasos. Todos estos parámetros presentan alta transversalidad independiente del tipo de industria, lo cual los convierte en parámetros altamente relevantes que debieran ser incluidos transversalmente en los PSBQ. Adicionalmente, existen parámetros específicos, relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declara dentro de sus emisiones puntuales o difusas, que deben ser incluidos en los monitoreos ambientales.

Es importante destacar que, el análisis de parámetros específicos contenidos en los residuos o emisiones de fuentes fijas o difusas, puede no ser suficiente para determinar la evolución del analito en el medio receptor. Esto, dado que la naturaleza de los compuestos, puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y de las características propias del analito. Por ejemplo, la emisión de un compuesto aromático, deber ser analizada en las matrices agua, sedimentos y organismos, debido a presentan alta volatilidad, bajas vidas medias y alta fugacidad, lo que ocasiona que estos compuestos migren con bastante rapidez entre las matrices ambientales.

Otro punto para tener en consideración, son las condiciones propias del sistema que recibe la descarga, donde la condición fisicoquímica del cuerpo receptor es importante. Parámetros como pH, Temperatura, Potencial Redox, Oxígeno y Sólidos Suspendidos son parámetros de contexto, que juegan un rol fundamental en el tiempo de residencia, en la forma química y en la disponibilidad ambiental que presentará el analito en cuestión. El análisis de la condición ambiental de un cuerpo receptor debe estar estrechamente relacionado con las emisiones

liberadas y, adicionalmente, debe considerar una serie de mediciones en distintas matrices, con el mayor grado de especificad posible, las que en conjunto debieran permitir establecer el origen de los analitos, así como sus cambios temporales y espaciales.

Es fundamental poner en relevancia el valor de las mediciones específicas cuando se requiere evaluar la calidad ambiental, especialmente cuando consideramos los ambientes costeros, tales como bahías multiusuario, donde se desarrollan una amplia gama de actividades industriales, lo que hace muy compleja la tarea de establecer el origen de una emisión, y por lo tanto, la medición de un parámetro crítico único y exclusivo, no es un enfoque adecuado. Las evaluaciones ambientales deben considerar una amplia gama de parámetros, tanto específicos como de contexto, que permitan establecer la condición ambiental en su mejor magnitud. Por ejemplo, los hidrocarburos, están conformados por una amplia gama de compuestos de distintos pesos atómicos y longitudes de cadenas, por lo tanto, para evaluar este parámetro en el medio receptor debemos considerar los aportes naturales (hidrocarburos biogénicos) y los aportes industriales de fuentes fijas y difusas (hidrocarburos antropogénicos), además de las variaciones estacionales que pueden afectar la presencia de estos compuestos. Si consideramos todos los hidrocarburos presentes en una muestra, podríamos contener del orden de 50 compuestos distintos, todos ellos caen dentro de la categoría de hidrocarburos totales, a pesar de que pueden tener orígenes completamente distintos. En este contexto, para establecer la calidad del medio en Bahía Quintero, se debe considerar las diferentes actividades industriales que se requiere vigilar, considerando tanto parámetros transversales para todos los seguimientos ambientales como parámetros específicos, para poder establecer con certeza si las fuentes de variabilidad principales del sistema corresponden a aportes antrópicos o a la variabilidad natural.

En cuanto a las frecuencias de muestreo, se observa en general una baja sincronía en las campañas de monitoreo para cada UF, observándose en la mayoría de los casos, diferencias en los periodos y frecuencias de muestreo. En este sentido una recomendación es considerar una mayor regularidad en las fechas de muestreo, en atención a los procesos clave que regulan la dinámica de la bahía, lo cual permitirá entender de mejor forma la variabilidad observada en los monitoreos ambientales.

Como resultado del análisis de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y clorofila superficial, se propone como mínimo que los programas de vigilancia ambiental de bahía Quintero contemplen la ejecución de 3 campañas al año, en los periodos de máxima productividad

(noviembre-diciembre), mayor temperatura (enero-febrero) y valores mínimos de productividad y temperatura (junio-julio), lo que permitiría rescatar la variabilidad estacional de la estructura hidrográfica de la bahía. Esto requeriría del aumento de la frecuencia de aquellos programas semestrales, anuales y bienales, y del ajuste de aquellos programas que contemplan 3 o 4 campañas al año, permitiendo un mejor entendimiento de la información recopilada por cada UF y un análisis transversal de los procesos oceanográficos que ocurren al interior del área de estudio.

Respecto al posicionamiento de estaciones de monitoreo, la mayor proporción de los puntos de evaluación se ubican bajo la isóbata de 10 m de profundidad, estando en muchos casos muy cercanas, lo que impide la diferenciación entre las estaciones asociadas a la vigilancia del vertido y las zonas de referencia. Este hecho fue corroborado por los análisis estadísticos efectuados, en los que observó la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre estaciones de monitoreo para la mayoría de las UF analizadas. La ubicación de las estaciones de impacto se encuentra, como es lógico, asociada a sus propios emisarios, observándose que en ciertos casos las estaciones “control” se confunden con estaciones de “impacto” de otras UF. Al respecto, se espera que las estaciones control no estén influenciadas directamente por actividades antrópicas, y que la variabilidad que ellas presenten, sean el reflejo de una condición natural o de eventos o situaciones no directamente asociadas con los vertidos a la bahía.

En este sentido, en este informe se presenta una propuesta de zonificación con 1 área de impacto que incluye la zona donde se ubica la mayor proporción de estaciones de muestreo y puntos de descarga, y 2 zonas o áreas de referencia, en las que se espera que los efectos de las descargas industriales sean minimizados (ver **Figura 350**). El área de referencia 1 corresponde a una zona ubicada al interior de la bahía, a unos 700 m del área de impacto y colindante a las AMERB Horcón y Ventanas. El área de referencia 2 corresponde a una zona ubicada fuera de la bahía, a más de 3 km desde el límite del área de impacto, donde los efectos de la actividad industrial debieran ser aminorados completamente y que, por su conformación de bahía, pudiera representar una zona de referencia apta para los fines de la vigilancia.

Los resultados presentados en este informe, son producto de una exhaustiva revisión de los programas de vigilancia ambiental de cada UF. Esta revisión da cuenta de importantes falencias relacionadas con el diseño espacial de las vigilancias ambientales, selección de parámetros, metodologías de laboratorio aplicadas y frecuencias de monitoreo. Bajo esta condición, se

aprecia que cada PSBQ corresponde a un programa desarrollado con escasa o nula consideración de las demás vigilancias ambientales, de los impactos que se producen al interior de la bahía y de los procesos clave que regulan su condición ambiental. Se espera que las revisiones y recomendaciones entregadas en este informe, contribuyan a la formulación programas de vigilancia ambientales que posean una visión integrada, lo que fortalecerá las conclusiones emanadas de cada PSBQ y el conocimiento de los procesos que dominan el sistema bajo estudio.

7 CONCLUSIONES

La información analizada provino mayoritariamente de la revisión de un total de 741 documentos entregados por la Subsecretaria de Medio Ambiente, desde donde se extrajo la información cuantificable mediante utilización de softwares OCR (*Optical Character Recogition*) y editores de PDF para el traspaso de tablas desde los informes originales, a formatos de base de datos, generándose bases de datos integradas para las 12 UF que operan dentro de la bahía.

Los resultados obtenidos revelaron la existencia de una gran heterogeneidad en la información levantada en cada programa de seguimiento ambiental, con muy baja trazabilidad, lo cual dificulta el tratamiento de la información desde un punto de vista integral o transversal, constatándose diferencias de criterios en cuanto a la disposición de estaciones, escasez de puntos de referencia o control, heterogeneidad en cuanto a matrices y parámetros analizados, diferentes frecuencias de monitoreo, entre otras.

Dada esta heterogeneidad, los análisis estadísticos entregados fueron realizados primero de manera independiente para cada PSBQ, seleccionando posteriormente las matrices y parámetros que mostraron mayor transversalidad para la generación de análisis integrados y contrastes entre los resultados informados por cada UF.

Los resultados obtenidos a partir de los análisis estadísticos efectuados permiten establecer que las diferencias temporales tienden a dominar sobre la diferenciación espacial. Para el caso de la hidrografía, destacaron las diferencias estacionales (entre trimestres) y entre estratos de profundidad, mientras que para la columna de agua, la mayoría de los parámetros analizados mostró diferencias entre años y estaciones del año y, en el caso de los muestreos de sedimentos, se observaron diferencias principalmente entre años.

El análisis de la macrofauna intermareal reveló que el nivel de muestreo perpendicular a la línea de costa (estrato) es el principal estructurador de las comunidades, destacando la presencia de *Excirolana sp.* y *Orchestoidea tuberculata* en los niveles superiores y de *Emerita analoga* en los niveles inferiores.

Para el caso de macrofauna submareal, Fitoplancton, Zooplancton y Megafauna, se observó importantes problemas asociados con la identificación de especies, principalmente en lo referido

en la ortografía utilizada en la nomenclatura de familias, géneros y especies, lo que impidió la ejecución de análisis transversales en cuanto a composición de especies.

El análisis de los efluentes reveló que la mayoría de los parámetros analizados no presentó excedencias a la norma (DS 90), o bien éstas se registran en baja proporción. Sin embargo, hubo algunos parámetros que presentaron excedencias en el 100% de los casos y en todas las UF analizadas, aunque el número de determinaciones para estos parámetros fue inferior a 6 registros.

Los resultados del análisis integrado para las variables comparables en los PSBQ revelaron que, para el total de UF analizadas, sólo 4 parámetros mostraron algún grado de transversalidad, lo que permitió realizar análisis estadísticos integrados. Estas variables correspondieron a la temperatura y el oxígeno disuelto en hidrografía, a los sólidos suspendidos totales en columna de agua y al tamaño de grano en sedimentos.

Para temperatura, la época del año (trimestre), explicó la mayor proporción de la variabilidad, mientras que el oxígeno disuelto mostró importantes variaciones entre años, aunque sin observarse tendencias ascendentes y/o descendentes en las series analizadas.

Para sólidos suspendidos, la posición geográfica de las estaciones de muestreo, explicó la mayor proporción de la variabilidad, siendo la zona norte de la bahía donde se registraron las mayores concentraciones. Para tamaño de grano, también se observó una estructuración espacial importante, con las estaciones ubicadas en la sección sur, frente a Pesquera Quintero, con los mayores tamaños de grano (Arenas gruesas) y con las estaciones ubicadas en el centro de la bahía, mostrando tamaños de grano menores (Limo y Arenas muy finas).

El resultado del contraste estadístico de los indicadores riqueza y diversidad de especies de Shannon-Wiener (H') reveló que, al considerar en conjunto las UF con bases de datos de macrofauna analizables (10 UF), la diferenciación espacial resultó estadísticamente significativa y explica entre un 23% y 33% de la variabilidad observada en ambas bases de datos, observándose que los registros promedio más bajos de riqueza y diversidad de especies fueron registrados en las estaciones ubicadas en la zona central de la bahía, y específicamente en áreas más cercanas a la línea de costa y a profundidades inferiores a 10 m.

Las bases de datos de POAL y CEA (2014), fueron también sometidas a análisis estadísticos para cada matriz ambiental disponible, con la finalidad de obtener resultados cuantificables que permitieran caracterizar la bahía, desde fuentes de información diferentes a las proporcionadas por los PSBQ. En términos generales, las bases de datos del POAL mostraron una alta variabilidad y escasa transversalidad entre los diferentes programas de muestreo. De esta manera, se optó por diferenciar para cada matriz analizada, periodos con cierta homogeneidad en términos de los parámetros analizados y del número de estaciones medidas. Así se identificó 6 periodos para agua submareal, 3 periodos para sedimentos submareales, 1 periodo para sedimentos intermareales y 2 periodos para biota. En el caso de CEA (2014), se analizó 60 parámetros medidos en agua de mar submareal, 43 parámetros en sedimentos submareales y 19 parámetros en organismos marinos, este último correspondiente al taxón *Fissurella spp.* evaluado en 3 localidades diferentes cercanas a Bahía Quintero. En este programa se incluyó, además, el análisis de las matrices de fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macrofauna intermareal y macroinfauna.

El análisis de las fuentes de información adicionales a los PSBQ analizadas, correspondientes al POAL y CEA (2014), reveló igualmente discontinuidad en las mediciones y, aunque su análisis permitió generar ciertas inferencias parciales en diferentes periodos de tiempo, no permitieron generar un diagnóstico acabado de la condición de la Bahía.

Las bases de datos del POAL mostraron una alta variabilidad y escasa transversalidad entre los diferentes programas de muestreo, identificándose periodos diferentes para las distintas matrices analizadas, observándose en todos los casos que las diferencias temporales (entre Años) fueron siempre de mayor importancia que las diferencias espaciales.

La base de datos del CEA (2014) presentó mayor consistencia en términos de parámetros y ubicación de estaciones de muestreo entre campañas, pero dado que el estudio comprende un corto periodo de análisis (invierno 2012 y verano 2013), tampoco fue posible contrastar esta fuente de información con datos de los PSBQ. Los resultados de los análisis estadísticos revelaron que para columna de agua y sedimentos la principal fuente de diferenciación correspondió a la campaña de muestreo. Mientras que en el caso del muestreo de calidad de tejidos de *Fissurella sp.* si se registraron diferencias espaciales significativas, observándose mayores concentraciones de plomo y selenio en los organismos extraídos desde Bahía Quintero.

En cuanto a la idoneidad de las metodologías de muestreo y parámetros monitoreados, se constató falencias importantes en las técnicas de análisis ejecutadas por los laboratorios, contentándose en muchos casos, referencias metodológicas que no corresponden para el parámetro y/o para la matriz ambiental analizada, además de falencias en cuanto a la selección de parámetros clave por tipo de actividad industrial. Al respecto, en el documento se realiza una propuesta de parámetros que debieran monitorearse en Bahía Quintero, tendiendo en consideración parámetros basales clave y parámetros asociados a los diferentes tipos de industria, incluyendo recomendaciones para el empleo de metodologías de laboratorio validadas matrices marinas.

Respecto a la idoneidad de las frecuencias de muestreo, se constató diferencias importantes entre UF, existiendo desde programas de vigilancia con frecuencia trimestral hasta otros con frecuencia bienal. En este sentido, sobre la base de un análisis de información satelital recabada para Bahía Quintero, se identificaron al menos 3 momentos clave en los procesos oceanográficos asociados con la productividad local (clorofila) y dinámica de las masas de agua (temperatura). Estos momentos se asociaron al peak de productividad de clorofila (noviembre-diciembre), peak de temperatura de la columna de agua (enero-febrero), en contraste con la época invernal (junio-julio), donde ambos indicadores (temperatura y clorofila) mostraron valores mínimos.

Respecto a la ubicación de las estaciones de monitoreo, se detectó problemas asociados al diseño espacial, baja trazabilidad en cuanto a las matrices ambientales monitoreadas (agua, sedimentos y comunidades), y problemas asociados a identificación de zonas de referencia adecuadas. En este sentido, en este informe se entregó una propuesta de zonificación que incluye un área de impacto y dos zonas o áreas de referencia, en las que se espera que los efectos de las descargas industriales sean minimizados.

Esperamos que la revisión entregada constituya una contribución en cuanto a la identificación de criterios que puedan ser efectivamente aplicados a cada uno de los programas de vigilancia analizados, con el propósito de fortalecer los resultados obtenidos en cada uno de ellos, además de mejorar el conocimiento de los procesos que dominan el sistema bajo estudio.

8 REFERENCIAS

Abbaszadegan, M. 2006. Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization. Ginebra, Suiza.

Artiola, J. F., & A. W. Warrick (2004). Sampling and data quality objectives for environmental monitoring. En: J. F. Artiola, I. L. Pepper, M. L. Brusseau (Eds.), Environmental Monitoring and Characterization(pp. 11-27). Pages 11-27, Academic Press.

Artiola, J. F.,. Pepper, I. L., & M. L. Brusseau (2004). Monitoring and characterization of the environment. En: J. F. Artiola, I. L. Pepper, M. L. Brusseau (Eds.), Environmental Monitoring and Characterization (pp 1-9), Academic Press.

Bricker, S.B., Ferreira, J.G., Simas, T., 2003. An Integrated Methodology for Assessment of Estuarine Trophic Status. Ecological Modelling 169, 39–60.

Cárcamo V., C. Espinoza, J Letelier, C. Silva, A. Wilson, L. Ariz, L. Figueroa, D. Oliva, R. Vera, F. Cárcamo & R. Sfeir. 2016. Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Cayuela L. 2014. Modelos lineales generalizados (GLM). Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos. Madrid. 31 pp.

CEA. 2014. Análisis de Riesgo Ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Noviembre, 2013. Informe Final (V.2). Ministerio de Medio Ambiente.

Chandía C. & M. Salamanca. 2012. Long-term monitoring of heavy metals in Chilean coastal sediments in the eastern South Pacific Ocean, 2012. Marine Pollution Bulletin, Volume 64, Issue 10, October 2012, Pages 2254-2260.

Crompton TR. 1989. Analysis of Seawater, 1989. Copyright © 1989 Elsevier Inc. All rights reserved. DOI: 10.1016/B978-0-407-01610-1.X5001-2.

De Gregori I., H. Pinochet, N. Gras & L. Muñoz. 1996a. Variability of cadmium, copper and zinc levels in molluscs and associated sediments form Chile. Environmental Pollution, Vol 92 No. 3: 359-368.

De Gregori I., H. Pinochet, M. Arancibia & JA Vidal. 1996b. Grain Size Effect on Trace Metals Distributions in Sediments from Two Coastal Areas of Chile. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 57:163-170.

Davis, J. & R. Benner, 2005. Seasonal trends in the abundance, composition and bioavailability of particulate and dissolved organic matter in the Chukchi/Beaufort Seas and western Canada Basin. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, ISSN: 0967-0645, Vol: 52, Issue: 24, Page: 3396-3410. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.09.006.

Feldman G.C. 2016. Ocean Level-2 Data Format Specification | NASA Ocean Color. [online] Available at: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/format/l2nc.html [Accessed 6 Jun. 2016].

Grasshoff K., K Kremling, M Ehrhardt. Methods of Seawater Analysis, Third Edition. 1999. Print ISBN:9783527295890 |Online ISBN:9783527613984 |DOI:10.1002/9783527613984.

Hach, 2013. Water Analysis Handbook, 8th Edition Hach Company, Loveland, CO.

Libes S. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry, 2nd Edition. Authors: Hardcover ISBN: 9780120885305, eBook ISBN: 9780080916644 Published Date: 5th February 2009. Page Count: 928.

Marcotte, D. 1991. Cokrigeage with matlab. Computers & Geosciences, 17(9): 12165-1280, doi:10.1016/0098-3004(91)90028-C.

Melcer, H.; Dold, P. L.; Jones, R. M.; Bye, C. M.; Takacs, I.; Stensel, H. D.; Wilson, A. W.; Sun, P.; Bury, S., (2003). Methods for wastewater characterisation in activated sludge modelling. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria, VA, USA.

Mehler, W.T., Li, H., Pang, J. W. Sun B., Lydy M. J., You J., 2011. Bioavailability of Hydrophobic Organic Contaminants in Sediment with Different Particle-Size Distributions. Arch Environ Contam Toxicol (2011) 61: 74. DOI: 10.1007/s00244-010-9609-z.

Mott H. V., 2002. Association of hydrophobic organic contaminants with soluble organic matter: evaluation of the database of Kdoc values. Advances in Environmental Research
Volume 6, Issue 4, October 2002, Pages 577-593. DOI: 10.1016/S1093-0191(01)00104-6.

O'Reilly, J. E., Maritorena, S., O'Brien, M. C., Siegel, D. A., Toole, D., Menzies, D., & Chavez, F. P. 2000. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, part 3. NASA Tech. Memo, 206892(11), 3-8.

Parra S., M.A. Bravo, W. Quiroz, X. Querol & C. Paipa. 2015. Distribution and pollution assessment of trace elements in marine sediments in the Quintero Bay (Chile). Baseline. Marine Pollution Bulletin.

Piérard, C., H. Budzinski, and, P. Garrigues, 1996. Grain-Size Distribution of Polychlorobiphenyls in Coastal Sediments. Environmental Science & Technology 1996 30 (9), 2776-2783. DOI: 10.1021/es9600035.

Salamanca M.A., L. Chuecas & F. Carrasco. 1988. Heavy metal content and distribution in surface sediments from three areas of Chilean coast. Gayana. Miscelánea, 9(1-4), 3-16.

Salamanca M. & A. Camaño. 1994. Historia de la contaminación por metales en traza en dos áreas costeras del norte y centro-sur de Chile. Gayana Oceanológica, 2, 31-48.

Salamanca M.A., A. Camaño, B. Jara & T. Rodríguez. 2000. Cu, Pb and Zn distribution in nearshore waters in San Jorge Bay, northern Chile distribución de Cu, Pb y Zn en aguas costeras de Bahía San Jorge en el norte de Chile. Gayana (Concepción), 64(2).

Salamanca M.A., B. Jara & T. Rodríguez, T. 2004. Niveles de Cu, Pb y Zn en agua y Perumytilus purpuratus en bahía San Jorge, norte de Chile. Gayana (Concepción), 68(1), 53-62.

Salamanca M., A. Camaño, B. Jara & T. Rodríguez. 2010. Cu, Pb and Zn distribution in nearshore waters in San Jorge Bay, northern Chile, Gayana (Concepción) v.64 n.2.

Salamanca S., C Chandía, A. Hernández. 2016. Impact of forest fires on the concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans in coastal waters of central Chile. Science of The Total Environment. Volume 573: 1397-1405.

US EPA, 1999. Office of Air and Radiation. Understanding variation in partition coefficient, Kd, values. Review of Geochemistry and Available Kd. Values for Cadmium, Cesium, Chromium, Lead, Plutonium, Radon, Strontium, Thorium, Tritium (3H), and Uranium (EPA 402-R-99-004B).

Valocchi, A. J., 1984. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective Kd approach. Water Resource Research, Washington, v. 20, n. 4, p. 499-503.

Vicente-Martorell JJ, MD Galindo-Riaño, M García-Vargas, MD Granado-Castro, 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. Journal of hazardous materials, ISSN: 0304-3894, Vol: 162, Issue: 2-3, Page: 823-36 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.05.106.

von Brömssen C., J. Fölster, M. Futter & K. McEwan (2018). Statistical models for evaluating suspected artefacts in long-term environmental monitoring data. Environ Monit Assess 190: 558.

Walton M.I., P. Workman, 1986. Reversed-phase high-performance liquid chromatographic method for the simultaneous determination of the 2-nitroimidazole benznidazole and its amine metabolite in biological materials J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl., 375 (1986) 190–196. DOI: 10.1016/S0378-4347(00)83710-X

Wood. S. 2018. Package ‘mgcv’. Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation. V. 1.8-28. 302 pp.

Wickham H, W Chang. 2016. Package ‘ggplot2’. Create elegant data visualisations using the grammar of graphics. Version 2.2.1. 189 pp.

Wickham H, J Hester, W Chang. 2018. Package ‘devtools’. Tools to make developing R packages easier. Version 1.13.5. 64 pp.

9 ANEXOS

ANEXO 1

REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA BAHÍA QUINTERO

TABLA DE CONTENIDOS

1 RESUMEN 3

2 METODOLOGÍA 4

3 RESULTADOS 5

3.1 Análisis derivado de publicaciones científicas nacionales e internacionales y tesis académicas. 5

3.1.1 Estudios ambientales 5
3.1.2 Estudios genómicos 11
3.1.3 Estudios paleoecológicos y de paleoxilogía 13
3.1.4 Estudios geográficos 16
3.1.5 Estudios sociológicos, antropológicos y socio-naturales 16

3.2 Análisis derivado de informes técnicos 19

3.2.1 Listado completo de informes 19
3.2.2 Estudios de calidad química 21

4 CONCLUSIONES GENERALES 25

1 RESUMEN

Se entregan los resultados de la revisión de información disponible para el sector de Bahía Quintero-Puchuncaví, el cual incorpora una recopilación de antecedentes bibliográficos, incluyendo publicaciones científicas internacionales y nacionales, tesis e informes técnicos. En términos generales, el análisis de la información bibliográfica registró un amplio número tanto de publicaciones científicas, memorias de tesis y documentos técnicos.

