



**Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica  
ecosistémica en el Salar de Pedernales y Sistemas Aledaños**

Caracterización de Limnología

[REV 0]



**Preparado para:**

CODELCO DIVISIÓN SALVADOR



**Elaborado por:**



Minería y Medio Ambiente Ltda.

M. Sotero Sanz 100, Of. 505, Providencia, Santiago

Teléfono: (56-2) 2442188

e-mail: [jgalaz@myma.cl](mailto:jgalaz@myma.cl)

**Plan de Seguimiento Multiescalado de la  
 dinámica ecosistémica del Salar de Pedernales y  
 sus alrededores**  
**Caracterización Limnológica**

0	07/06/2024	Aprobación Cliente	ECN/LF	LR	MR	JMR	KG
B	30/07/2023	Revisión Cliente	ECN/BC	LW	MR		
A	25/07/2023	Revisión Interna	ECN/LF	LF	MR		
<b>REV</b>	<b>FECHA</b>	<b>EMITIDO PARA</b>	<b>POR</b>	<b>J. Proy.</b>	<b>Aprobó</b>	<b>J. Proy</b>	<b>Aprobó</b>
<b>REVISIONES</b>			<b>MYMA</b>			<b>CLIENTE</b>	
<b>CONSULTOR</b>			<b>N° Documento</b>			<b>REV.</b>	
			<b>CODIGO MYMA</b>  <b>MY-94-2022</b>			<b>0</b>	

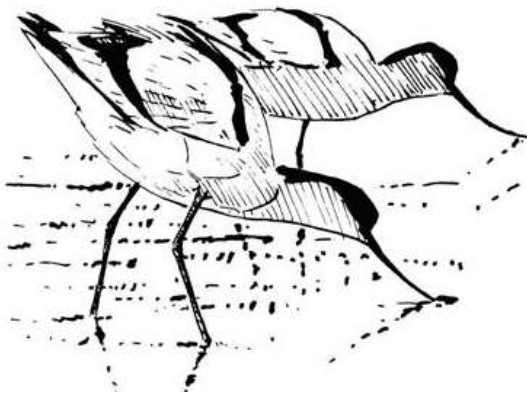
## INFORME

“Plan de Seguimiento Multiescalado de la dinámica ecosistémica del Salar de Pedernales y sus alrededores

Componente Limnológico

[Revisión 0]

Febrero 2024



Autores: Luis Figueroa Fábrega

Isabel Valdivia Rojas

Javiera Ávila

Cyndi Muñoz Moreno

Catalina Vásquez Herrera

Brayan Bravo Bustamante

Nicolas Bierwierth

James Pita

Shanice Galindo

Carolina Riffo Navarro

## ÍNDICE

Índice .....	3
Índice de Tablas .....	6
Índice de Figuras .....	8
1. Resumen .....	14
2. Introducción .....	15
2.1. Contexto del plan de monitoreo .....	15
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. Metodología .....	18
4.1. Características Generales del Área de estudio .....	18
4.2. Procedimiento asociado a la selección de metodologías .....	18
4.3. Toma de datos en terreno .....	18
4.3.1. Puntos de Muestreo .....	19
4.3.2. Caracterización general del hábitat.....	25
4.3.3. Calidad del Agua Superficial .....	27
4.3.3.1. Medición de parámetros in situ .....	27
4.3.4. Caracterización del Medio Biótico del Ecosistema Acuático.....	36
4.3.5. Índices de biodiversidad.....	42
4.3.6. Estado de Conservación .....	43
4.3.7. Protocolo de desinfección para <i>Didymosphenia geminata</i> .....	44
5. Resultados .....	45
5.1. Descripción General del Área de estudio.....	45
5.1.1. Sistema Hidrológico Cuenca de Salar de Pedernales .....	45
5.1.2. Otros Salares de menor envergadura fuera de la cuenca .....	53
5.2. Caracterización general del hábitat .....	56
5.3. Zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	58