Las publicaciones científicas y tesis académicas estuvieron centradas principalmente en: **i) Estudios ambientales**, que evalúan los niveles de contaminantes (*e.g.* metales pesados) en matrices de suelo, aire, agua y sedimentos marinos, estableciendo procesos de evaluación de riesgos ecológicos en el borde costero de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, asi como establecer índices de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de las especies hidrobiológicas que habitan estos sectores; **ii) Estudios genómicos**, donde se estudia la cepa de una bacteria marina (*A. aqualis*) que degrada hidrocarburos en sedimentos contaminados con petróleo, evaluando la respuesta adaptativa al estrés oxidativo durante la degradación de contaminantes (benceno), revelando el potencial de esta bacteria para sobrevivir en estos ambientes, pudiendo ser explotada para la biorremediación de ambientes marinos y salinos contaminados, como lo es el sector de bahía Quintero.; **iii) Estudios peleoecológicos y de paleoxilogía**, enfocados en investigaciones de registros de animales físiles y conteo de anillos de crecimiento, con la finalidad de establecer y/o reconstruir la dinámica de la contaminación por metales traza dentro de estos sistemas; **iv) Estudios geográficos**, donde se abordan aspectos sedimentológicos dentro de la cuenca del estero Puchuncaví, revelando el efecto de las intervenciones antrópicas en los depósitos sedimentarios del humedal; y **v) Estudios sociológicos, antropológicos y socio-naturales**, que incluyen análisis del impacto socio-ambiental de las empresas que operan en el borde costero sobre los habitantes de la bahía de Quintero-Puchuncaví, evaluando los riesgos tecnológicos y su distribución espacial, integrando la percepción de riesgo de la población residente y turista.

Por otro lado, la recopilación de información por parte de documentos técnicos se enfocó principalmente en estudios ambientales, para aire, suelo, agua, sedimentos y biota. Del total de información recopilada, se destacan aquellos estudios centrados en la calidad química del sector de la bahía de Quintero-Puchuncaví.

2 METODOLOGÍA

El enfoque metodológico general utilizado en la elaboración de este informe contempló un análisis detallado de la información científica actualizada, definiendo como área de búsqueda el sector de bahía Quintero, región de Valparaíso, basado principalmente en:

1) Buscadores de publicaciones científicas nacionales e internacionales y tesis académicas, incluyendo bases de datos bibliográficos tales como ScienceDirect, Scopus y Google Academic.

2) Revisión exhaustiva de documentos técnicos proporcionados por la Subsecretaría de Medio Ambiente.

3 RESULTADOS

3.1 Análisis derivado de publicaciones científicas nacionales e internacionales y tesis académicas.

Para la búsqueda de publicaciones científicas y memoria de tesis se utilizaron base de datos bibliográficos tales como ScieceDirect, Scopus y Google Academic. El análisis de la información indica que existe un amplio número de publicaciones científicas nacionales e internacionales, centrada principalmente en estudios ambientales, genómicos, paleoecológicos y de paleoxilogía, sociológicos y antropológicos. Algunos ejemplos se citan a continuación.

3.1.1 Estudios ambientales

Cavieres, M. 2019. Estudios sobre la contaminación de Puchuncaví en la década de los 80. Un aporte científico que no fue. *Cuad. Méd. Soc,* 59(1): 33-37.

Se resume brevemente el arte del conocimiento científico sobre contaminación del aire y sus efectos sobre la salud humana durante el siglo XX. A mediados del siglo pasado, probablemente como producto de eventos de contaminación del aire en Europa, se comenzó a investigar sistemáticamente sobre el tema, lo que ha permitido nuestro conocimiento actual sobre la naturaleza fisicoquímica y la toxicología de la contaminación del aire. A esto se suman estudios en instituciones académicas y gubernamentales de Chile que han demostrado el riesgo generado por la actividad del complejo industrial de Ventanas. Se postula, que al menos en parte, el origen y duración del conflicto medioambiental de Quintero-Puchuncaví es resultado de una desvinculación entre el conocimiento científico y la toma de decisiones regulatorias del país, concluyéndose que sería no solo útil sino racional que los fondos públicos chilenos que financian la investigación en universidades nacionales sirvan para que sus observaciones y conclusiones contribuyan a un crecimiento económico equilibrado con el bienestar de la población.

Pastene, M, Quiroga, E & Hurtado, C.F. 2019. Stable isotopes and geochemical indicators in marine sediments as proxies for anthropogenic impact: A baseline for coastal environments of central Chile (33°S). *Marine Pollution Bulletin,* 142: 76-84.

Los isótopos estables y proxies geoquímicos (TOC/TN y Chla/TOC) en sedimentos pueden ser utilizados para determinar el origen de la materia orgánica (antropogénica, terrestre o marina). El objetivo de este estudio se centra en caracterizar la materia orgánica (MO) en

sedimentos superficiales desde tres sectores de Chile central (33ºS) que son altamente influenciados por el desarrollo urbano e industrial. Nuestros resultados muestran que una fracción substancial de MO en Bahía Quintero es de origen antropogénica, proveniente de aguas residuales industriales y domésticas. En contraste, existe una fuerte señal isotópica de MO de origen terrígeno y antropogénica en los sedimentos superficiales desde Concón, derivada de fuentes industriales y agrícolas no puntuales, asociada con la cuenca del río Aconcagua, mientras que Ritoque exhibe una mezcla de diferentes fuentes de MO. Sin embargo, la deposición de MO alóctona en nuestra área de estudio depende de la topografía costerta, la cual está modulada por corrientes locales, y aguas de surgencia activa, promoviendo la dispersión y asimilación de MO, proporcionando un ambiente con una alta capacidad de remediación natural.

Alonso, F & Figueroa-Fábrega, L. 2017. Diseño de un Programa de Monitoreo Ambiental utilizando el modelo DPSIR en zonas costeras marinas de múltiples usos: El caso de Bahía Quintero. *Anuales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*, 30:55-60.

Se aplica conceptualmente el modelo DPSIR, enfocado en identificar las presiones (tanto antrópicas como naturales) que afectan el sistema de la bahía de Quintero, con la finalidad de identificar las variables de estado que deben ser incluidas en un monitoreo ambiental. La aplicación del modelo conceptual permitió identificar las múltiples presiones que tiene el ecosistema de la Bahía de Quintero, tanto de origen natural como antrópico, siendo estas últimas las que provocan una mayor cantidad de cambios de estado, las cuales se relacionan principalmente con cambios en los parámetros fisicoquímicos en la columna de agua, seguido por cambios en el fondo marino y en el borde costero. De esta forma, las variables de estado que deben ser incluidas en la implementación de cualquier monitoreo ambiental dentro de la bahía son las características físicas y químicas de la columna de agua, como en los sedimentos marinos, y morfología de la zona costera.

Silaste, R. 2017. Sediment quality monitoring plan for Quintero Bay. Tampere University of Technology, Faculty council of faculty of Natural Sciences. Master of Science Thesis. 53pp.

La contaminación de sedimentos marinos por contaminantes persistentes como los metales pesados plantea uno de los peores problemas para los ecosistemas marinos. Actualmente en Chile, no existen estándares obligatorios de calidad ambiental para los sedimentos

costeros. Esto se debe en parte a la falta de legislación ambiental, así como a datos de toxicidad insuficientes y técnicas apropiadas de monitoreo de sedimentos. El área de estudio se centra en la bahía de Quintero, ubicada en la provincia de Valparaíso, en la zona costera del centro de Chile. El complejo industrial de la Bahía de Quintero es considerado uno de los más grandes de Chile y tiene aproximadamente 14 compañías en actualmente en operación, incluidas plantas de cemento, fundiciones de cobre, concentradores de cobre y cuatro plantas termoeléctricas alimentadas con carbón. El objetivo de esta investigación fue examinar el estado actual de la contaminación por metales pesados de los sedimentos marinos en la Bahía de Quintero, con el fin de avanzar en el desarrollo de futuros estándares de calidad ambiental (EQS) o programas de monitoreo en Chile. Se han llevado a cabo varios estudios de sedimentos contaminados en la Bahía de Quintero y en este estudio se han analizado los resultados obtenidos de cuatro fuentes diferentes. Se determinaron las concentraciones de metales pesados y se compararon con las pautas de calidad de sedimentos existentes. Casi todos los resultados de los estudios anteriores indican que, todas las concentraciones de metales, excepto el arsénico y el cobre, se ubicaron dentro del extremo inferior del rango de referencia de calidad del sedimento. Esto puede significar que esos metales representan poca o ninguna amenaza potencial para los organismos marinos. Según los SQG canadienses, el arsénico y el cobre probablemente causen efectos biológicos adversos. La Bahía de Quintero podría clasificarse como un medio marino no contaminado o ligeramente contaminado, por lo que es importante monitorear y evaluar los posibles impactos de los metales pesados en los sedimentos. Dado que la legislación no está disponible en Chile, es aconsejable evaluar los resultados con algunos de los EQS existentes y utilizar los datos para establecer pautas locales de calidad de sedimentos en el futuro.

Salmani-Ghabeshi, S, Palomo-Marín, M.R., Bernalte, E, Rueda-Holgado, F, Miró-Rodíguez, C, Cereceda-Balic, F, Fadic, X, Vidal, V, Funes, M & Pijilla-Gil, E. 2016. Spatial gradient of human health risk from exposure to trace elements and radioactive pollutants in soils at the Puchuncaví-Ventanas industrial complex, Chile. *Environmental Pollution,* 218: 322-330.

El valle de Puchuncaví, en Chile central, se encuentra fuertemente afectado por un rango de emisiones antropogénicas provenientes de un complejo de industrial localizado, por lo que ha sido estudiado como un modelo ambiental, evaluando el gradiente espacial del riesgo humano, el cual es principalmente causado por contaminantes de elementos traza

en el suelo. Se utilizaron perfiles de suelo en 121 muestras de cinco localidades que representan diferentes grados de impacto, desde recursos industriales para la estimación del riesgo humano. En el área de estudio se encontraron índices de riesgo no cancerígenos acumulativos fue fueron dependientes de la distancia a la fuente, por encima de 1 para niños (máx. 4,4 - mín. 1,5), siendo la ingestión la vía de riesgo más relevante. La importancia de las diferencias de riesgo para la salud dentro del área de estudio se confirmó mediante análisis estadístico (ANOVA y HCA) de los valores del índice de riesgo individual en las cinco ubicaciones de muestreo. Como fue el factor dominante que causó niveles de riesgo carcinogénico inaceptables para los niños ($<10^{-4}$) en los dos lugares de muestreo que están más cerca del complejo industrial, mientras que el riesgo estaba en el rango tolerable (10^{-6} - 10^{-4}) para niños y adultos en el resto de las ubicaciones de muestreo en el área de estudio. Además, evaluamos los índices de riesgo externo de radiación de rayos gamma y la tasa de dosis efectiva anual de los niveles de elementos de radiactividad natural (226Ra, 232Th y 40K) en los suelos superficiales. Los valores promedio más altos para la actividad específica de 232Th (31 Bq kg^{-1}), 40K (615 Bq kg^{-1}) y 226Ra (25 Bq kg^{-1}) son inferiores al límite recomendado por la OCDE, por lo que no hubo riesgo radioactivo significativo detectado dentro del área de estudio. Además, no se observó una variabilidad significativa del riesgo radiactivo entre las ubicaciones de muestreo.

Parra, S, Brazo, M, Quiroz, W, Querol, X & Paipa, C. 2015. Distribution and pollution assessment of trace elements in marine sediments in the Quintero Bay (Chile). ***Marine Pollution Bulletin,*** **99(1-2): 256-263.**

El objetivo de este studio fue evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en la fracción arcilla/limo (fracción <63 um) de sedimentos marinos de la Bahía de Quintero, Chile. Para esto, se recolectaron muestras de sedimentos de 14 sitios de la bahía y se analizaron para determinar los elementos mayores y menores. Las concentraciones de metales encontradas sugieren un origen antropogénico relacionado con Cu, Se, Mo, As, Sb y Pb. Las características mineralógicas de las muestras se determinaron mediante XRD y las muestras seleccionadas se examinaron mediante SEM para determinar las diferencias morfológicas. Los resultados mostraron partículas de metales pesados como Cu, Zn, As y Pb, que probablemente están asociadas con la fundición de cobre.

Salmanighabeshi, A, Palomo-Marín, M.R., Bernalte, E, Rueda-Holgado, F, Miró-Rodríguez, C, Fadic-Ruiz, X, Vidal-Cortez, V, Cereceda-Balic, F & Pinilla-Gil, E. 2015.

Long-term assessment of ecological risk from deposition of elemental pollutants in the vicinity of the industrial area of Puchuncaví-Ventanas, central Chile. *Science of the Total Environment,* 527-528: 335-343.

El presente studio investiga la contaminación del suelo por contaminantes elementales y compara los índices de riesgo ecológicos asociados a actividades industriales para el caso de estudio de Puchuncaví-Ventanas: una zona industrial relevante en Chile central. Los elementos seleccionados (As, Pb, Cd, Ni, Hg, V, Mn, Zn, Sr, Sb, Cr, Co, Cu, K y Ba) fueron analizados durante un largo periodo de tiempo (campañas de muestreo anual, durante 2007-2011), para 5 estaciones de muestreo, que representan diferentes grados de impacto. Un análisis PCA y de clúster permitieron identificar que las principales fuentes de contaminación derivan de un compejo de empresas de fundición de cobre y termoléctricas alimentadas con carbón. El índice de geoacumulación (I_{geo}) , el factor de enriquecimiento (FE), factor de contaminación (F_c), grado de contaminación (G_c) y el índice de contaminación integrada (ICI) fueron críticamente discutidos para la evaluación cuantitativa del riesgo ecológico. I_{geo}, FE y F_c están produciendo información ambiental comparable, mostrando riesgos de contaminación moderadas a altas, en el área que exige un mayor monitoreo y adopción de medidas de prevención y remediación.

Valdéz, R. 2014. Distribución oceánica de metales pesados asociados a la actividad del complejo industrial Ventanas en la bahía de Quintero, V Región. Universidad Academia de Humanismo Cristiano. Memoria de Tesis Geografía. 69pp.

Se estudia la contaminación oceánica asociada al Complejo industrial Ventanas, comuna de Puchuncaví, con el fin de evaluar los factores que inciden en la distribución de contaminantes que generan un impacto sobre los recursos marinos y la calidad ambiental de la bahía Quintero. Del estudio se concluye que, la distribución de metales (Cu y As) está modulada por el patrón de circulación de las corrientes, con una dirección dominante hacia el norte de la bahía (donde se ubica el AMERB de Ventanas). Se discute respecto a la regulación en la fiscalización en esta zona, considerando que mas del 40% de las muestras registraron niveles superiores de arsénico, sobrepasando la norma establecida. Por otro lado, se registra que la conductividad y la concentración de metales pesados tendría una relación directa, por lo que se plantea que la conductividad podría ser utilizada como una medida indirecta de contaminación oceánica para futuras investigaciones.

Winckler, P & Vásquez, J. 2008. Evaluación de riesgo de tsunami en Quintero, Chile. *Anales del Instituto de Ingeniería de Chile,* 120(1): 1-12.

La intensa actividad portuaria y las crecientes presiones de desarrollo experimentadas en la bahía de Quintero han motivado efectuar una evaluación del riesgo de inundación por tsunami y proponer medidas de mitigación para disminuir sus consecuencias en la comunidad costera. Para estimar la inundación se utiliza el programa TUNAMI-N (IUGG/IOC, 1997), que resuelve la generación, propagación y run-up de tsunamis de campo cercano, utilizando las ecuaciones de la teoría de onda larga para aguas poco profundas. Se investigan los tsunamis del 8/Jul/1730, del 16/Ago/1906 y del 5/Mar/1985 y los resultados se presentan mediante una Carta de Inundación por Tsunamis y diagramas de campos de velocidades. Se concluye que la inundación es altamente dependiente del momento sísmico del terremoto generador. En sectores de la bahía se registran alturas de 8 m y velocidades de 8 m/s durante un tsunami potencialmente destructivo (1730) en tanto que no superan los 2 m y 1 m/s para un tsunami menor (1906 y 1985). Se presentan medidas de protección para las instalaciones costeras afectas al riesgo de inundación por tsunami y se propone efectuar una campaña de educación a la comunidad en el marco de una planificación urbana en el largo plazo. La utilización sistemática de la metodología propuesta en otras localidades permitirá complementar los estudios de microzonificación sísmica efectuados a la fecha en nuestro país.

Cañete, J, Leighton, G & Soto, E, 2000. Proposición de un Índice de Vigilancia Ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 35(2): 185-194.

Se propone un Índice de Vigilancia ambiental (IVA) basado en la variación temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos (*Nepthys impressa* Baird, 1871 y *Prionospio peruana* Hartmann-Schröder 1962a). Este estudio permitió evaluar el uso de aspectos poblacionales de la componente bentónica de estudios de impacto ambiental según los requerimientos técnicos solicitados por la DGTM y MM (Armada de Chile). El IVA permitió identificar tres fases en los sedimentos submareales: a) un enriquecimiento moderado en marzo 1996 (3% MO; IVA < 1), con un importante desarrollo de *P. peruana*; b) recuperación de características habituales (<1% MO; IVA ~ 3) en 7 meses, con retorno en la dominancia de *N. impressa*; y c) imposibilidad de obtener valores similares a los detectados antes de la ocurrencia del evento de enriquecimiento (IVA > 3).

3.1.2 Estudios genómicos

Durán, R.E., Barra-Sanhueza, B, Salvà-Serra, F, Méndez, V, Jaén-Luchoro, D, Moore, E & Seeger, M. 2019. Complete genome sequence of the marine hydrocarbon degrader *Alcaligenes aqualitis* QD168, isolated from crude oil-polluted sediment of Quintero Bay, central Chile. *Microbiology Resource Announcements,* 8(5): e01664-18.
La cepa QD168 de *Alcaligenes aqualitis* (= CCUG 69566) corresponde a una bacteria marina que degrada hidrocarburos desde sedimentos contaminados con petróleo crudo en la Bahía de Quintero, Chile central. Este estudio presenta la secuencia completa del genoma de 4.32-Mb de la cepa QD168, con 3.892 secuencias codificantes, 58 tRNAs y un contenido de las bases G+C del 56,3%.

Durán, R.E., Méndez, V, Rodríguez-Castro, L, Barra-Sanhueza, B, Salvà-Serra, F, Moore, E, Castro-Nallar, E & Seeger, M. 2019. Genomic and physiological traits of the marine bacterium *Alcaligenes aquatilis* QD168 isolated from Quintero Bay, central Chile, reveal a robust adaptive response to environmental stressors.
Alcaligenes aquatilis QD168 es una bacteria marina, aromática que degrada los hidrocarburos, aislada de un sedimento contaminado por petróleo de la Bahía de Quintero, una zona costera industrial que ha sido impactada crónicamente por diversos contaminantes. Los objetivos de este estudio fueron caracterizar las posiciones filogenómicas de *Alcaligenes spp*. y caracterizar los determinantes genéticos y la respuesta fisiológica de *A. aquatilis* QD168 para modelar estresores ambientales (benceno, agentes oxidantes y sal). Los análisis filogenómicos, utilizando 35 genes de limpieza, agruparon a *A. aquatilis* QD168 con otras cuatro cepas de *Alcaligenes spp*. (*A. aquatilis* BU33N, *A. faecalis* JQ135, *A. faecalis* UBA3227 y *A. faecalis* UBA7629). Los análisis de secuencia genómica de *A. aquatilis* QD168 con 25 *Alcaligenes spp*., utilizando ANIb, indicaron que *A. aquatilis* BU33N es la cepa relacionada más cercana, con un 96,8% de similitud de ANIb. La cepa QD168 alberga 95 genes que codifican proteínas de siete vías catabólicas centrales, así como dieciséis vías/reacciones catabólicas periféricas para compuestos aromáticos. *A. aquatilis* QD168 pudo crecer en 3-hidroxibenzoato, 4-hidroxibenzoato, benzoato, benceno, 3-hidroxicinamato, cinamato, antranilato, benzamida, 4-aminobenzoato, nicotinato, tolueno, bifenilo y triptófano, como única fuente de carbono o nitrógeno. La degradación del benceno se analizó adicionalmente mediante análisis de crecimiento, identificación de metabolitos y expresión génica. El benceno indujo

fuertemente la expresión de los genes que codifican la fenol hidroxilasa (dmpP) y la catecol 1,2-dioxigenasa (catA). Además, se identificaron 30 genes que codifican reguladores transcripcionales, enzimas depuradoras, sistemas de reparación del daño oxidativo e isoenzimas involucradas en la respuesta al estrés oxidativo. Se caracterizó la respuesta al estrés oxidativo de la cepa QD168 al peróxido de hidrógeno y al paraquat, lo que demuestra que *A. aquatilis* QD168 es notablemente más resistente al paraquat que al H_2O_2. Se identificaron determinantes genéticos (47 genes) para las respuestas osmoprotectoras, correlacionando con la alta halotolerancia observada por la cepa QD168. La adaptación fisiológica de *A. aquatilis* QD168 a estresores ambientales tales como contaminantes, estrés oxidativo y salinidad puede explotarse para la biorremediación de sitios salinos contaminados con petróleo.

Durán, R.E. 2019. Caracterización genómica y funcional del catabolismo de hidrocarburos aromáticos en la bacteria marina *Alcaligenes aqualitis* QD168 y estudio de la respuesta adaptativa a estrés oxidativo durant la degradación de benceno. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Tesis de Magíster en Biogeoquímica Ambiental. 118pp.

El empleo masivo de derivados del petróleo ha causado eventos de contaminación a nivel mundial, impactando suelos, sedimentos, aguas y sus ecosistemas cercanos. Dentro de los componentes del petróleo, la fracción aromáticos es la más tóxica y recalcitrante de sus componentes. Sedimentos marinos contaminados con petróleo y sus derivados son nichos de bacterias capaces de degradar hidrocarburos aromáticos. El catabolismo aerobio de estos compuestos es realizado mediante reacciones de oxigenación que permiten la activación y apertura del anillo aromático. Durante la degradación de compuestos aromáticos, se ha observado una respuesta adaptativa a estrés oxidativo. Sin embargo, la respuesta bacteriana de estrés oxidativo durante la degradación de compuestos aromáticos ha sido poco caracterizada. *Alcaligenes sp*. QD168 es una bacteria hidrocarbonoclástica aislada desde sedimentos marinos contaminados con petróleo de la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. En esta tesis, se identificaron los genes que codifican proteínas asociadas a rutas catabólicas de compuestos aromáticos y a la respuesta adaptativa a estrés oxidativo en *Alcaligenes sp*. QD168, como también se estudió la respuesta a estrés oxidativo durante la degradación del hidrocarburo aromático benceno.

Se secuenció el genoma de *Alcaligenes sp*. QD168 obteniendo un cromosoma de 4,32 Mb con un contenido GC de 56,4%. La identificación taxonómica mediante ARNr 16S, MLSA y

análisis de identidad nucleotídica promedio (ANI) permitió clasificar a la cepa QD168 como *Alcaligenes aquatilis*, perteneciendo esta especie al grupo filogenómico III luego de comparar 26 genomas del género *Alcaligenes*. Al analizar el genoma de la cepa QD168 se identificaron 7 rutas centrales (*e.g.,* ruta del catecol) y 16 rutas/reacciones periféricas (*e.g.,* ruta del benceno) para la degradación de compuestos aromáticos, además de 30 genes que participan en la respuesta a estrés oxidativo, incluyendo reguladores transcripcionales (oxyR, soxR, perR), enzimas antioxidantes (ahpC, katE, sodC) e isoenzimas resistentes a estrés oxidativo (fumC). Se observó crecimiento en 14 compuestos (*e.g.,* benceno, nicotinato, cinamato), corroborando algunas rutas predichas *in silico*. Para estudiar la respuesta a estrés oxidativo en la cepa QD168, se seleccionó el compuesto modelo benceno. Se determinó la cinética de crecimiento y la degradación de benceno por la bacteria *A. aquatilis* QD168, identificando la aparición del intermediario metabólico fenol. Análisis de la expresión génica durante el crecimiento de la cepa QD168 en benceno reveló un alto aumento en los transcritos de los genes que codifican las enzimas fenol hidroxilasa (dmpP) y catecol 1,2-dioxigenasa (catA). Ensayos de TBARS y carbonilación revelaron daño a membrana y proteínas frente a la exposición a H_2O_2 y paraquat. Durante la degradación de benceno por la cepa QD168 se observó daño a membrana y proteínas, y un aumento de los niveles transcripcionales de los genes asociados a la respuesta adaptativa a estrés oxidativo ahpC1, ahpC2, fumC, oxyR, soxR2. Estos resultados indican que el crecimiento en benceno provoca daño a macromoléculas y una respuesta adaptativa a estrés oxidativo en *A. aquatilis* QD168. Esta tesis revela el potencial de *A. aquatilis* QD168 para sobrevivir ambientes contaminados, identificando un gran repertorio enzimático para la degradación de compuestos aromáticos y una amplia respuesta adaptativa ante el catabolismo aerobio de estos compuestos, convirtiéndola en una buena candidata para la biorremediación de ambientes marinos y salinos contaminados con hidrocarburos aromáticos.

3.1.3 Estudios paleoecológicos y de paleoxilogía

Muñoz, A, Klock-Barría, K, Sheppard, P, Aguilera-Betti, I, Toledo-Guerrero, I, Christie, D, Gorena, T, Gallardo, L, González-Reyes, A, Lara, A, Lambert, F, Gayo, E, Barraza, F & Chávez, R. 2019. Multidecadal environmental pollution in a mega-industrial area in central Chile registered by tree rings. *Science of the Environment,* 696: 133915.

Una de las áreas más contaminadas en Chile es el Área Industrial de Ventanas (VIA; 32,74°S / 71,48°W), que comenzó en 1958 y hoy comprende alrededor de 16 industrias en

un área de aprox. 4 km^2. La falta de registros consistentes a largo plazo impide evaluar el historial de contaminación en el área y también limita la evaluación de las medidas de mitigación tomadas desde finales de los años ochenta. Aquí, utilizamos la dendroquímica como un proxy ambiental para analizar los cambios ambientales durante varias décadas en el VIA. Presentamos mediciones químicas de los anillos de los árboles de *Cupressus macrocarpa* y que crecen cerca del VIA con una resolución de 4 años durante un período de 52 años (1960–2011). Estos datos proporcionan información sin precedentes sobre la contaminación antropogénica regional y se comparan con un registro elemental de anillos de árboles de 48 años (1964–2011) del sitio de control de Isla Negra (INE), no expuesto a emisiones de VIA. Durante los 48 años de superposición entre ambos sitios, las concentraciones más altas de Zn, V, Co, Cd, Ag, Fe, Cr y Al se registraron especialmente después del año 2000 en VIA, en comparación con INE para los períodos de estudio. Las concentraciones de Pb, Cu, As, Fe, Mo, Cr y Zn aumentaron con el tiempo, particularmente durante el período 1980-1990. Los planes de descontaminación activados en 1992 parecen haber tenido un efecto positivo en la cantidad de algunos elementos, pero la concentración química en los anillos de los árboles sugiere una acumulación continua de contaminantes en el medio ambiente. Solo después de varios años de implementación de las medidas de mitigación, algunos elementos tienden a disminuir en concentración, especialmente al final del período evaluado. La dendroquímica es una herramienta útil para proporcionar una perspectiva a largo plazo de la dinámica de la contaminación por metales traza y representa un enfoque poderoso para monitorear la variabilidad de la calidad del aire para extender los registros instrumentales en el tiempo.

López, P, Cartajena, I, Carabias, D, Prevosti, F, Maldonado, A & Flores-Aqueveque, V. 2016. Reconstructing drowned terrestrial landscapes. Isotopic paleoecology of a late Pleistocene extinct faunal assemblage: Site GNL Quintero 1 (GNLQ1) (32ºS, Central Chile). ***Quaternary International,*** **463: 153-160.**

El sitio GNL Quintero 1 (GNLQ1), ubicado cerca de la costa en la bahía de Quintero en la Chile central (32ºS), es el único sitio terrestre ahogado del Pleistoceno tardío documentado a lo largo de la costa del Pacífico de América del Sur. Durante la última década, a través de operaciones arqueológicas subacuáticas realizadas en GNLQ1, se documentaron y excavaron varios grupos de depósitos óseos poco profundos enterrados, revelando un contexto *in situ* de alta resolución bien conservado. El análisis taxonómico del conjunto de fauna recuperado arrojó al menos 26 individuos extintos que comprenden las famialias

Camelidae, Cervidae, Equidae, Mylodontidae y Xenarthra, Canidae, Myocastoridae, Octodontidae, Cricetidae, entre otros. Mediante un análisis de isótopos estables ($d^{13}C_{ap}$ y $d^{18}O_{ap}$) en bioapatita de mamíferos, se realizó una primera caracterización de la paleoecología de taxones GNLQ1 y se realizaron inferencias paleoambientales. Los registros regionales del Último Máximo Glacial (LGM) sugieren temperaturas de la superficie del mar más bajas y condiciones climáticas más húmedas para el centro de Chile. Los datos isotópicos obtenidos sugieren un paisaje de áreas de vegetación mixta, en buen acuerdo con el contexto sedimentario de los restos fósiles y un modelo preliminar de paleopaisaje de Quintero: un ambiente de humedal desarrollado bajo condiciones semiáridas antes del aumento del nivel del mar post-glacial, con GNLQ1 ubicado > 6 km tierra adentro mientras que la línea de costa estaba más lejos de la plataforma continental.

Cartajena, I, López, P, Carabias, D, Morales, C, Vargas, G & Ortega, C. 2013. First evidence of an underwater Final Pleistocene terrestrial extinct faunal bone assemblage from Central Chile (South America): Taxonomic and taphonomic analyses. *Quarternary International,* 305: 45-55.

El sitio GNL Quintero 1 (GNLQ1), localizado en la bahía de Quintero (32ºS, Chile central), constituye la primera evidencia de un sitio terrestre ahogado en la costa occidental de América del Sur, cubierto por el aumento del nivel del mar después del último máximo glacial. El sitio actualmente se encuentra a 650 m de la costa y 13 m bajo el nivel del mar, cubre un área de ~64 m^2 y contiene varios depósitos óseos discretos expuestos y poco profundos. A través de estudios arqueológicos subacuáticos y excavaciones de prueba, se recuperó y analizó con éxito una cantidad significativa de hueso animal asignado al Pleistoceno tardío. Los análisis taxonómicos (NISP 224) revelaron una alta diversidad taxonómica de fauna extinta (Camelidae, Cervidae, Artiodactyla, Equidae, Mylodontidae, Canidae, Rodentia y Xenarthra). La muestra representa un conjunto de fauna continental que pertenece a un contexto terrestre ahogado, probablemente relacionado con un ambiente de estuario y laguna. El análisis tafonómico permitió la identificación macroscópica de marcas naturales (punciones) asociadas con carnívoros de tamaño grande y pequeño. Los fósiles también muestran abrasión relacionada con la acción de las arenas marinas junto con alteraciones del color. Mediante la aplicación de micrografías de microscopio electrónico de barrido (SEM) y espectroscopía de dispersión de energía (EDS) a los huesos fósiles, se identificaron marcas y alteraciones del color. Las marcas indicaron roedores royendo y pisoteando, mientras que las alteraciones de color se atribuyeron a los

procesos de diagénesis, descartando el tratamiento térmico. El sitio GNLQ1 es identificado con un potencial muy alto, ya que proporciona la primera evidencia de un paleopaisaje sumergido viable para la ocupación y el movimiento humano a lo largo de la costa del Pacífico de América del Sur durante el Pleistoceno tardío.

3.1.4 Estudios geográficos

Hidalgo, F & Zamora, C. 2018. Ambientes sedimentarios de un humedal continental en Chile central. Caso de estudio humedal lago Juanes, comuna de Quintero, región de Valparaíso, Chile. Universidad de Playa Ancha, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Ciencias Geográficas. Seminario de título. 137pp.

Se aborda el aspecto sedimentológico de un humedal continental de Chile central (32º45'S), ubicado dentro de la cuenca del estero Puchuncaví, esto con el fin de demostrar que dentro de un ecosistema de humedal existe la posibilidad de encontrar ambientes sedimentarios diferenciados y que, al mismo tiempo, puede verse reflejada la intervención antrópica. Los resultados obtenidos demuestran que existen distintos ambientes sedimentarios dentro de un humedal. Uno de ellos son los cuerpos de agua permanentes, los cuales generan *facies* predominantemente de Siliciclásticos enriquecidos con materia orgánica (S_m). Los ambientes con cuerpos de agua efímeros caracterizados por las Turbas siliciclásticas (T_s) y S_m. Finalmente, los ambientes con presencia de vegetación hidófita desarrollan *facies* de Turba (T) y T_s. Una de las interpretaciones elaboradas a partir de los datos obtenidos, fue posible efecto de las intervenciones antrópicas en los depósitos sedimentarios del humedal.

3.1.5 Estudios sociológicos, antropológicos y socio-naturales

Valenzuela, L. 2016. Coopered Lives: The Chilean sacrifice zone of Quintero Bay. School of Geosciences, Faculty of Science, University of Sydney. Doctoral Thesis. 300pp.

En septiembre de 1964, cuando se abrió la fundición de cobre Las Ventanas en la Bahía de Quintero, fue bien recibida como pieza clave en la estrategia para el desarrollo de Chile. Poco más de cincuenta años después, la Bahía de Quintero alberga el complejo industrial más grande de Chile y se ha convertido en un sitio de desastre ambiental crónico, con crisis de contaminación recurrentes y accidentes industriales que plantean riesgos masivos para sus residentes humanos y no humanos. A través del análisis histórico y etnográfico, que implica el uso de documentos de archivos, procedimientos gubernamentales, publicaciones en los medios, entrevistas y observación participante, se investiga el proceso de

industrialización dirigida por el cobre de la Bahía de Quintero y su transformación en una zona de sacrificio. Esta tesis explora algunas de las respuestas regulatorias ambientales del gobierno chileno, la vida cotidiana de los residentes de la Bahía de Quintero y el surgimiento de prácticas de contestación política. La tesis argumenta que las expectativas puestas en el cobre en términos de desarrollo, las características y presiones del comercio internacional del cobre y la adopción de regímenes de cálculo neoclásicos han contribuido al surgimiento y la autonomización de las necesidades existenciales del cobre. Esa autonomización ha llevado a la adopción de una lógica de sacrificio que privilegia las necesidades existenciales del cobre sobre la protección de la población y el medio ambiente de la Bahía de Quintero. Las consecuencias espaciales de ese régimen han sido la producción y expansión de una zona de sacrificio en la bahía de Quintero. Este estudio contribuye a la comprensión de la dinámica extendida involucrada en las zonas de sacrificio de producción como espacios del Antropoceno, iluminando algunos de los procesos de estabilización, protección y contestación que tienen lugar dentro de estas formaciones espaciales.

Carrasco, A, Morales, P & Salazar, J. 2015. Representaciones sociales acerca del impacto mediomabiental de las empresas termoeléctricas en la bahía de Quintero-Puchuncaví. *Summa Psicológica UST,* 12(1): 89-101.

En la bahía de Quintero-Punchincaví se plantea la tensión entre el desarrollo económico y la preservación de los recursos naturales y la calidad de vida. Se realizó un estudio cualitativo que abordó las representaciones sociales sobre el impacto medioambiental en habitantes de la bahía de Quintero-Punchuncaví. Se realizaron dos grupos focales con trabajadores de una escuela e integrantes del movimiento de Comunidades por un Derecho a la Vida, aplicando un análisis de contenido que arrojó como principales resultados que en la zona primaría el desarrollo económico e industrial en perjuicio de los recursos naturales, la salud, la calidad de vida y los derechos humanos de los habitantes del sector. Exisitiendo además, la idea de una política de ocultamiento de la información y medidas asistencialistas que intentarían, de forma ineficaz, mitigar el daño provocado. Se reconoce una actitud desfavorable en ambos grupos hacia el imapacto medioambiental generado por las empresas, pues consideran que esta problemática ha superado todo límite. Esto moviliza vías de acción a nivel microsocial, en el caso de los profesores, y a nivel de localidad, en e caso del movimiento.

Boccazii, C & Negrete, J. 2015. Evaluación de riesgos tecnológicos y percepción de la población residente y turista de las comunas de Quintero y Puchuncaví. *Gestión Turística,* 24: 70-97.

El desarrollo tecnológico e industrial de las sociedades modernas, involucra tener que cohabitar con diversas fuentes de peligro y también con diferentes riesgos derivados de este desarrollo, lo que conlleva a una constante exposición a riesgos de origen tecnológico a la población. Se identifica la necesidad de desarrollar una investigación sobre los Riesgos Tecnológicos, ya que es una temática que ha sido poco estudiada en Chile y que puede generar una base para investigaciones futuras. El borde costero de las comunas de Quintero y Puchuncaví ha pasado por un largo proceso de transformaciones, en donde se destaca la instalación paulatina de diversas industrias formando el complejo industrial de Ventanas, lo que conllevó a un crecimiento urbano costero progresivo, con una importante población conviviendo con la actividad industrial y portuaria. El objetivo central de la presente investigación es realizar una evaluación de Riesgos Tecnológicos y su distribución espacial en las comunas de Quintero y Puchuncaví, en donde se integre la Percepción del Riesgo de la población residente y turista. Para ello se emplearon métodos de recolección de datos mixtos. Los métodos cuantitativos se aplicaron para la elaboración de cartografías de riesgo con Sistemas de Información Geográficos. Los métodos cualitativos se aplicaron para indagar la percepción del riesgo tecnológico que tiene la población de las Comunas de Quintero y Puchuncaví, utilizando como técnica la encuesta.

Vera, C. 2012. Diagnóstico de la percepción local sobre el conflicto ambiental de la zona saturada Quintero-Puchuncaví. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Recursos Naturales, Instituto de Geografía. Memoria de Tesis Geografía. 123pp.

Los conflictos ambientales hoy en día se presentan a lo largo de todo Chile, principalmente por las actividades extractivas que causan grandes consecuencias en el medio natural. En esta investigación se abordó el conflicto de la Zona Saturada Quintero-Puchuncaví, integrando como eje teórico/metodológico la percepción ambiental negativa. Observando, además, la relación entre esta variable y el tiempo de residencia de los habitantes. Para ello, se realizó un levantamiento de información, que posteriormente fue procesado con Sistemas de Información Geográfica, permitiendo el análisis de las áreas donde se concentran los más altos niveles de percepción negativa. Adicionalmente, se incorporó el mapa mental, para corroborar el grado de dependencia entre nivel de percepción negativo-

tiempo de residencia. Los resultados revelan desigualdad de percepción al interior del territorio, asociado a núcleos de mayor intensidad. La técnica de mapa mental muestra que la disparidad es producto de la distancia a la que se encuentra la población con respecto al complejo industrial.

3.2 Análisis derivado de informes técnicos

Se efectuó una revisión de informes técnicos obtenidos de la base de datos de la Subsecretaría de Medio Ambiente para el sector de bahía Quintero. El análisis de la información disponible indica un amplio número de documentos centrados principalmente en la evaluación y mitigación de la exposición de contaminantes en suelo, aire, agua y sedimento y su impacto en el ambiente y la comunidad, y aproximaciones metodológicas para la evaluación de futuros riesgos ecológicos en la zona de estudio. El listado de documentos se cita a continuación.

3.2.1 Listado completo de informes

1. DIRINMAR. 2019. Análisis data POAL Bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscalizables controladas por la autoridad marítima. Informe de Diagnóstico Ambiental. Departamento de Preservación de Medio Ambiente Acuático y Combate a la Contaminación. 104 pp + Anexos.

2. Cereceda, F. 2017. Monitoreo de gases atmosféricos para intentar establecer el origen de los eventos de malos olores en la zona industrial del valle de Puchuncaví. Informe Final, 68pp.

3. MMA. 2016. Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de las comundas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Departamento de Economía Ambiental. Informe Final, 69 pp.

4. Centro Mario Molina. 2017. Evaluación y rediseño de las redes de monitoreo de calidad de aire. Informe Final, 197 pp.

5. IFOP. 2016. Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de la Bahía Quintero, V Región. Informe Final, 697pp + Anexos.

6. APCA Chile SpA. 2016. Asistencia técnica para el desarrollo de la consulta ciudadana anteproyectos de los programas para la recuperación ambiental y social de las comunas de Huasco y Quintero-Puchuncaví. Informe Final, 38pp.

7. Encina, F, Oberti, C, Soto, C, Guerrero, M, Aguayo, M.F., Aguayo, C & Figueroa, D. 2015. Aplicación de los lineamientos metodológicos en la Evaluación de Riesgo Ecológico en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. Universidad Católica de Temuco. Ecotoxicología y Monitoreo ambiental. Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales. Informe Final, 65pp.

8. PGS SpA. 2015. Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchincaví, Región de Valparaíso. Informe Final, 116pp.

9. Ide Ambiente. 2015. Implementación del proceso APELL: concientización y preparación para emergencias a nivel local en las comunas de Quintero y Puchuncaví. Informe Final, 213pp.

10. Encina, F, Oberti, C, Arias, C, Viel, M, Castillo, C & Guerra, F. 2014. Levantamiento de información sobre sedimentos para llevar a cabo un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. Universidad Católica de Temuco. Ecotoxicología y Monitoreo ambiental. Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales. Informe Final, 64pp.

11. SMA. 2014. Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas. Verisón 1, 25pp.

12. Tironi, M, Brownie, M, Zavala, J, Abdón, L & Rodriguez, M. 2014. Comunicación del riesgo ambiental para las sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Informe Final, 199pp.

13. Salgado, E, Madrid, E & González, I. 2013. Evaluación de riesgos para la salud de las personas y biota terrestre por la presencia de contaminantes, en el área de influencia

industrial y energética de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Informe de Avance 5V1, 288pp.

14. Fundación 1367. 2013. Puerto Ventana-Puchuncaví, Región de Valparaíso, Chile. Zona de Sacrificio. Informe de Observación, Casa Memoria José Domingo Cañas. 55pp.

15. Serey, I, Alvarado, G, Cortés, I, Salinas, J, Araya, M & Escanilla, V. 2013. Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Informe Final Corregido 4.

16. CEA. 2013. Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Informe Final, 377pp + Anexos.

17. Sanhueza, P, Rizzi, L, Torreblanca, M, Salazar, E, Rodríguez, M.J., & Gil, A. 2012. Evaluación de benefeicios de una norma de emisión para fundiciones de cobre. Informe Final, 106pp + Anexos.

Del total de documentos técnicos, se seleccionaron aquellos que tengan relación con estudios de calidad química en las matrices agua, sedimento y biota, realizando un breve resumen, destacando los principales objetivos, resultados y conclusiones.

3.2.2 Estudios de calidad química

DIRINMAR. 2019. Análisis data POAL Bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscalizables controladas por la autoridad marítima. Informe de Diagnóstico Ambiental. Departamento de Preservación de Medio Ambiente Acuático y Combate a la Contaminación. 104 pp + Anexos.

Se presenta el análisis de cumplimiento ambiental, en el marco de las competencias de Directemar, de las empresas emplazadas en la bahía Quintero y los resultados de las campañas POAL desde 2005 a 2017, mas una campaña especial en el año 2018, para las matrices agua, sedimento y biota. Del estudio se concluye que, para las matrices de agua y sedimento submareal, el cobre presentó altas concentraciones, superando la referencia ambiental utilizada, destacando las estaciones del extremo norte y sur de la bahía (Control Norte Pta. Ventanilla y Caleta Quintero para agua, y Caleta Ventana, Muelle Ventanas,

Caleta Quintero y Rocas Estrella para sedimento). Por otro lado, para la matriz biológica, el Cu y Pb registraron altas concentraciones, excediendo las referencias ambientales utilizadas, siendo la estación del Sector Rocas Loncura la que presentó los mayores contenidos de estos metales. Finalmente, al cuantificarse contenidos de hidrocarburos fijos en los sedimentos intermareales del sector Sur de la bahía, se concluye que éstos serían vestigios de los eventos de derrames de hidrocarburos que han tenido lugar.

IFOP. 2016. Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de la Bahía Quintero, V Región. Informe Final, 697pp + Anexos.

Se determinan los impactos e las especies hidrobiológicas, en los ecosistemas marinos y en los aspectos socioeconómicos de las comunidades asociadas a actividades pesqueras en el área de influencia generada por el desarrame de hidrocarburos en la bahía de Quintero, a través de 8 líneas de investigación: i)Percepción remota y Sistema de Información Geográficos; ii) Oceanografía; iii) Evaluación de recursos bentónicos en AMERB; iv) Monitoreo de mamíferos y aves marinas; v) Caracterización química en recursos hidrobiológicos, columna de agua y sedimentos; vi) Registros audiovisuales de los recursos hidrobiológicos submareales; vii) Imapcto socioeconómico; y viii) Evaluación de servicios ecosistémicos. Adicionalmente, se incorpora una sección sobre consideraciones para proyectos de biorremediación en la bahía de Quintero, donde se discuten técnicas de recuperación de fondos marinos y columna de agua en presencia de metales e hidrocarburos. A través del desarrollo de todas las líneas de investigación se proponen recomendaciones para el diseño y desarrollo de futuros programas de monitoreo y evaluación integral de impacto de derrames, en el contexto de una planificación espacial ambiental para la bahía de Quintero.

Encina, F, Oberti, C, Soto, C, Guerrero, M, Aguayo, M.F., Aguayo, C & Figueroa, D. 2015. Aplicación de los lineamientos metodológicos en la Evaluación de Riesgo Ecológico en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. Universidad Católica de Temuco. Ecotoxicología y Monitoreo ambiental. Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales. Informe Final, 65pp.

La bahía de Quintero se ubica entre las comunas de Quintero y Puchuncaví, región de Valparaíso. Corresponde una zona sensible y vulnerable ambientalmente debido a los múltiples conflictos de uso, principalmente por la concentración industrial en los últimos 50

años (refinería de cobre, centrales térmicas, tratamiento de aguas servidas, sistemas de tratamiento de riles, terminal de combustibles, entre otros). Dos estudios recientes, uno denominado “Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví” (MMA, 2013) y otro “Levantamiento de información sobre sedimentos para llevar a cabo un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la bahía de Quintero, región de Valparaíso” (MMA, 2014) mostraron altas concentraciones de metales en el agua y sedimentos, en particular el primer estudio estableció una probabilidad de riesgo ecológico asociado a las concentraciones de cobre disuelto en el agua. Los resultados de la evaluación de riesgo ecológico determinístico obtenidos en este estudio, para sedimento expuesto a cobre, muestran riesgo ecológico. Tanto el análisis de riesgo determinístico como probabilístico muestran que hay riesgo a la concentración de Cu encontrado en la bahía de Quintero. Para el análisis probabilístico se estimó que hay un 72% de probabilidades que la concentración de sedimentos produzca un efecto cónico sobre las taxas consideradas. Un valor adecuado para protehger el 95% de las taxas corresponde a 377 mg/kg de Cu en sedimento.

CEA. 2013. Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Informe Final, 377pp + Anexos.

Se identifican los niveles de riesgo ecológico por la presencia de sustancias y contaminantes en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, con el fin de establecer mecanismos y herramientas de gestión integradas, eficientes y ambientalmente sustentables. El área de estudio corresponde al ecosistema marino existente en la bahía de Quintero y Concón, sin embargo, la evaluación de riesgo ecológico se centró en la bahía Quintero. Para desarrollar el estudio, se propusieron cuatro etapas sucesivas, donde a partir de la descripción general de información disponible previamente, se elaboró un modelo que integró las presiones que actualmente afectan a la bahía, con las características ecológicas del ecosistema marino. Con esta caracterización, se evaluó el efecto sobre los organismos acuáticos a través de la aproximación de evaluación de riesgo ecológico, mediante el uso integrado de modelos numéricos y bioensayos. El análisis de riesgo se basó en comparar la concentración de metales pesados en el agua y el nivel de exposición que presentaron los organismos a los contaminantes y que no generan efectos ecológicos. La determinación de la concentración sin efecto ecológico se realizó mediante bioensayos agudos y cónicos en condiciones de laboratorio, exponiendo a las especies a diferentes concentraciones de

metales pesados. En relación a los efectos agudos (mortalidad), los bioensayos demostraron que los LC50 están muy por encima de los niveles observados en la columna de agua, mientras que los resultados de bioensayos crónicos registraron efectos negativos en los organismos expuestos. Las estimaciones de riesgo basados en la distribución de sensibilidad de especies, estimó que las concentraciones ambientales de los metales As, Cd, Cr y Hg no presentan riesgo ecológico, sin embargo, el Cu presentó una probabilidad sobre 89,8% de producir efectos crónicos. Dicho análisis permite concluir que, la bahía de Quintero tiene signos de contaminación por metales pesados. No obstante, las concentraciones de estos elementos deben ser monitoreados en forma regular para conservar su evolución en mediano y largo plazo. A partir de estos resultados, se propusieron límites de protección para los recursos hidrobiológicos y así reducir el efecto negativo de las presiones sobre la biota marina presente en la bahía de Quintero.

Cabe destacar que, los documentos técnicos POAL (DIRINMAR, 2019) y del Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2013) fueron analizados en el Objetivo 2 del Informe Final "*Análisis crítico de los informes de seguimiento ambiental y de los Planes de Vigilancia Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso",* a cargo de la empresa Holon SpA.

4 CONCLUSIONES GENERALES

Se ha reportado que la información disponible para el sector de Bahía Quintero-Puchuncaví presenta un amplio número de antecedentes, que incluye publicaciones científicas nacionales e internacionales, tesis académicas e informes técnicos.

El análisis de la búsqueda de antecedentes derivado de publicaciones científicas nacionales e internacionales, incluyendo tesis académicas, reveló un variado grupo de investigaciones, destacando estudios ambientales, genómicos, paleoecológicos, geográficos y sociológicos-antropológicos.

Del total de artículos científicos analizados, 9 correspondieron a publicaciones internacionales, 6 en revistas nacionales y 6 a tesis académicas, incluyendo tesis de estudios de pre- y postgrado.

En cuanto a la revisión de documentación técnica, se observaron estudios de carácter ambiental para las matrices aire, suelo, agua y biota, abordados principalmente en las comunas costeras de Concón, Quintero y Puchuncaví, donde se concentra un porcentaje importante de la actividad industrial de la región, provocando que estas comunas estén altamente intervenidas. Para efectos de este reporte, se destacan aquellos estudios donde se realizan análisis de calidad química, específicamente en los ecosistemas marinos.

Del total de documentos técnicos analizados, 4 correspondieron a informes centrados en el análisis de calidad química en ambientes marinos, destando que los informes de POAL (DIRINMAR, 2019) y del Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2013) fueron incluidos dentro del análisis de bases de datos del Informe Final “Análisis crítico de los informes de seguimiento ambiental y de los Planes de Vigilancia Ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso”.

De acuerdo con el análisis de antecedentes disponibles para el sector de Bahía Quintero, se concluye que ésta se encuentra en una condición ambiental crítica, revelando serios problemas de contaminación. En cuanto al sistema marino, el gran desarrollo de actividades industriales que operan en el borde costero ha provocado que estas comunas se encuentren altamente intervenidas, dado que su funcionamiento conlleva a la generación y liberación de sustancias al ambiente. Se ha documentado una disminución de la calidad

química tanto en agua, como sedimentos marinos y biota dentro de la bahía, con parámetros que exceden las referencias ambientales utilizadas actualmente, provocando un alto riesgo ecológico tanto en el sistema marino como en la población residente.

En síntesis, la información recopilada indica que, el aumento y la priorización del establecimiento de polos industriales, por sobre el bienestar del ambiente y sus comunidades, generan situaciones de peligro, como la exposición a altas concentraciones de contaminantes, convirtiendo a la bahía de Quintero en una Zona de Sacrificio, la cual debe ser monitoreada en forma regular para conservar su calidad en el mediano a largo plazo.

ANEXO 2

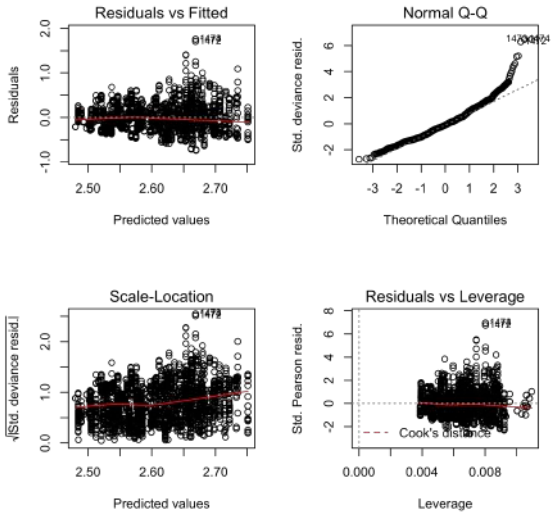
ANÁLISIS DE RESIDUALES RESULTADO DE LOS GLM

ANEXO 2.1

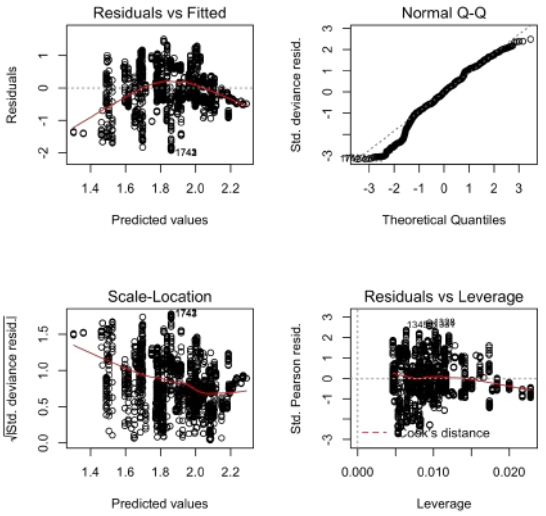
CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA SEMESTRAL

2.1.a. HIDROGRAFÍA – CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA SEMESTRAL

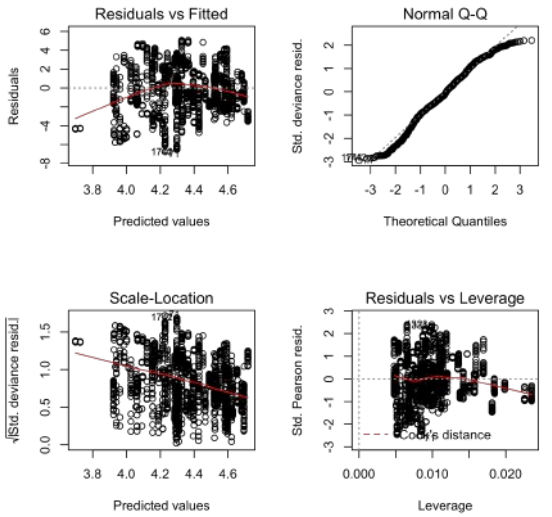
RESIDUAL TEMP



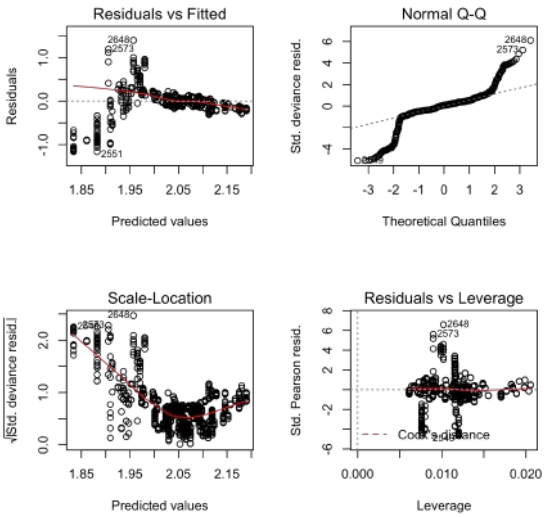
RESIDUAL ODIS



RESIDUAL OSAT

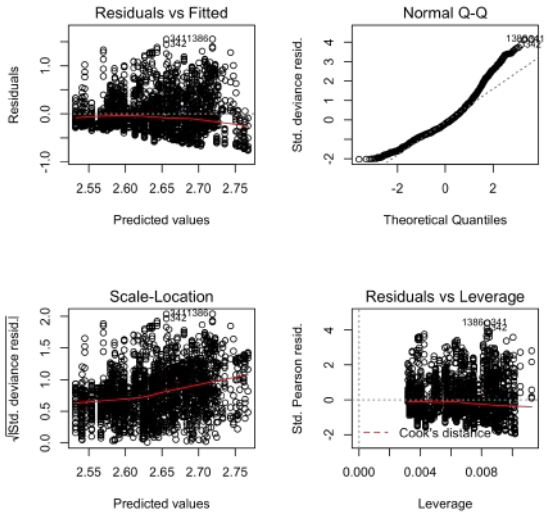


RESIDUAL PH



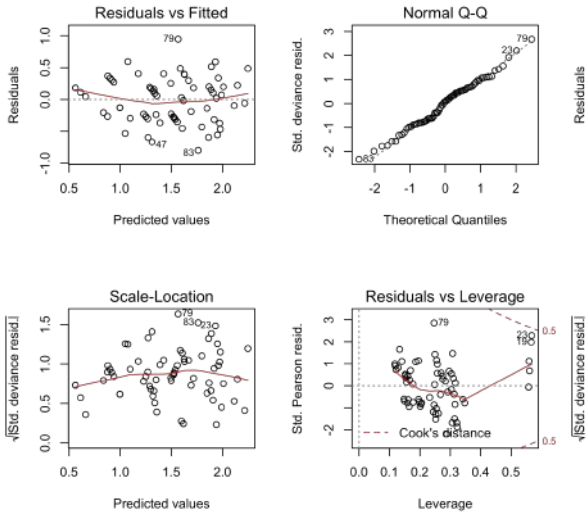
2.1.b. PLUMA TÉRMICA – CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA SEMESTRAL

RESIDUAL PLTERM

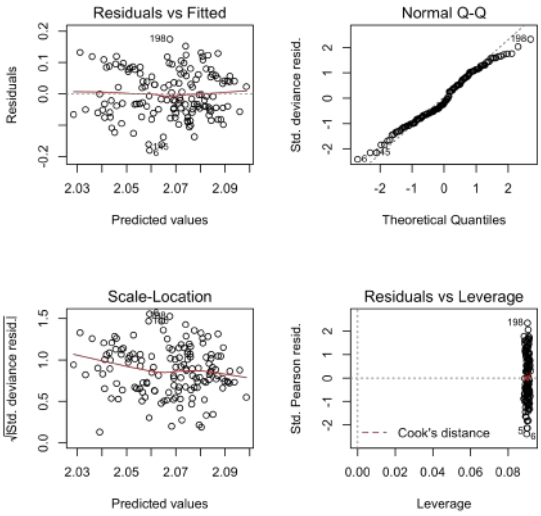


2.1.c. COLUMNA DE AGUA – CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA SEMESTRAL

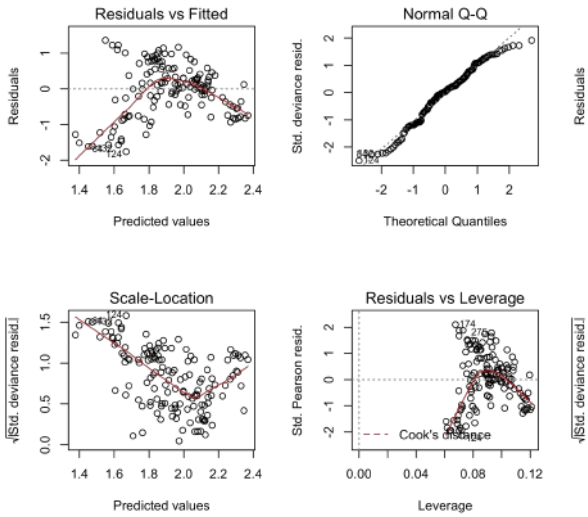
RESIDUAL TRANSP



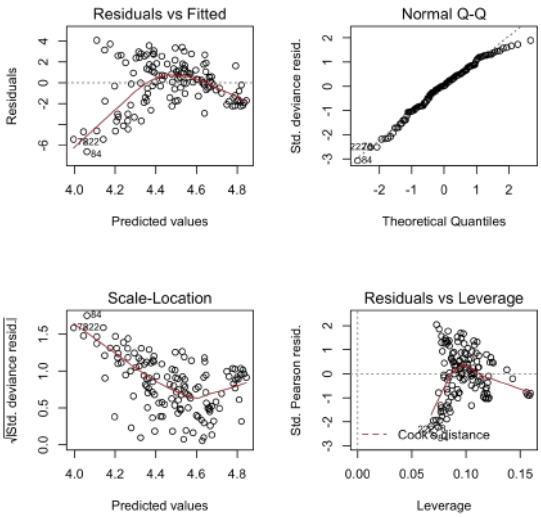
RESIDUAL PH



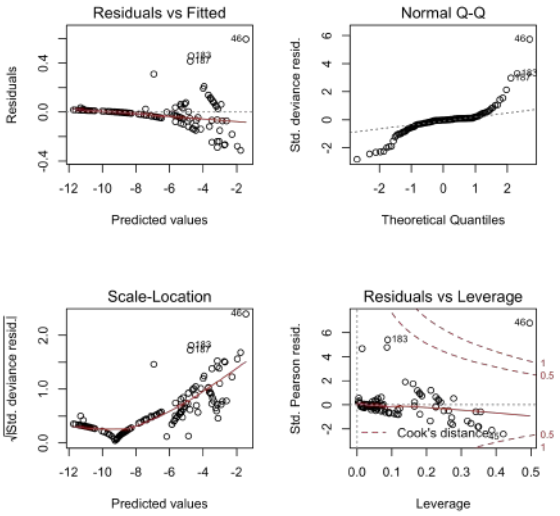
RESIDUAL ODIS



RESIDUAL OSAT



RESIDUAL HAT

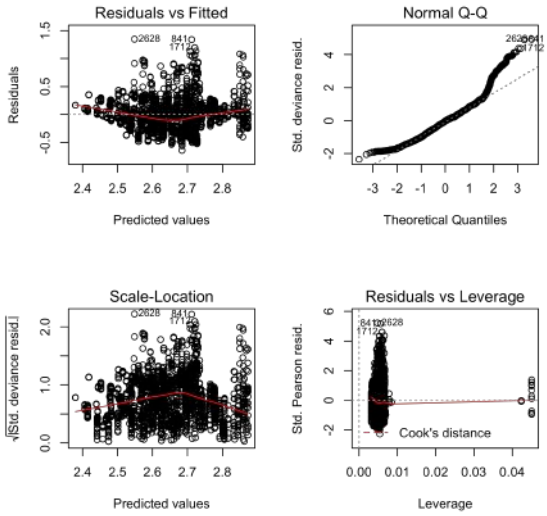


ANEXO 2.2

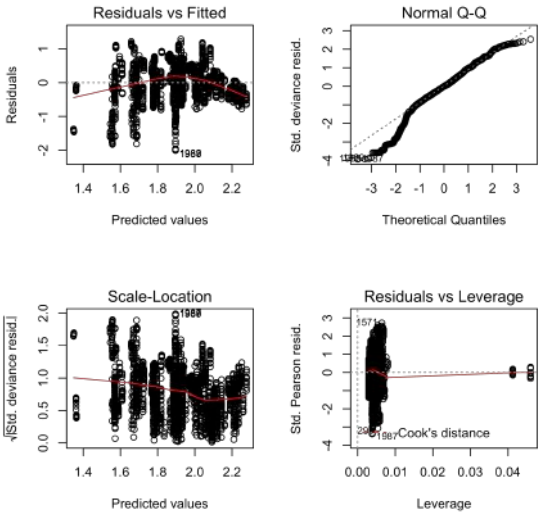
CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA TRIMESTRAL

2.2.a. HIDROGRAFÍA – CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA TRIMESTRAL

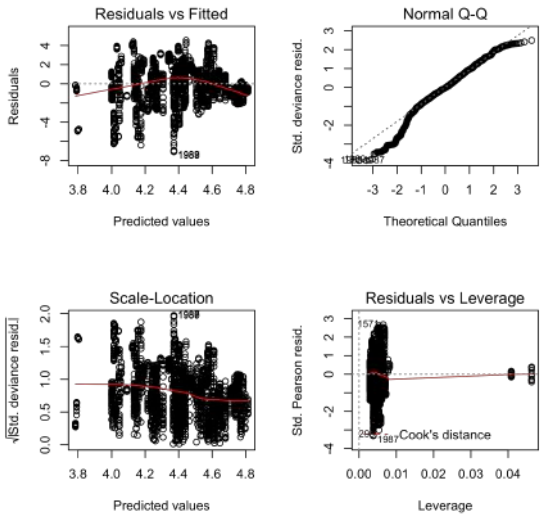
RESIDUAL TEMP



RESIDUAL ODIS

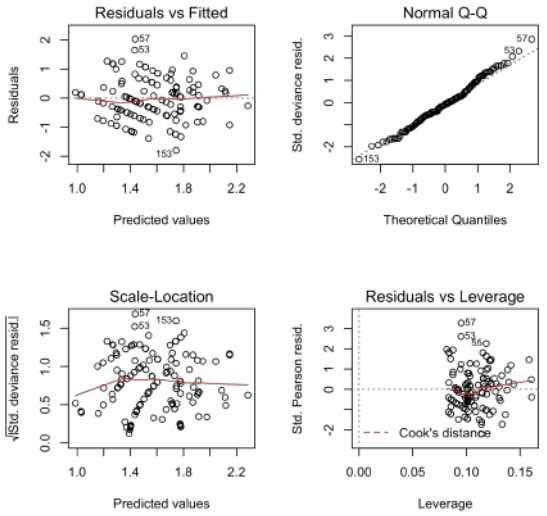


RESIDUAL OSAT

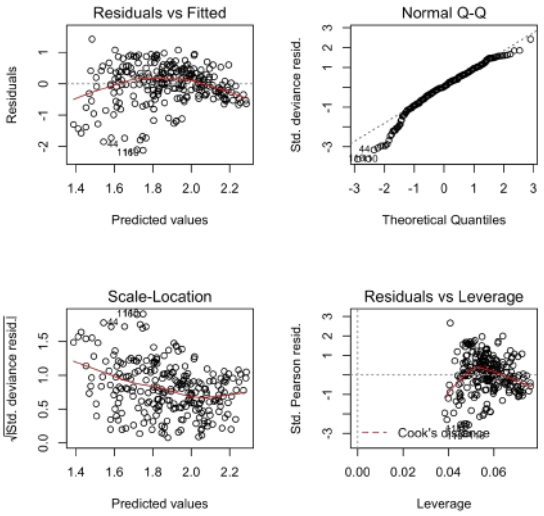


2.2.b. COLUMNA DE AGUA – CT AES GENER UNIDAD 3 – PVA TRIMESTRAL

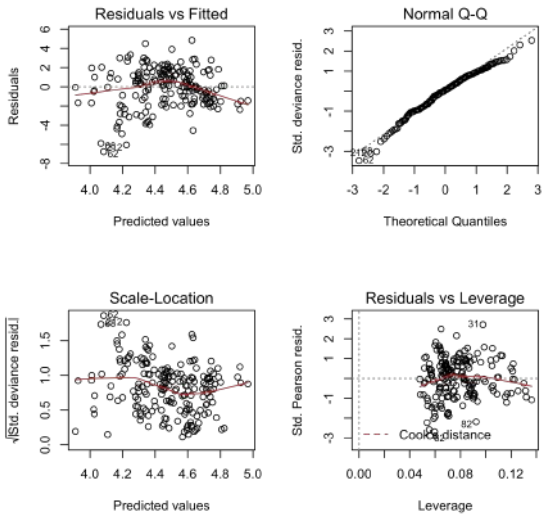
RESIDUAL TRANS



RESIDUAL ODIS



RESIDUAL OSAT

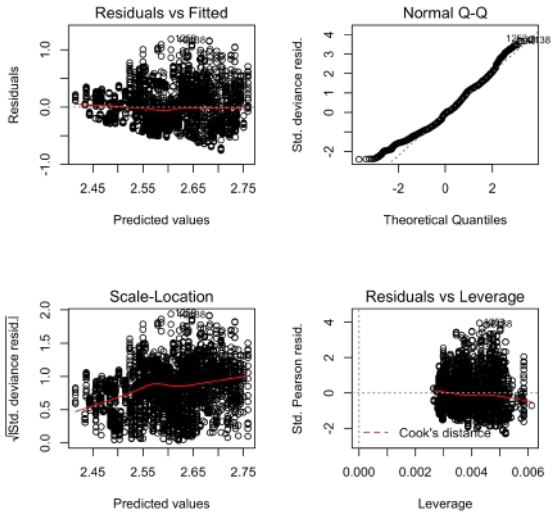


ANEXO 3

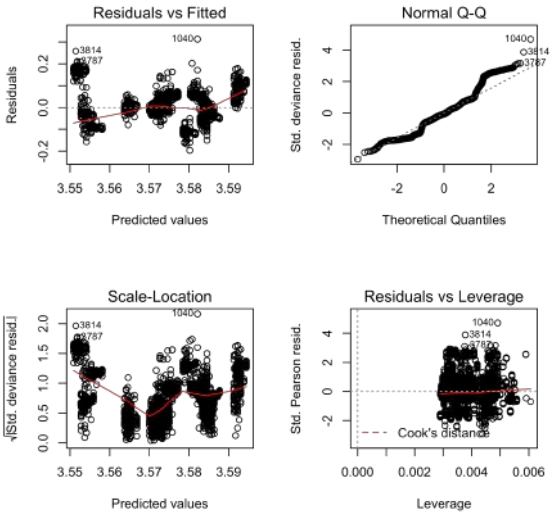
CT AES GENER UNIDAD 4

3.a. HIDROGRAFÍA – AES GENER UNIDAD 4

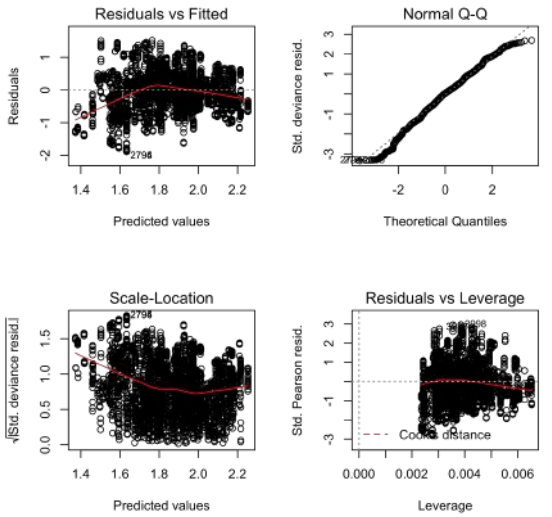
RESIDUAL TEMP



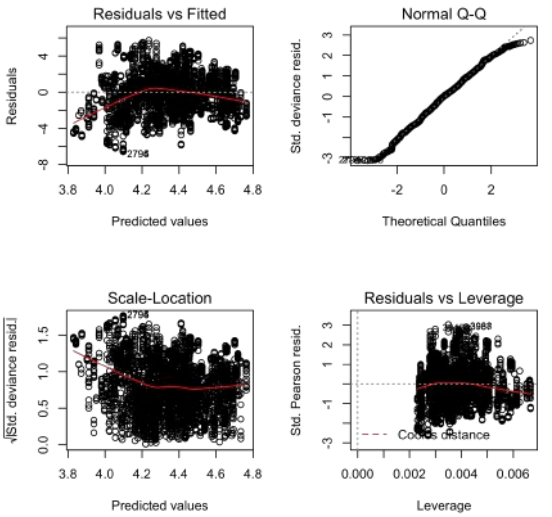
RESIDUAL SAL



RESIDUAL ODIS

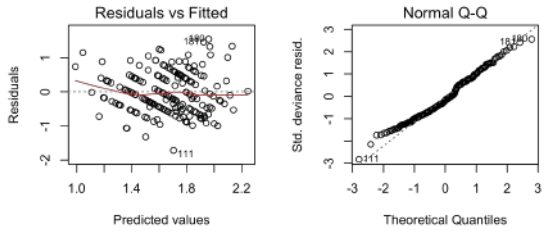


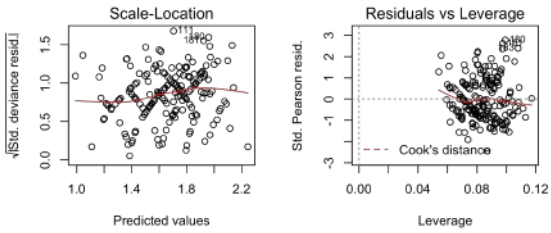
RESIDUAL OSAT



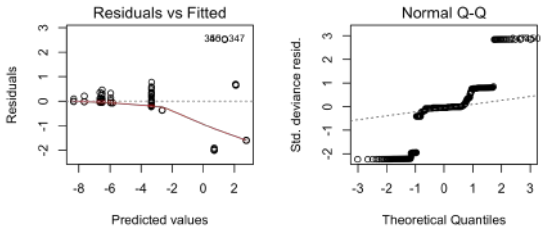
3.b. COLUMNA DE AGUA – AES GENER UNIDAD 4

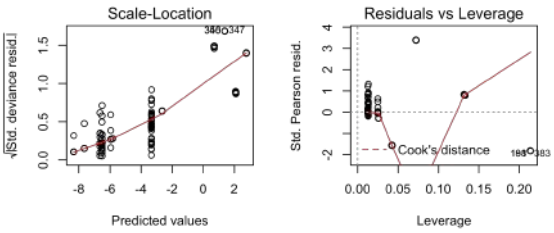
RESIDUAL TRANS





RESIDUAL HCT



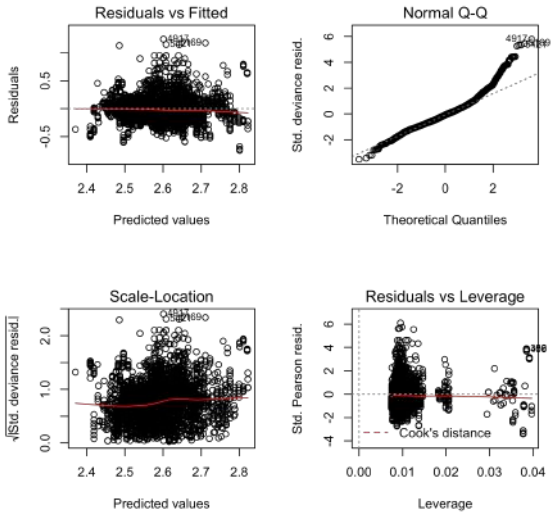


ANEXO 4

CT AES GENER UNIDAD 1-2

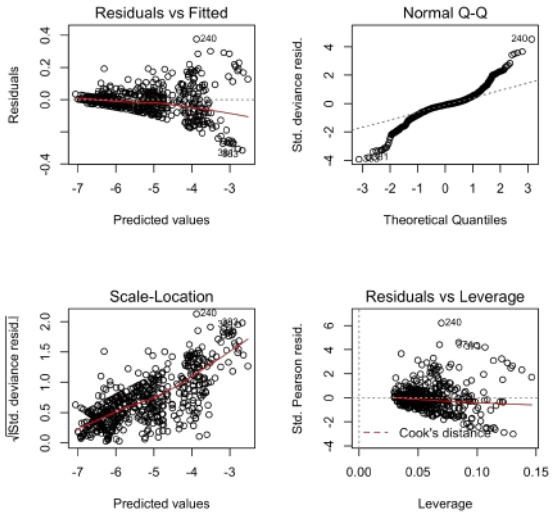
4.a. HIDROGRAFÍA – CT AES GENER UNIDAD 1-2

RESIDUAL TEMP

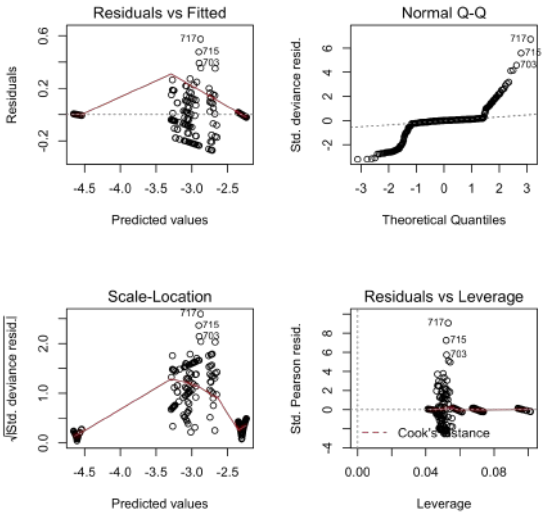


4.b. COLUMNA DE AGUA – CT AES GENER UNIDAD 1-2

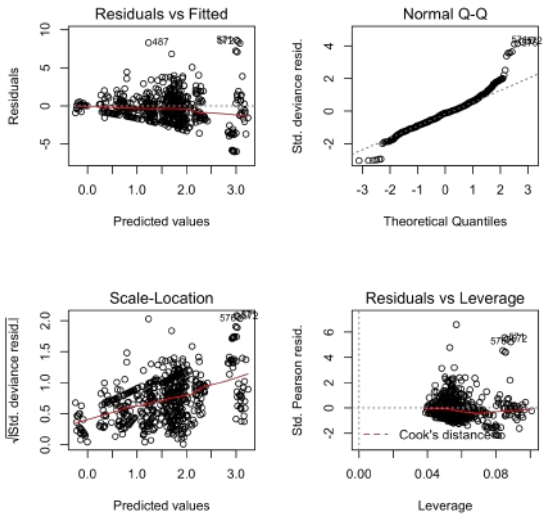
RESIDUAL AsTOT



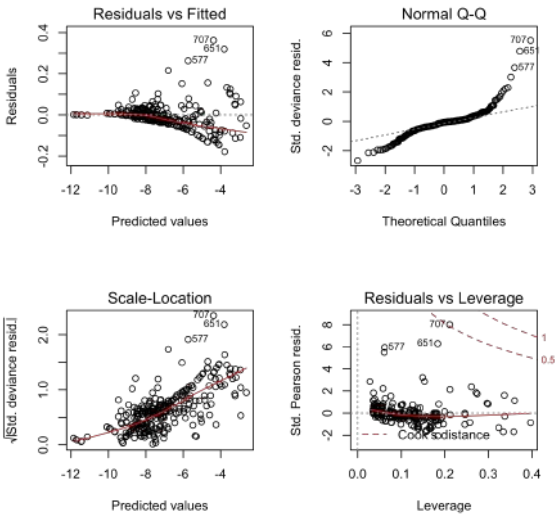
RESIDUAL CLB



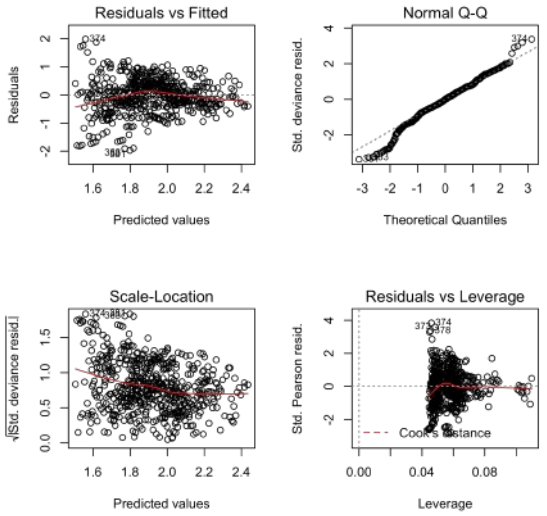
RESIDUAL CuTOT



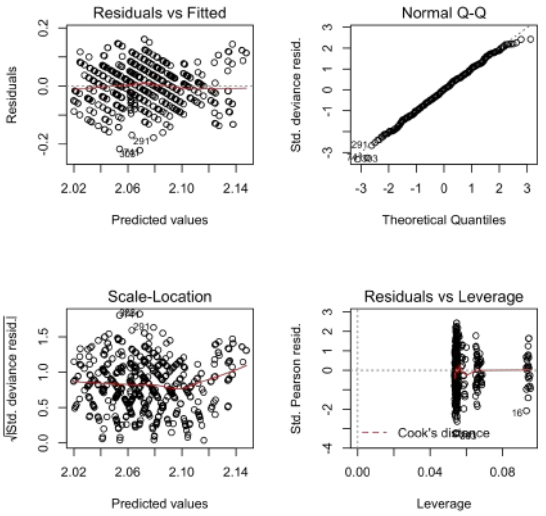
RESIDUAL HAT



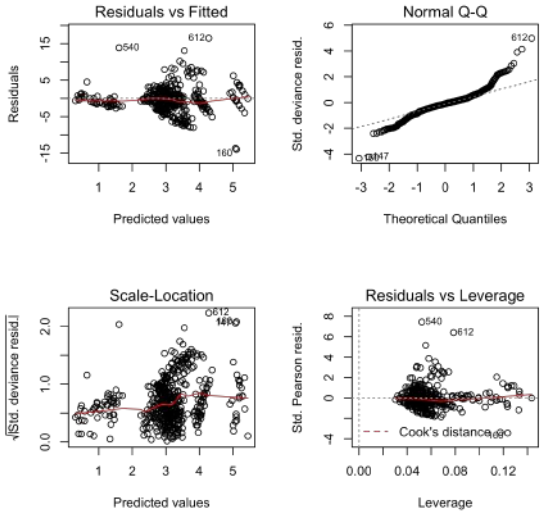
RESIDUAL ODIS



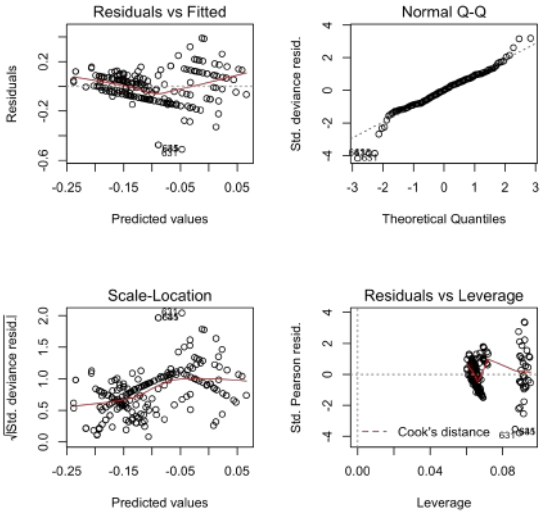
RESIDUAL PH



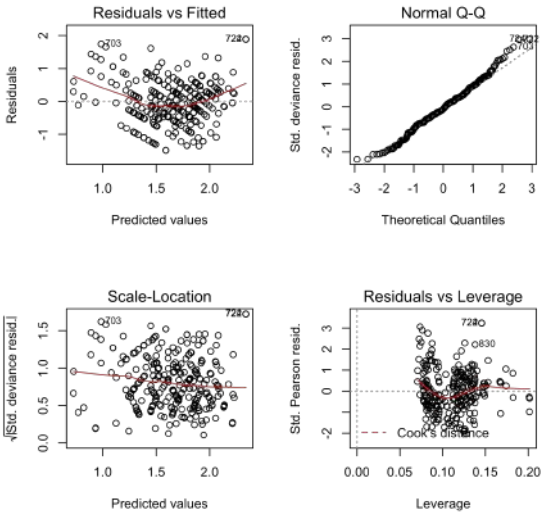
RESIDUAL SOLSUS



RESIDUAL FLUORURO



RESIDUAL TRANS

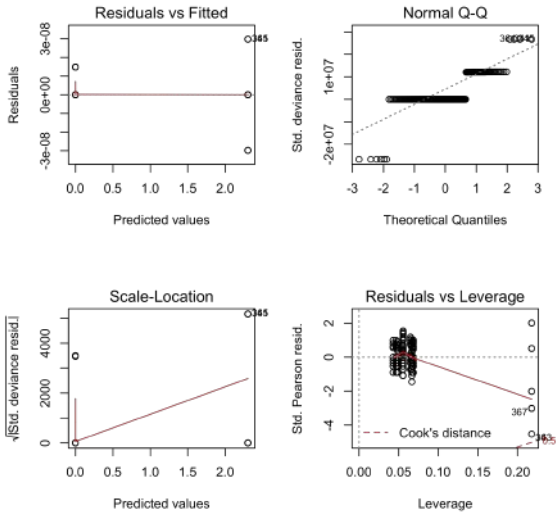


ANEXO 5

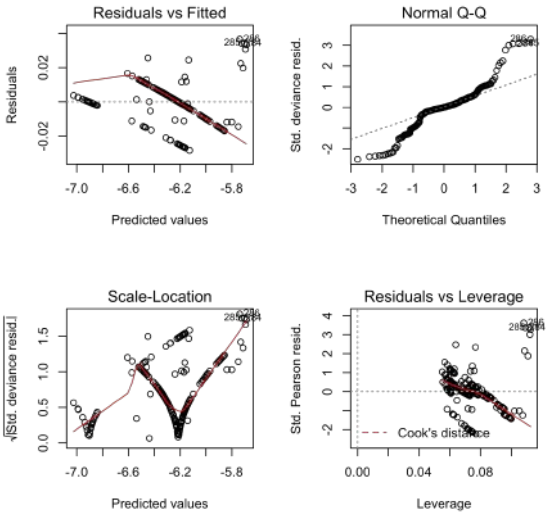
TM VENTANAS

5.a. COLUMNA DE AGUA – TM VENTANAS

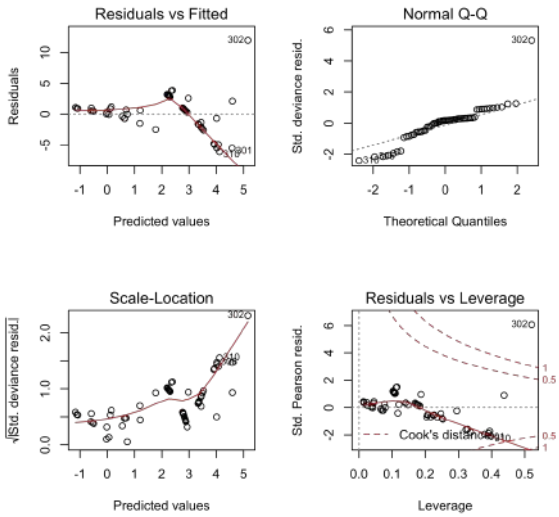
RESIDUAL AyG



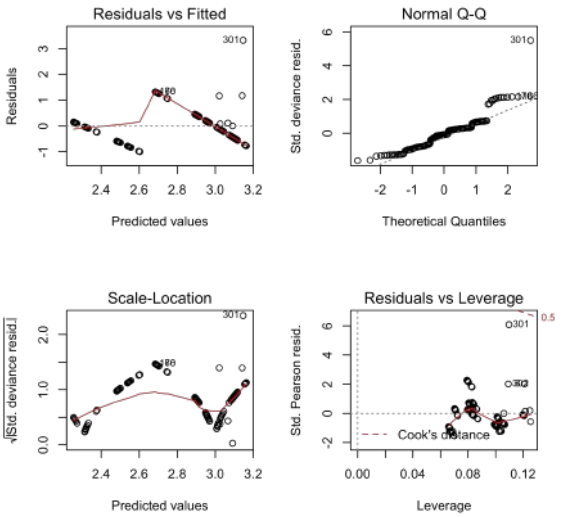
RESIDUAL IF



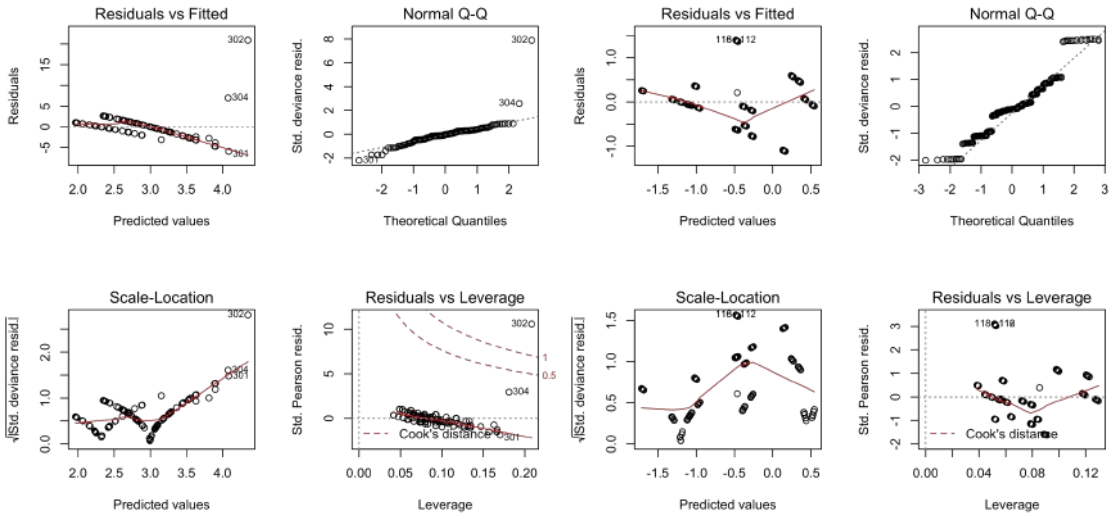
RESIDUAL Cu



RESIDUAL CuDIS

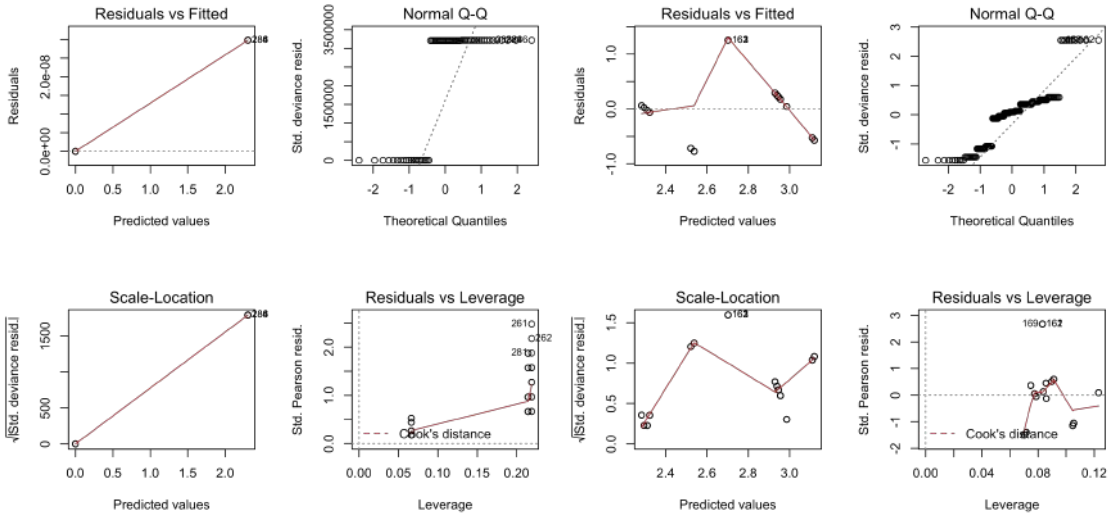


RESIDUAL CuPAR



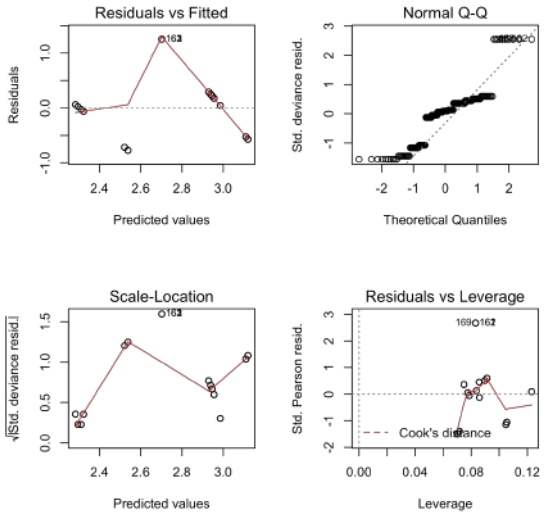
RESIDUAL HAP

RESIDUAL Ni

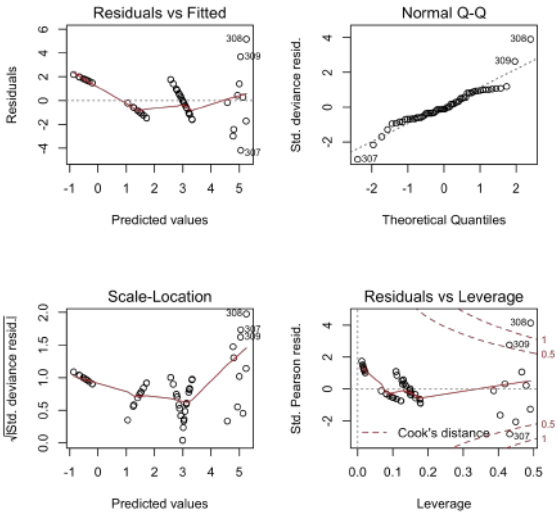


RESIDUAL NiDIS

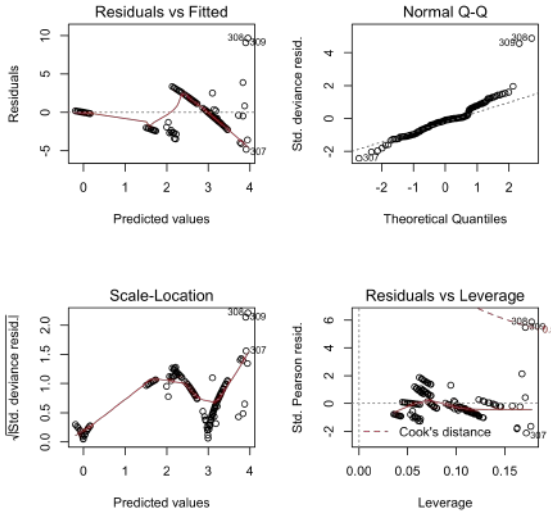
RESIDUAL NiPAR



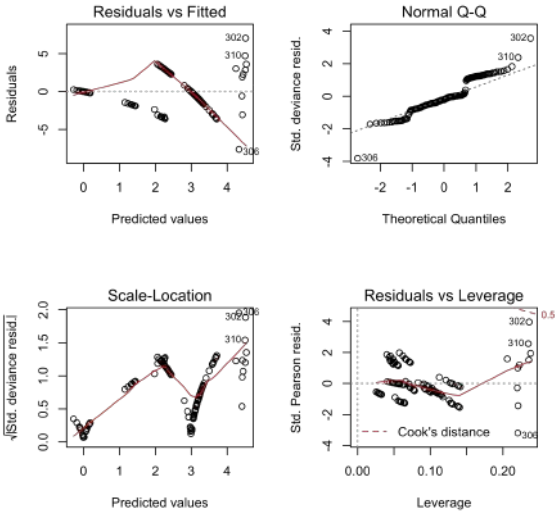
RESIDUAL Pb



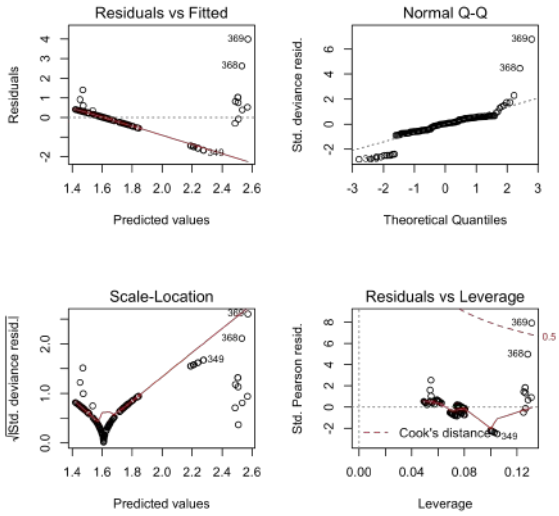
RESIDUAL PbDIS



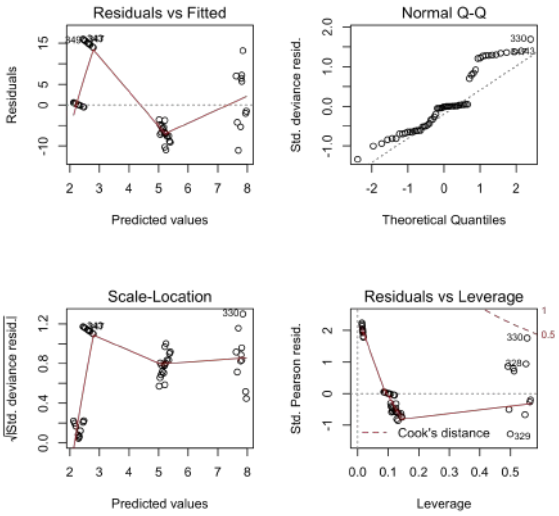
RESIDUAL PbPAR



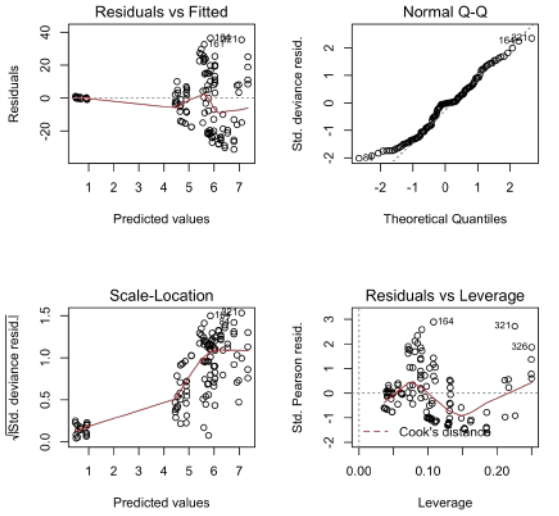
RESIDUAL SSUS



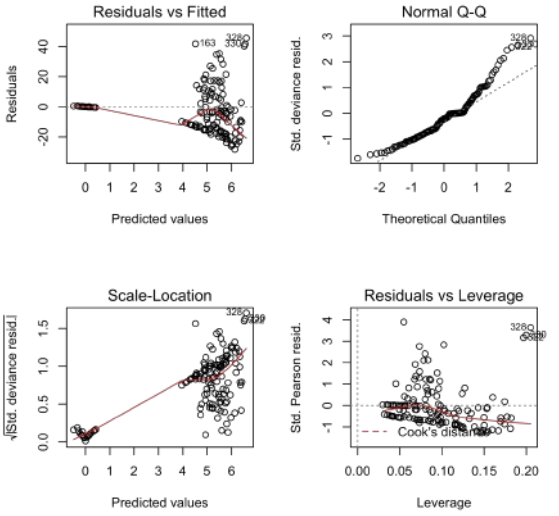
RESIDUAL V



RESIDUAL VDIS



RESIDUAL VPAR

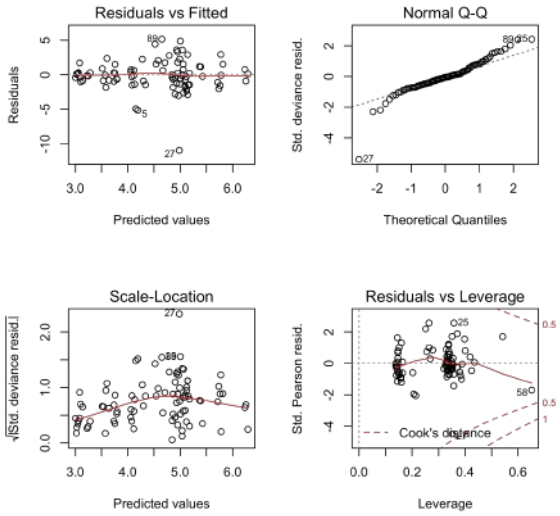


ANEXO 6

CODELCO VENTANAS

6.a. CALIDAD DE ORGANISMOS – CODELCO VENTANAS

RESIDUAL Cu

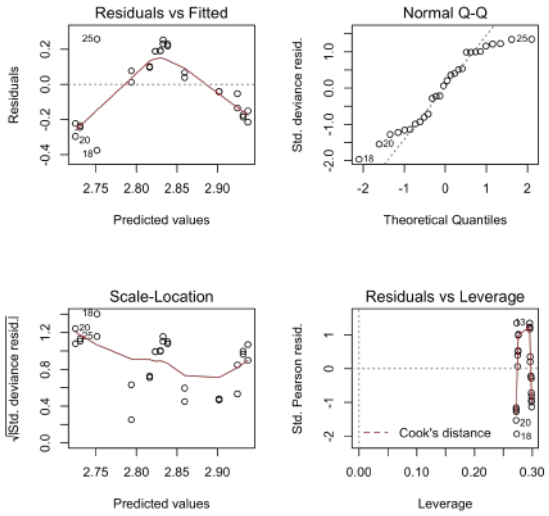


ANEXO 7

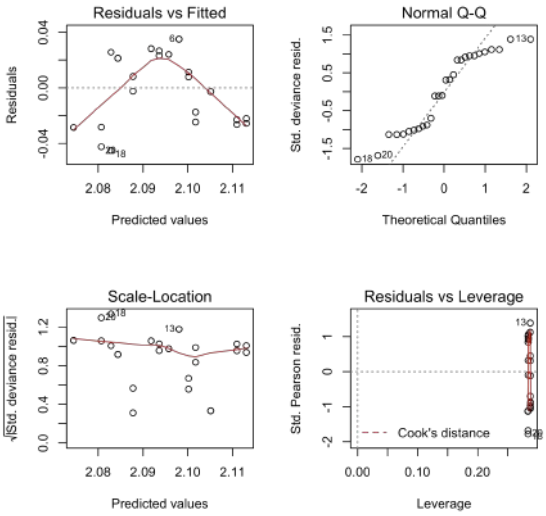
PTA GASMAR

7.a. HIDROGRAFÍA – PTA GASMAR

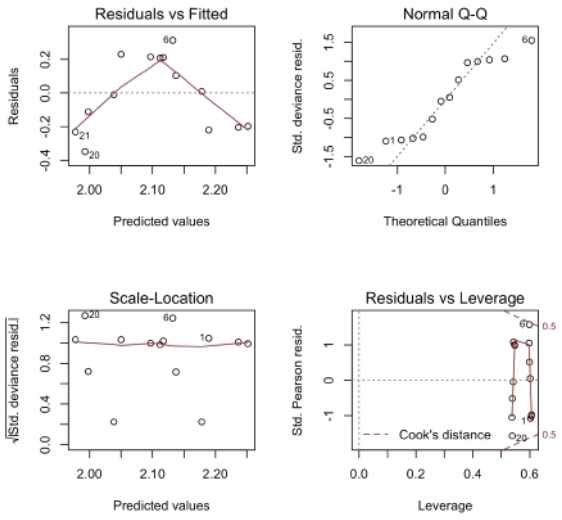
RESIDUAL TEMP



RESIDUAL PH

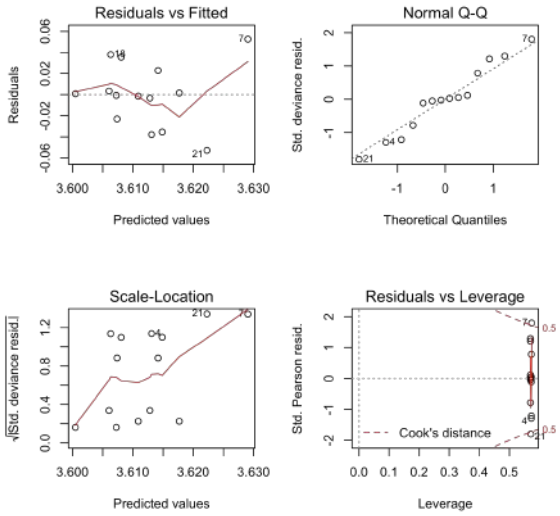


RESIDUAL ODIS



7.b. COLUMNA DE AGUA – PTA GASMAR

RESIDUAL SOLDIS

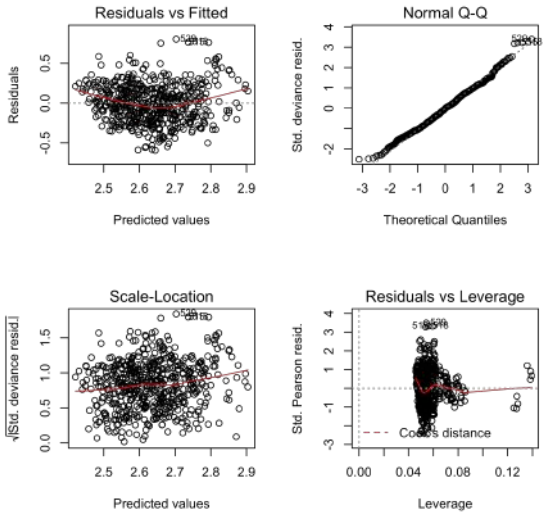


ANEXO 8

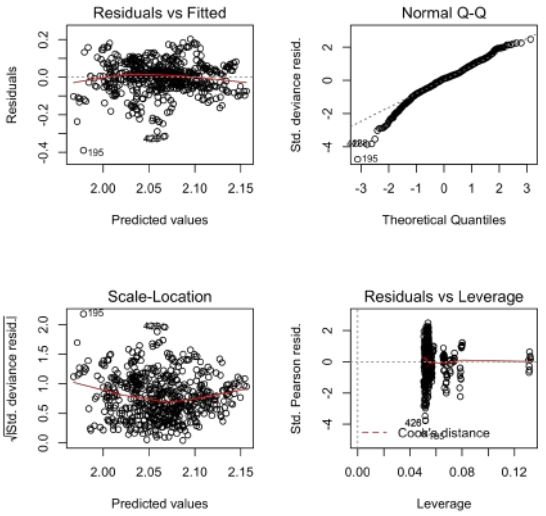
TM OXIQUIM

8.a. HIDROGRAFÍA – TM OXIQUIM

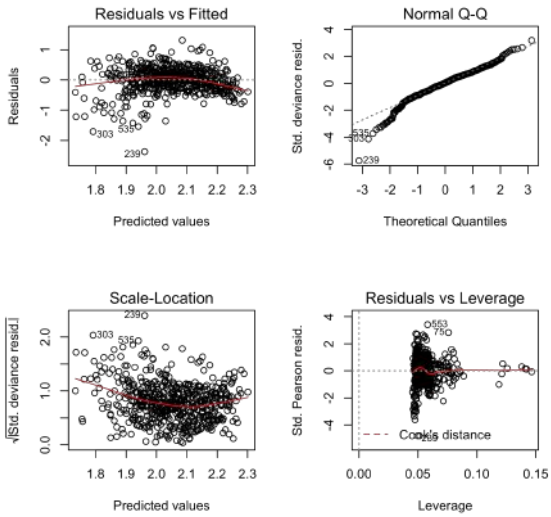
RESIDUAL TEMP



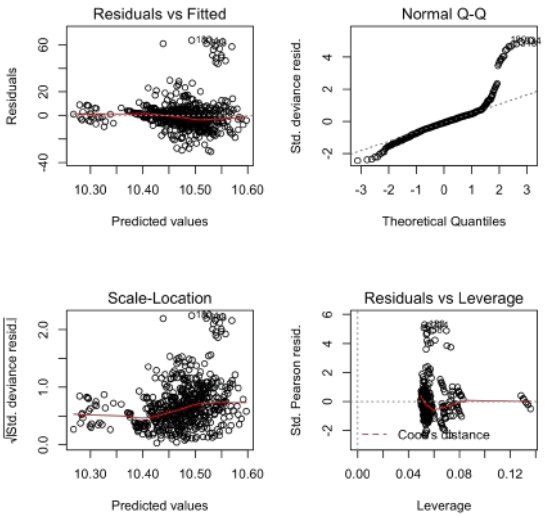
RESIDUAL PH



RESIDUAL ODIS

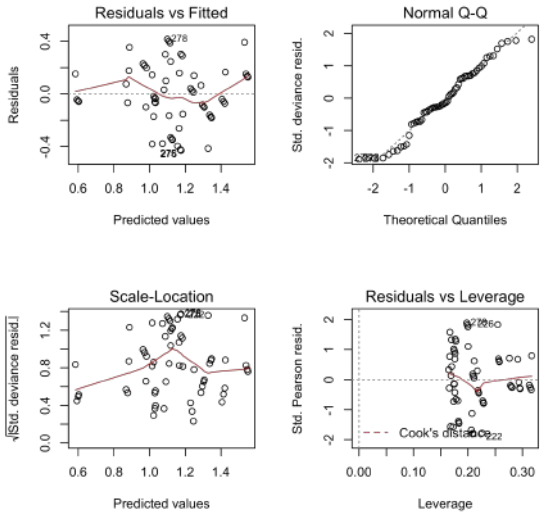


RESIDUAL SDIS

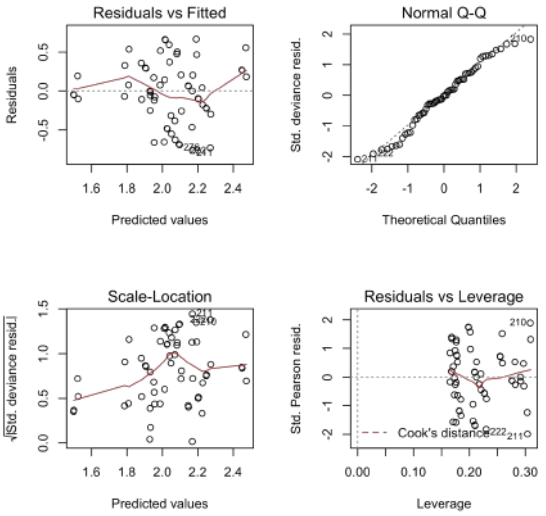


8.b. COLUMNA DE AGUA – TM OXIQUIM

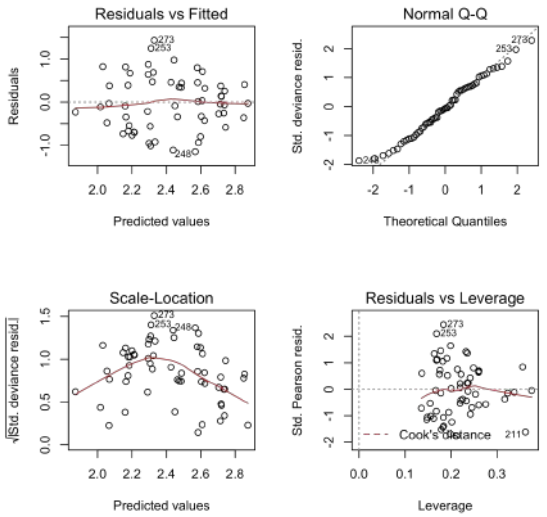
RESIDUAL TRANS



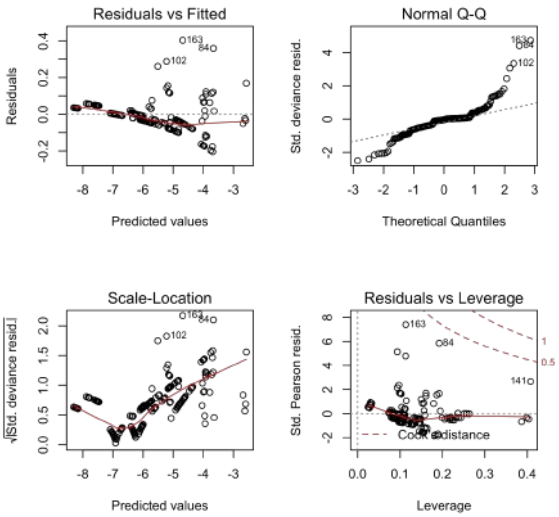
RESIDUAL PROF



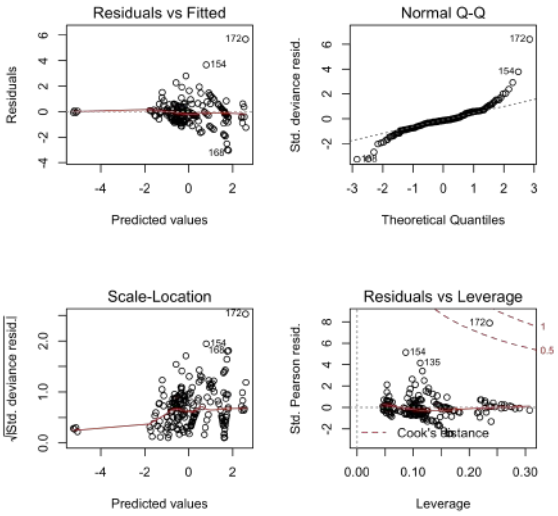
RESIDUAL CFOTICA



RESIDUAL IF



RESIDUAL HAT

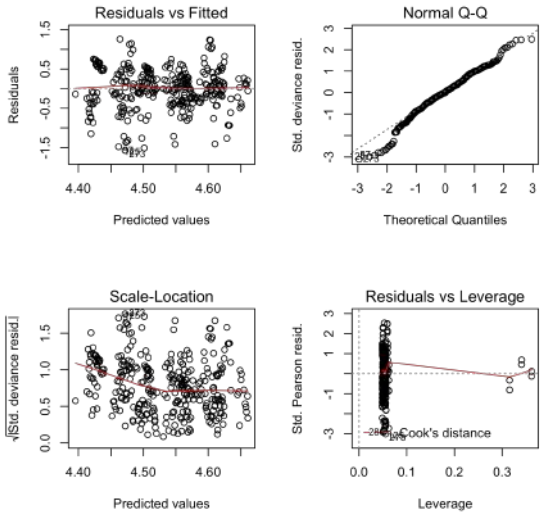


ANEXO 9

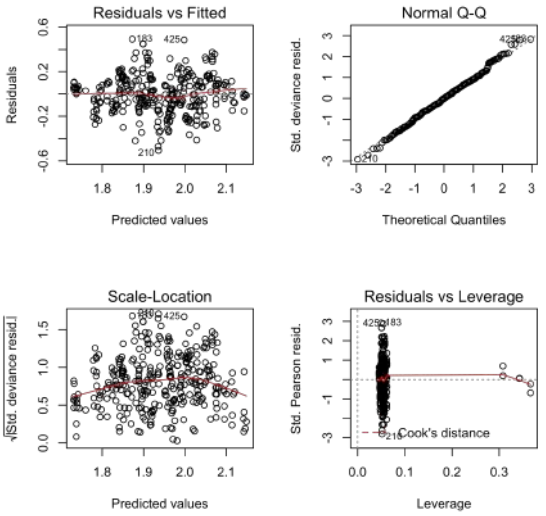
TM ENAP

9.a. HIDROGRAFÍA – TM ENAP

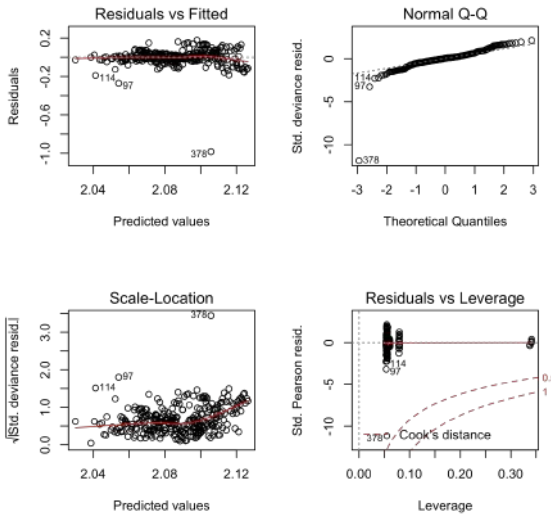
RESIDUAL OSAT



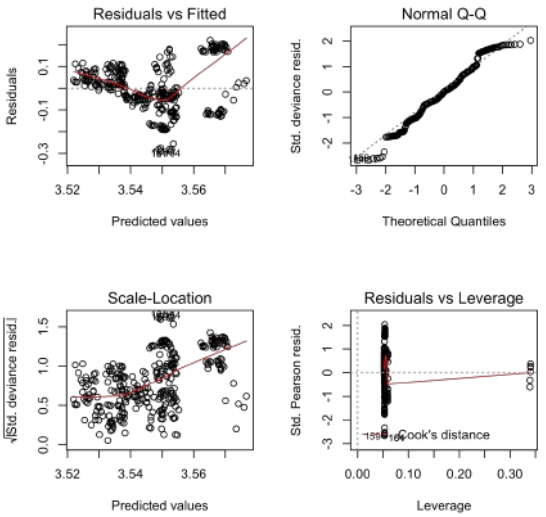
RESIDUAL ODIS



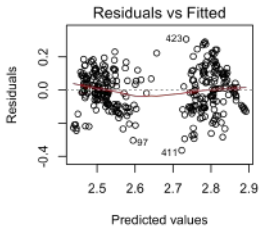
RESIDUAL PH

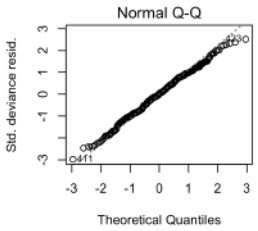


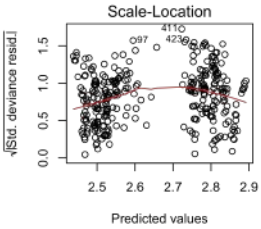
RESIDUAL SAL

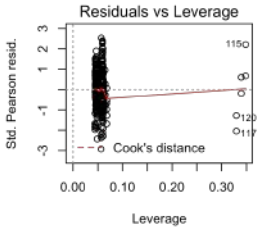


RESIDUAL TEMP

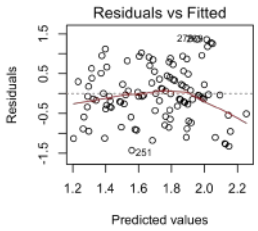


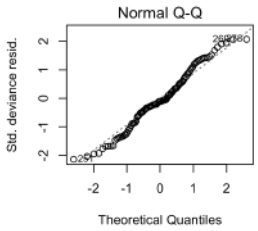


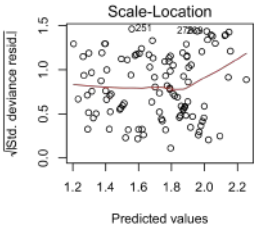


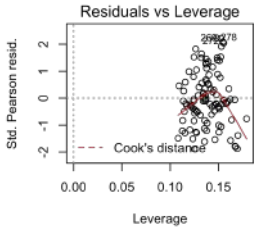


RESIDUAL TRANSP



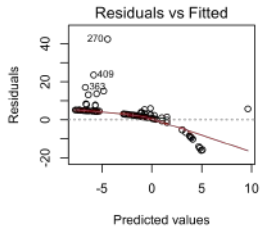


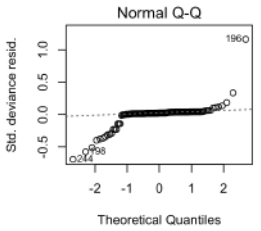


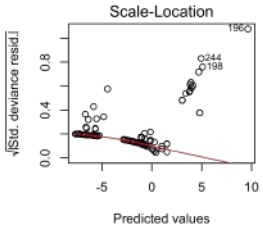


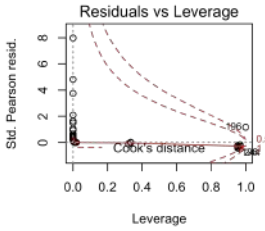
9.b. COLUMNA DE AGUA – TM ENAP

RESIDUAL COLFEC

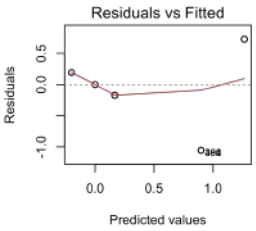


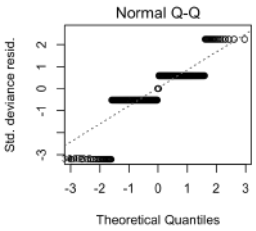


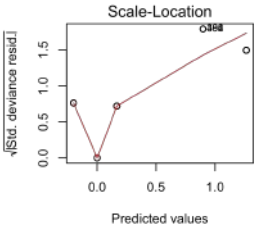


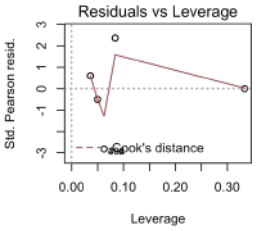


RESIDUAL AyG

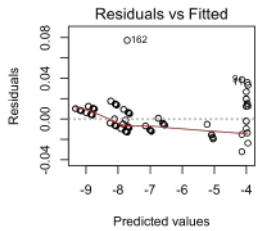


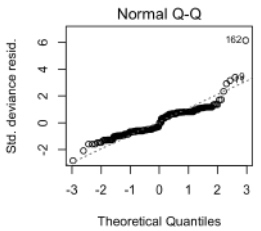


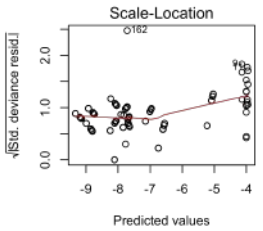


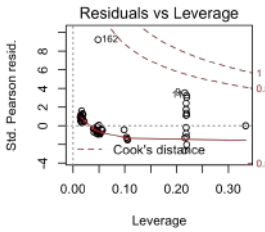


RESIDUAL HAP

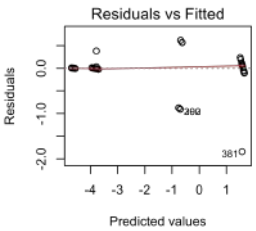


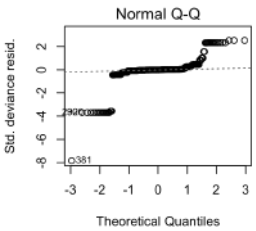


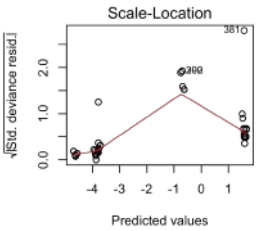


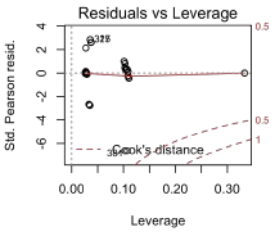


RESIDUAL HCT



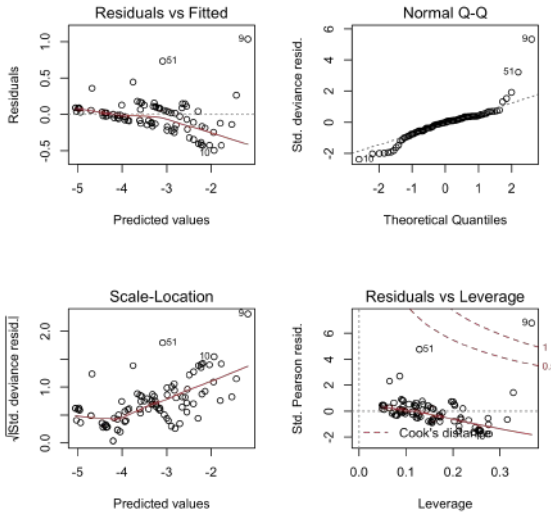




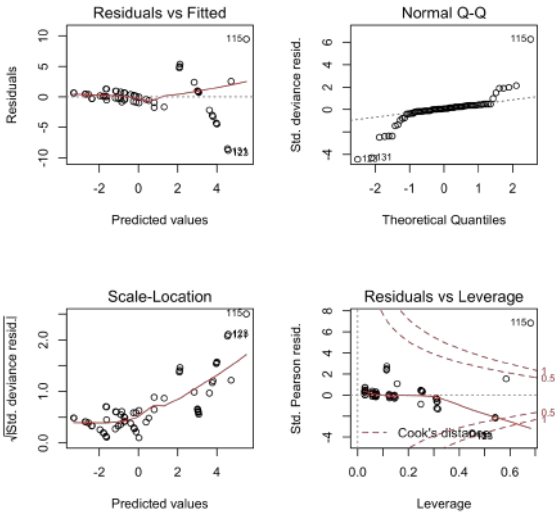


9.c. SEDIMENTO SUBMAREAL – TM ENAP

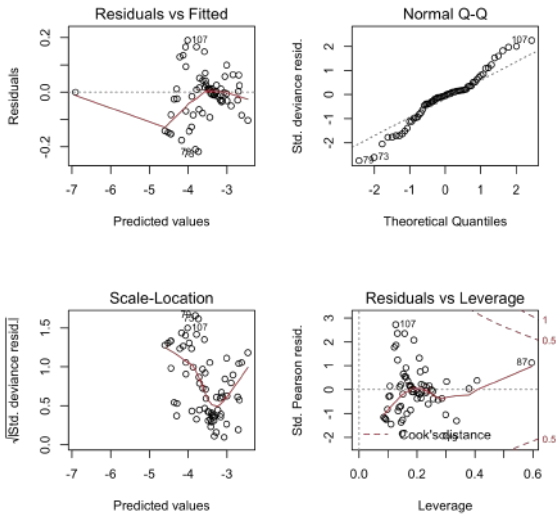
RESIDUAL HAP



RESIDUAL HCT



RESIDUAL M

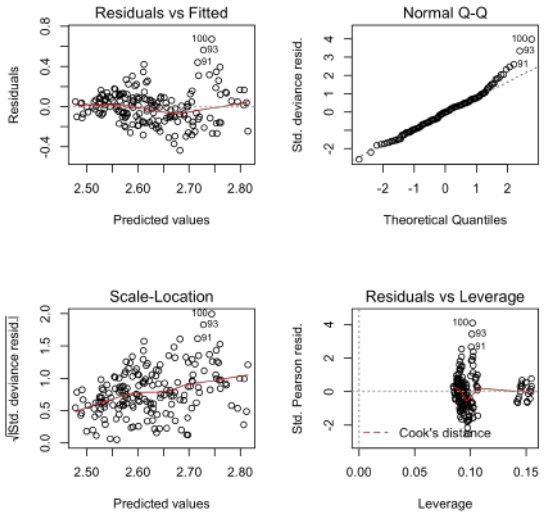


ANEXO 10

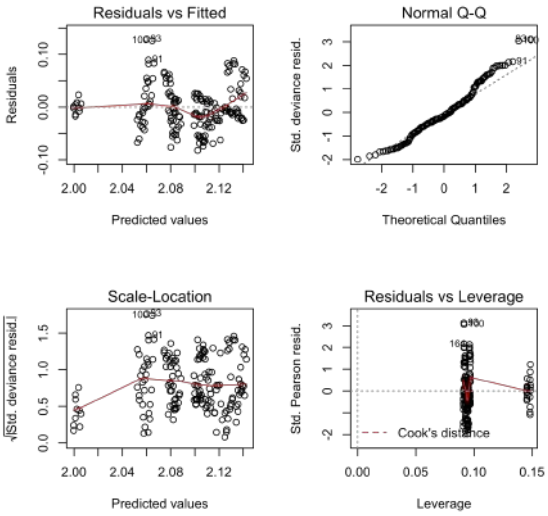
TM GNL QUINTERO

10.a. HIDROGRAFÍA – TM GNL QUINTERO

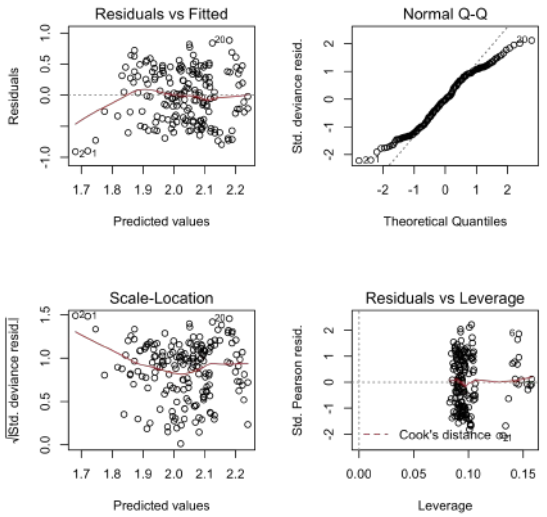
RESIDUAL TEMP



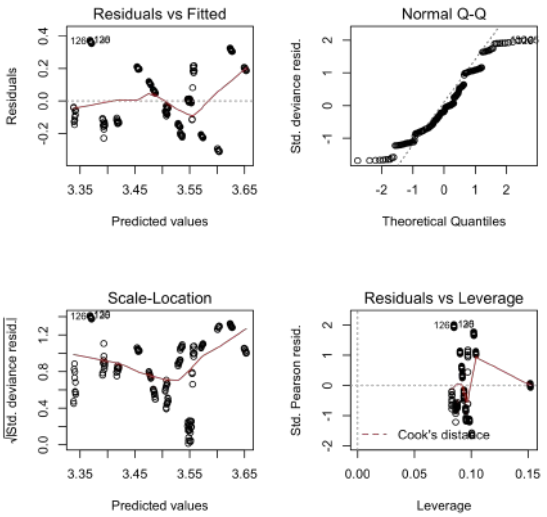
RESIDUAL PH



RESIDUAL ODIS

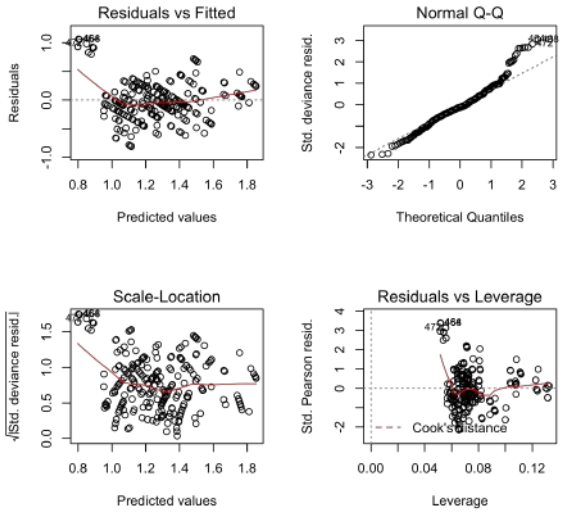


RESIDUAL SAL

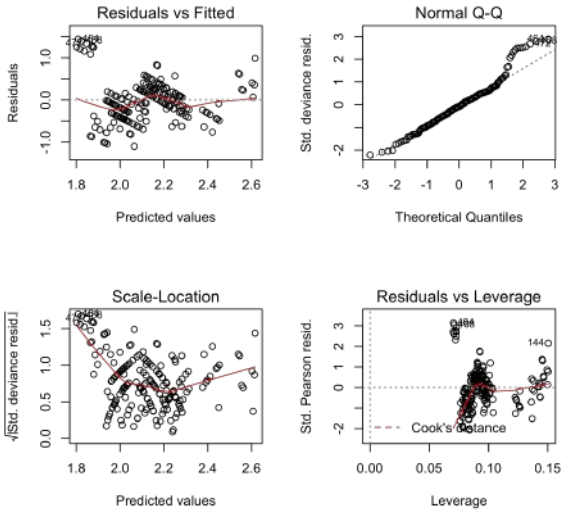


10.b. COLUMNA DE AGUA – TM GNL QUINTERO

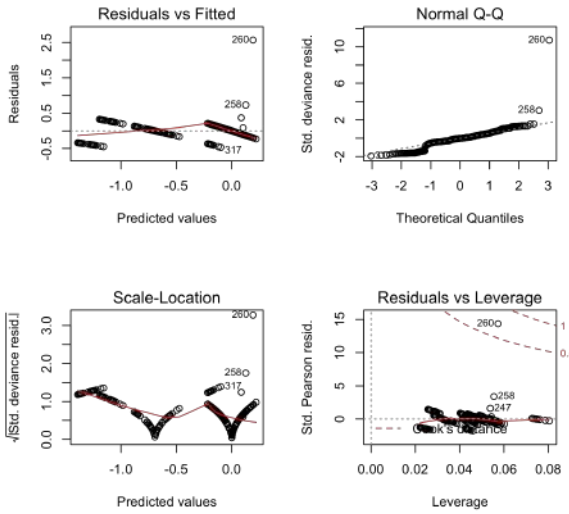
RESIDUAL TRANSP



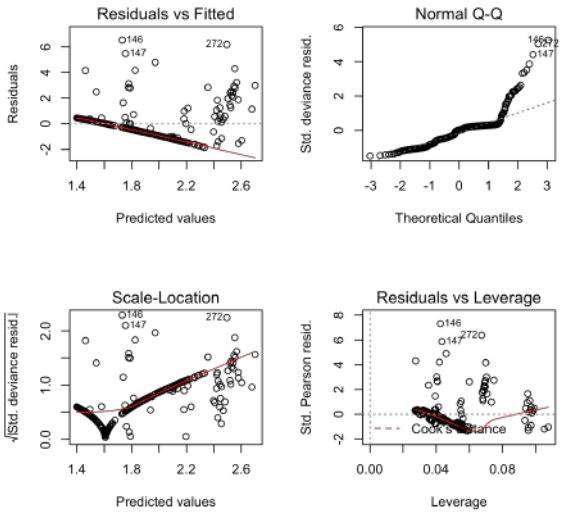
RESIDUAL ZFOTICA



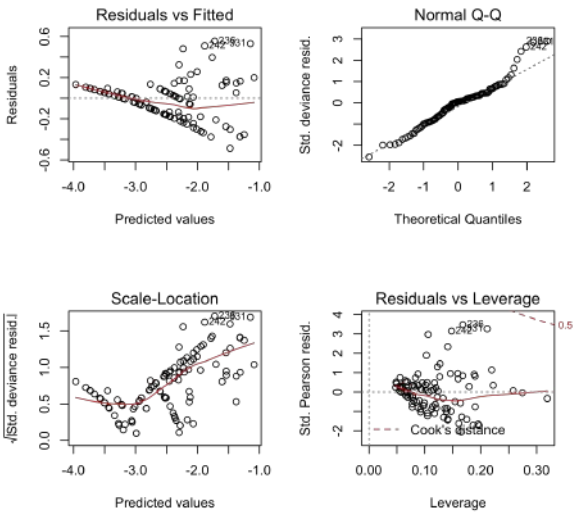
RESIDUAL SSED



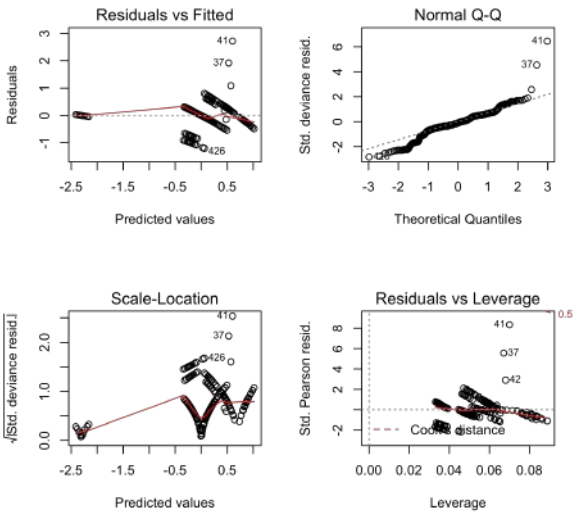
RESIDUAL SSUS



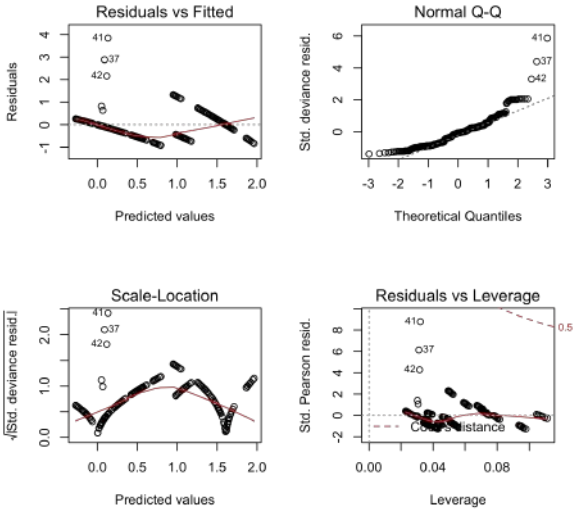
RESIDUAL CLRes



RESIDUAL HPAR

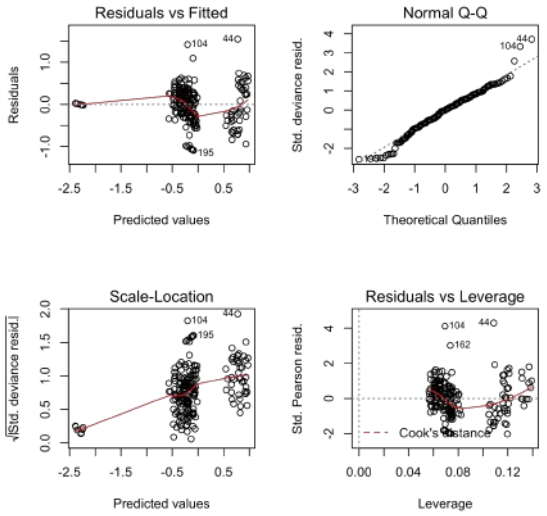


RESIDUAL HCT

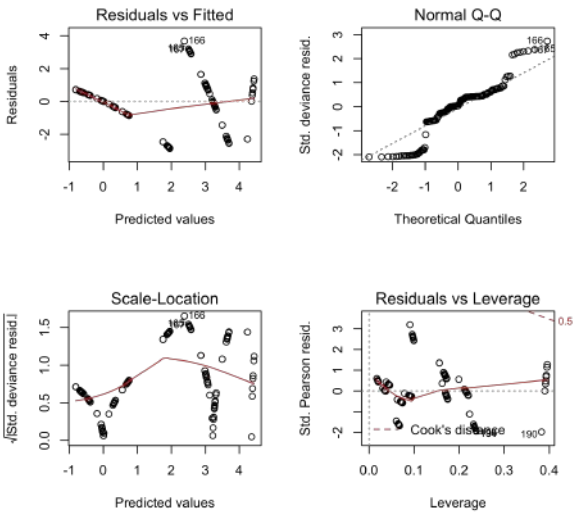


10.c. SEDIMENTO SUBMAREAL– TM GNL QUINTERO

RESIDUAL MOT



RESIDUAL HCT

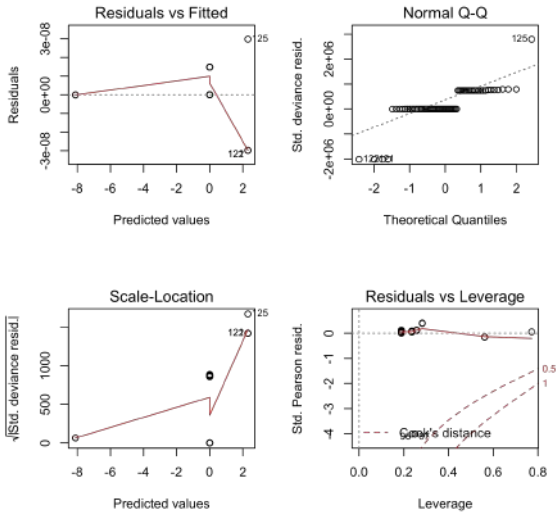


ANEXO 11

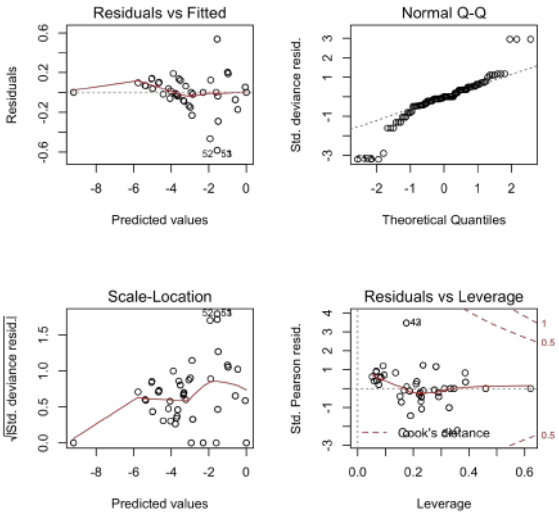
TM COPEC

11.a. COLUMNA DE AGUA– TM COPEC

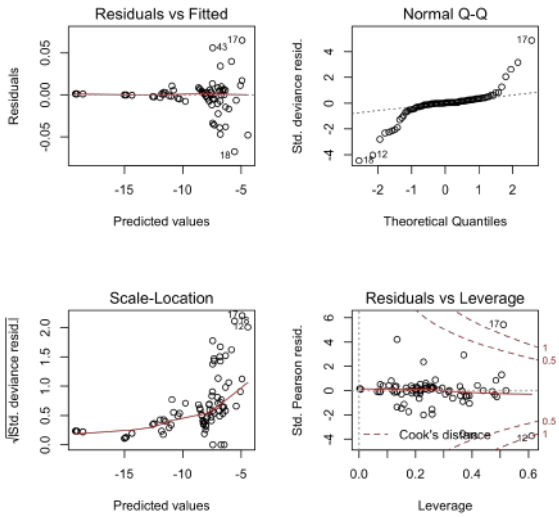
RESIDUAL AyG



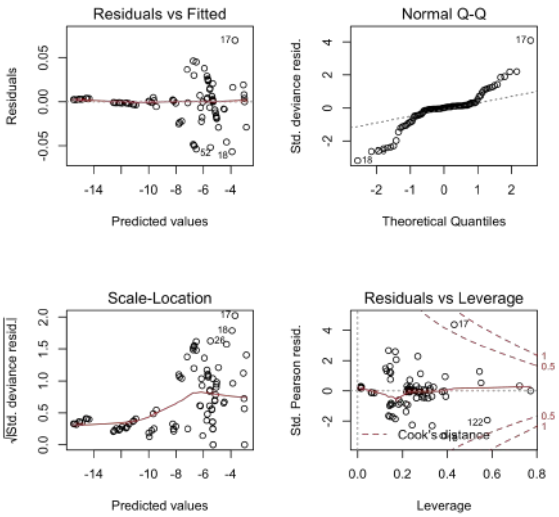
RESIDUAL HAL



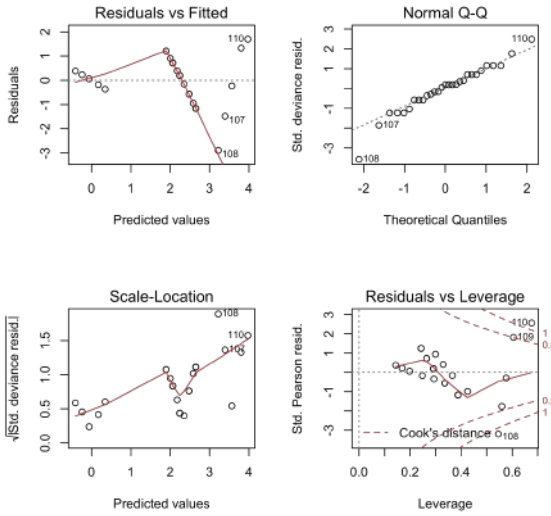
RESIDUAL HAP



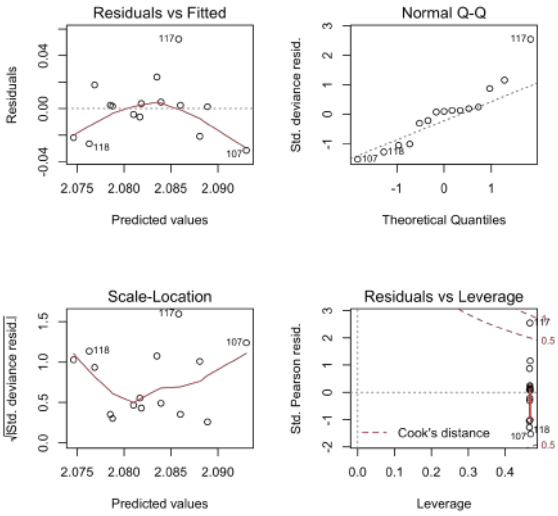
RESIDUAL HAT



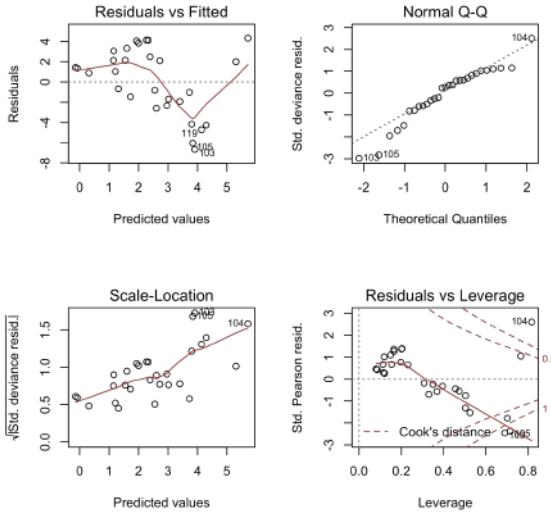
RESIDUAL Ni



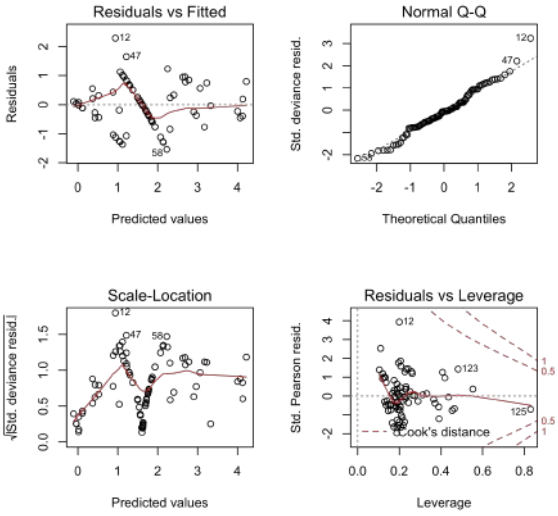
RESIDUAL PH



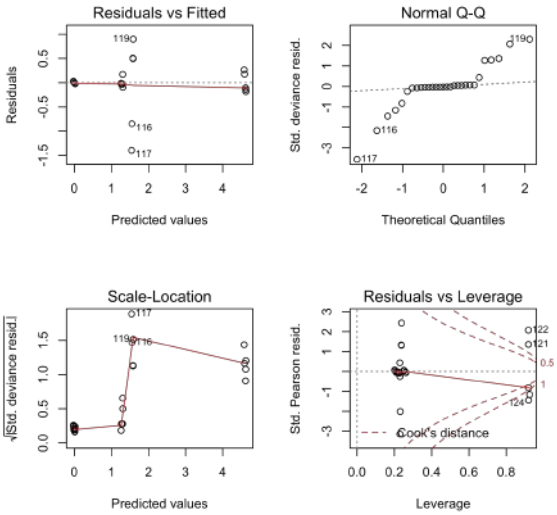
RESIDUAL Pb



RESIDUAL SOLSUS



RESIDUAL V

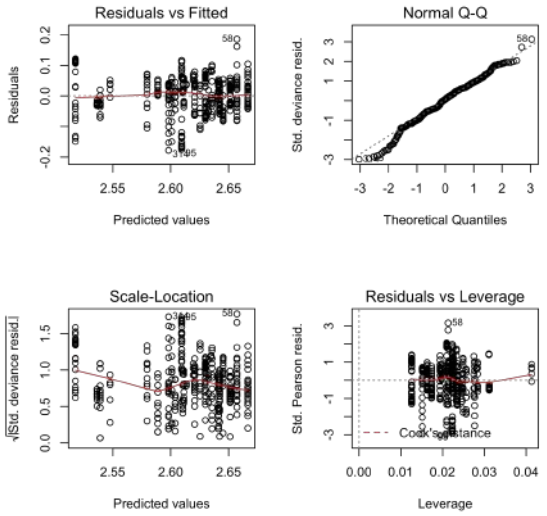

Residuals vs Fitted
Residuals
Predicted values
Normal Q-Q
Std. deviance resid.
Theoretical Quantiles
Scale-Location
√|Std. deviance resid.|
Predicted values
Residuals vs Leverage
Std. Pearson resid.
Cook's distance
Leverage

ANEXO 12

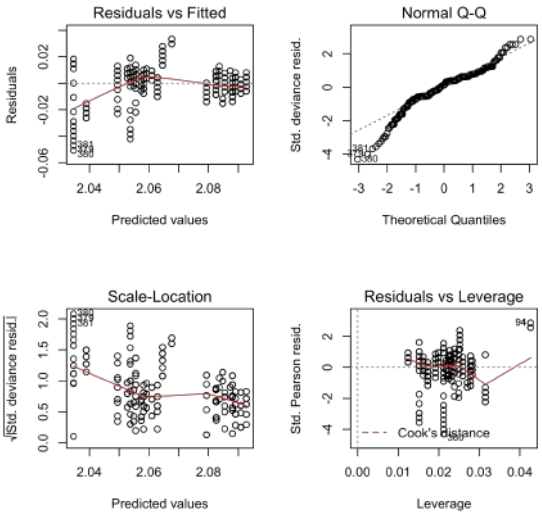
PESQ QUINTERO

12.a. HIDROGRAFÍA – PESQ QUINTERO

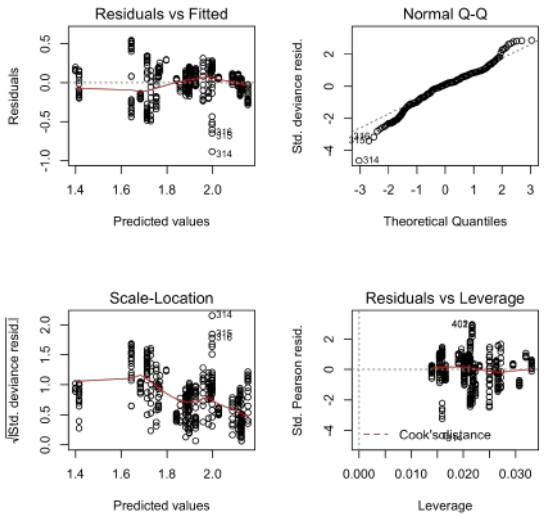
RESIDUAL TEMP



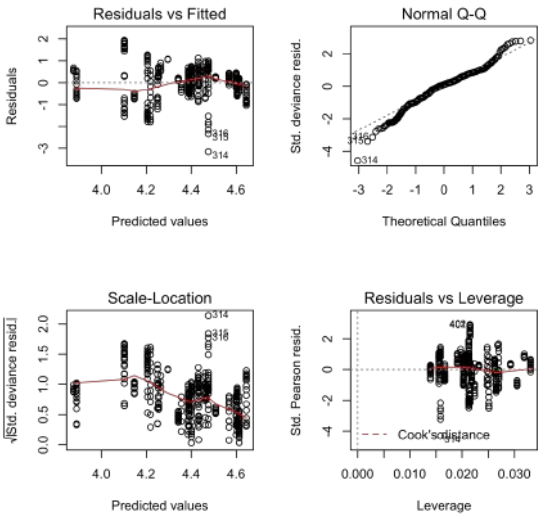
RESIDUAL PH



RESIDUAL ODIS

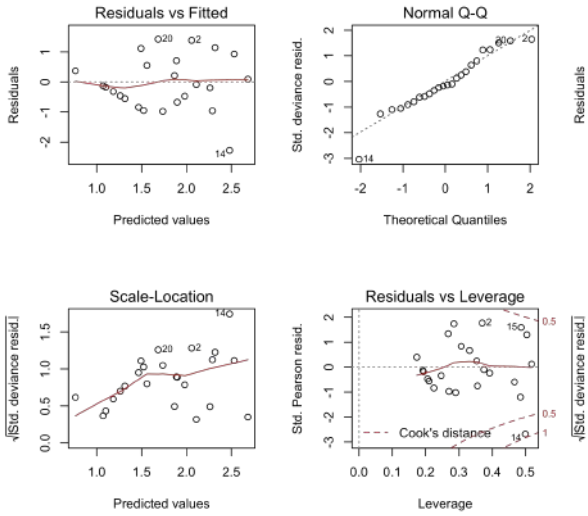


RESIDUAL OSAT

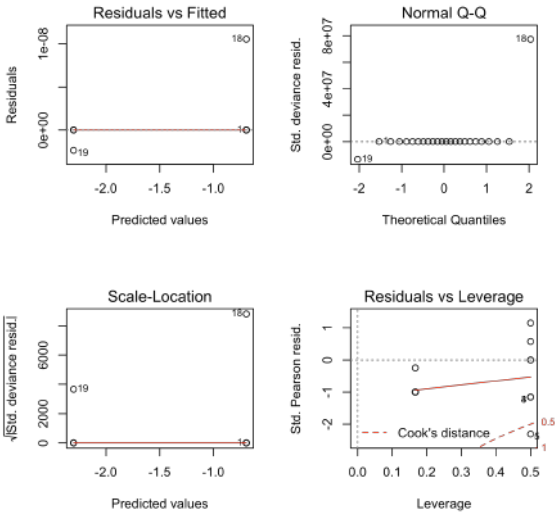


12.b. COLUMNA DE AGUA – PESQ QUINTERO

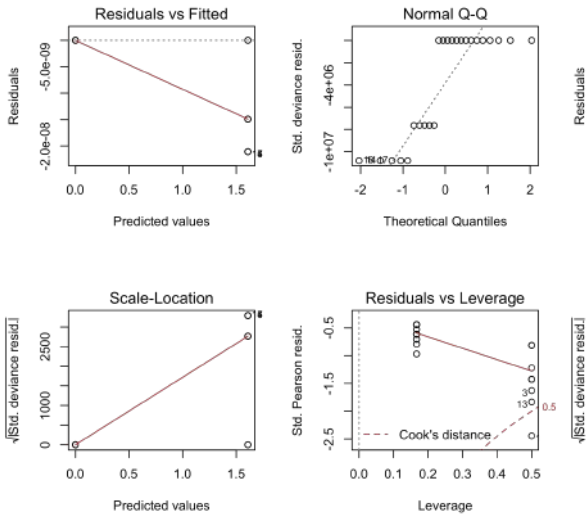
RESIDUAL SOLSUS



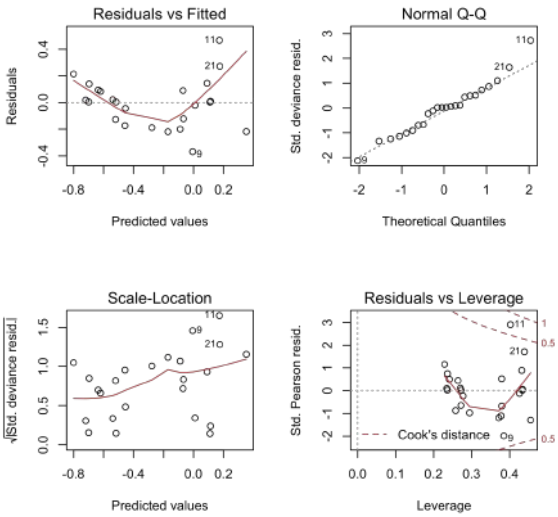
RESIDUAL SOLSED



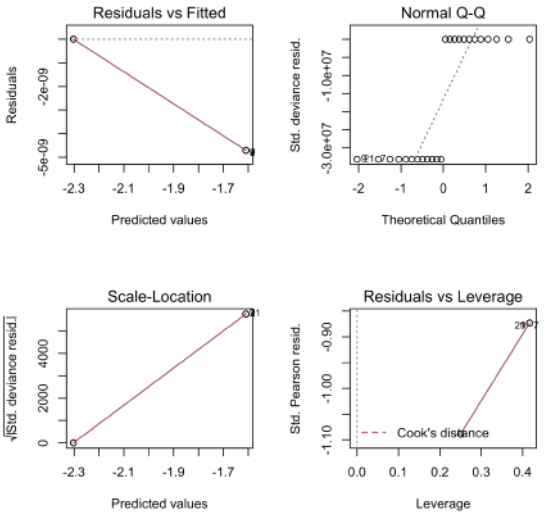
RESIDUAL AyG



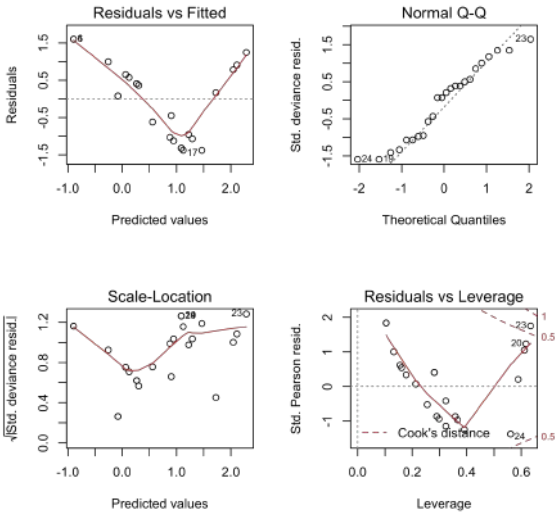
RESIDUAL NTK



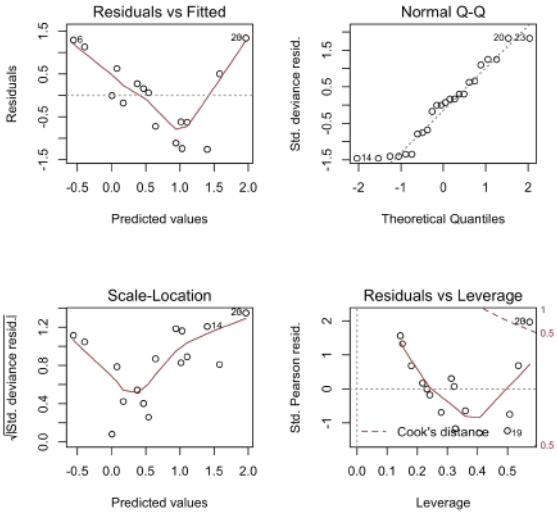
RESIDUAL SAAM



RESIDUAL COLTOT



RESIDUAL COLFEC

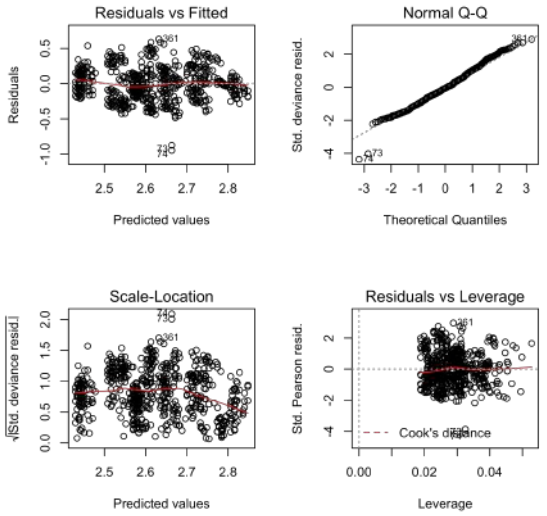


ANEXO 13

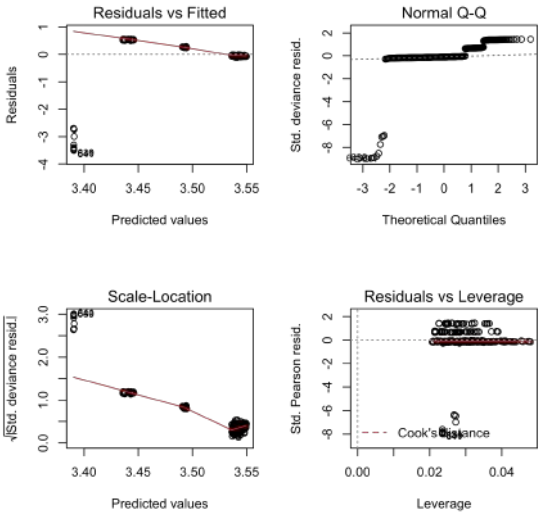
PTAS ESVAL

13.a. HIDROGRAFÍA – PTAS ESVAL

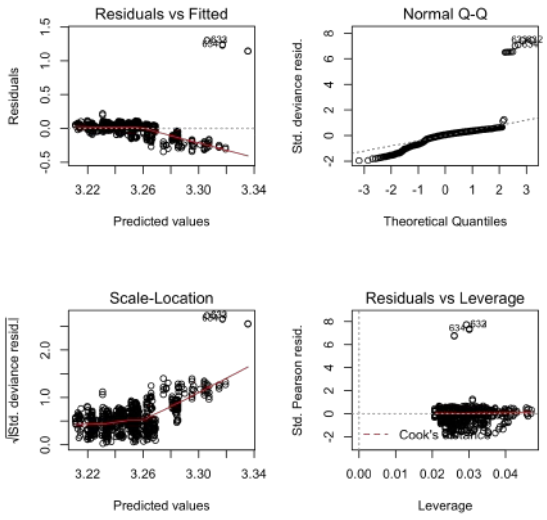
RESIDUAL TEMP



RESIDUAL SAL

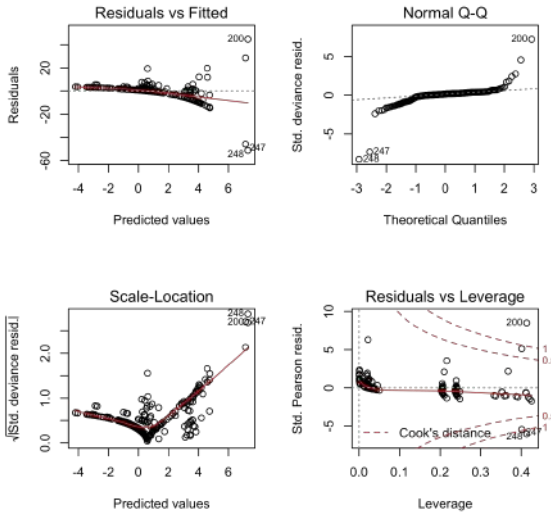


RESIDUAL DENS

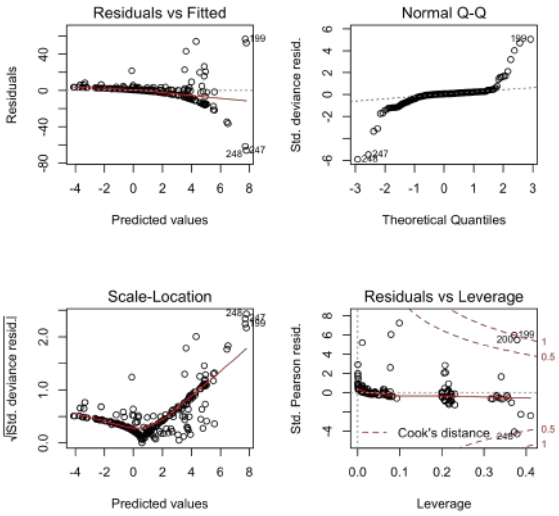


13.b. COLUMNA DE AGUA – PTAS ESVAL

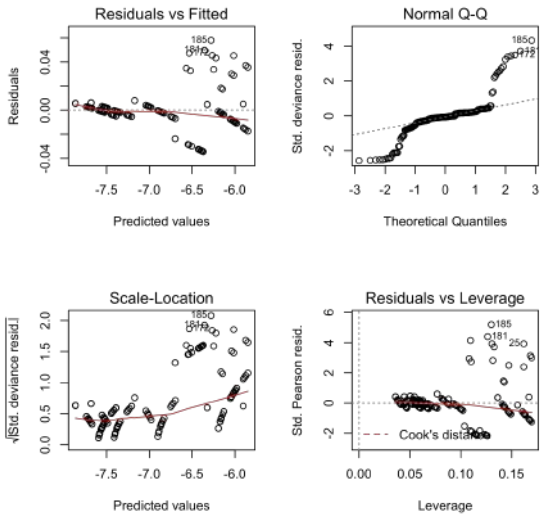
RESIDUAL COLFEC



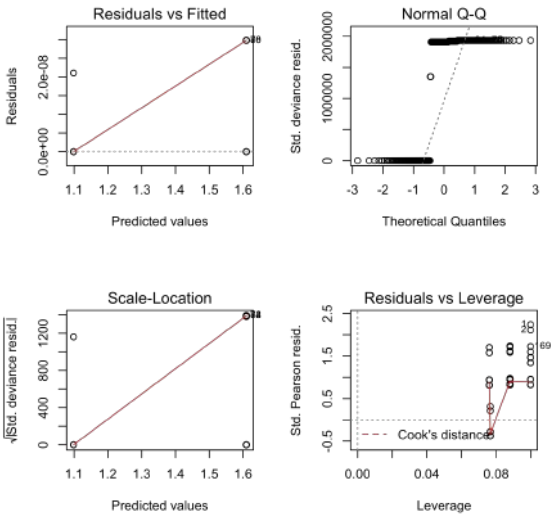
RESIDUAL COLTOT



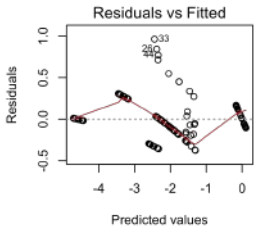
RESIDUAL IF

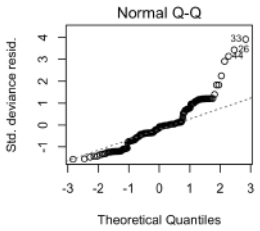


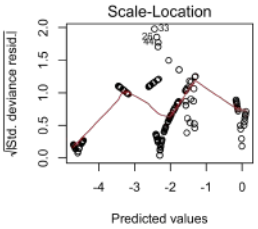
RESIDUAL HF

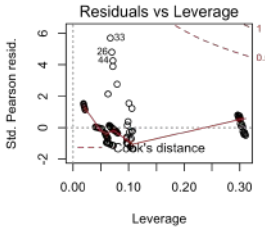


RESIDUAL HV

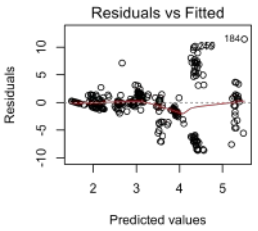


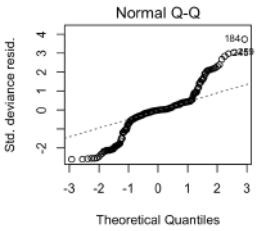


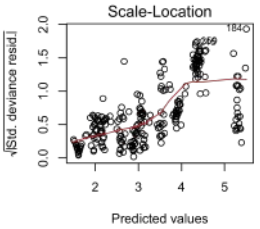


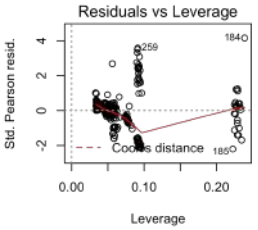


RESIDUAL SST



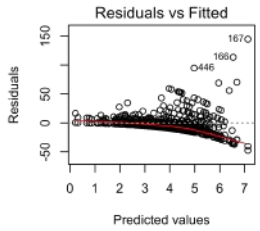


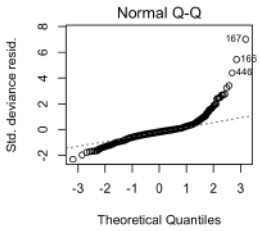


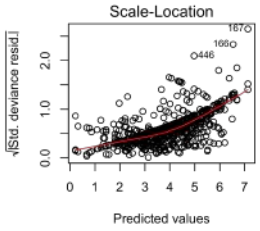


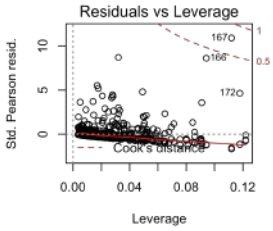
13.c. COLUMNA DE AGUA INTERMAREAL – PTAS ESVAL

RESIDUAL COLFEC

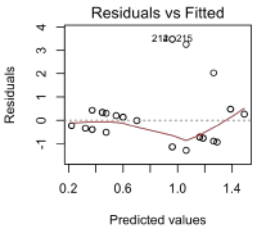


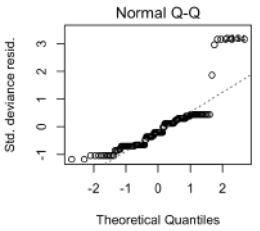


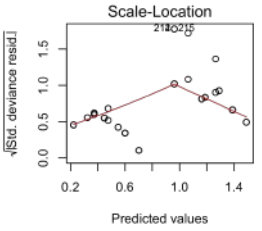


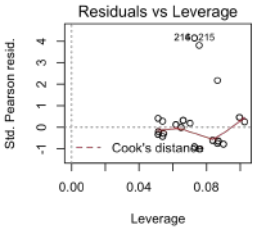


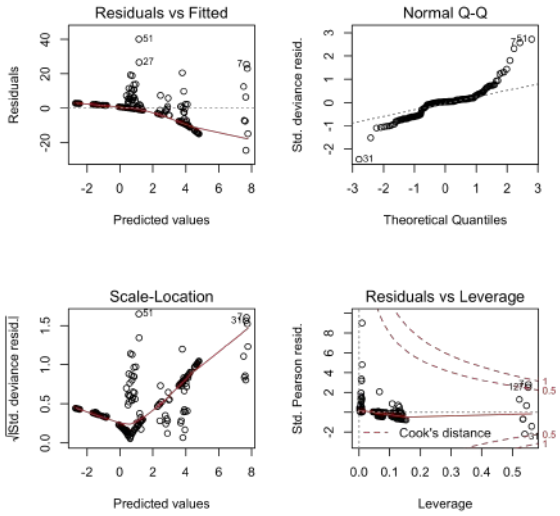
RESIDUAL AyG









13.d. COLUMNA DE AGUA AMERB – PTAS ESVAL

RESIDUAL COLFEC