---

5.3.1.	Caracterización de Quebradas que alimentan al sistema.....	60
5.3.2.	Calidad del Agua en la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	69
5.3.3.	Composición Química del Agua en la zona de Quebradas.....	76
5.3.4.	Sedimentos en la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	86
5.3.5.	Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de Quebradas.....	89
5.3.6.	Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	90
5.4.	Zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de orígenes naturales o artificiales 114	
5.4.1.	Caracterización de los bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	115
5.4.2.	Calidad del Agua en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales.....	118
5.4.3.	Composición Química del Agua en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales.....	126
5.4.4.	Sedimentos en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales.....	136
5.4.5.	Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales.....	139
5.4.6.	Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales.....	140
5.5.	Zona de Sistemas de Lagunas y Salares.....	159
5.5.1.	Caracterización de los Sistemas de Lagunas y Salares.....	161
5.5.2.	Calidad del Agua en la Sistemas de Lagunas y Salares.....	164
5.5.3.	Composición Química del Agua en la zona de Lagunas y Salares.....	171
5.5.4.	Sedimentos en la zona del Sistemas de Lagunas y Salares.....	181
5.5.5.	Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de Sistemas de Salares: Pedernales y Salares La Laguna y Piedra Parada.....	185
5.5.6.	Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de Sistemas de Salares: Pedernales y Salares La Laguna y Piedra Parada.....	185
5.6.	Estado de Conservación de las Especies del componente Limnológico.....	219
5.7.	Análisis multivariados para identificar zonas con particularidades bióticas específicas,.....	219

---



6. Discusión.....	222
7. Conclusión .....	233
8. Bibliografía.....	236

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Fechas y objetivos de las campañas realizadas. ....	19
Tabla 4-2. Ubicación de Estaciones de Muestreo.....	19
Tabla 4-3. Ubicación de Estaciones de Muestreo para caudales. ....	23
Tabla 4-4. Características fisicoquímicas y presencia de vegetación esperadas en los hábitats de un sistema de salar y ambientes aledaños.....	25
Tabla 4-5. Normas de terreno para la toma de muestras.....	28
Tabla 4-6. Características cualitativas observadas en terreno establecidas en la NCh. 1.333./78. ....	29
Tabla 4-7. Parámetros de calidad de agua considerados para los ecosistemas acuáticos. ....	31
Tabla 4-8. Parámetros analizados para la determinación de la calidad de los sedimentos.....	35
Tabla 5-1. Clasificación de los sectores señalados en el Avenimiento.....	57
Tabla 5-2. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	59
Tabla 5-3. Parámetros de calidad de agua por estación de muestreo en subsistema Quebradas que alimentan sistema. ....	77
Tabla 5-4. Valores puntuales de parámetros medidos en los sedimentos en la temporada 2023 para cada estación de muestreo.....	88
Tabla 5-5. Abundancia relativa de los taxa de fitoplancton (cel/ml) identificados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema .....	91
Tabla 5-6. Abundancia relativa y su respectiva desviación estándar de las taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	97
Tabla 5-7. Valores promedio de la composición de las comunidades del zooplancton e invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. Valores expresados en ind/ml.....	105
Tabla 5-8. Composición de las comunidades de la macrofauna representantes de la macrofauna invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. Valores expresados en ind/mm <sup>2</sup> .....	108
Tabla 5-9. Riqueza de especies de flora en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	112
Tabla 5-10. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	115
Tabla 5-11. Parámetros de calidad de agua evaluados en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales (*). ....	128
Tabla 5-12. Valores puntuales de parámetros medidos en los sedimentos para cada estación de muestreo. Los valores celestes representan muestras con valores en el límite de detección de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	138



---

Tabla 5-13. Abundancia relativa y su desviación estándar de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal .....	141
Tabla 5-14. Abundancia relativa promedio y su respectiva desviación estándar de los taxa de fitobentos (cel/ml) identificados de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en la temporada 2023. ...	146
Tabla 5-15. Composición y estructura de las comunidades del zooplancton e invertebrados de la columna de agua de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. Valores expresados en ind/ml. ....	151
Tabla 5-16. Composición y estructura de las comunidades del zoobentos de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. Valores expresados en ind/m <sup>2</sup> . ....	154
Tabla 5-17. Composición y estructura de las comunidades de la flora en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. ....	158
Tabla 5-18. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de sistemas de salares. ....	160
Tabla 5-19. Parámetros de calidad de agua evaluados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Lagunas y Salares. (*). ....	174
Tabla 5-20. Parámetros de calidad de agua evaluados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Lagunas y salares. (*). ....	183
Tabla 5-21. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en las estaciones de Salar de Pedernales Sur y Norte en la zona de Sistemas de Salares. ....	187
Tabla 5-22. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistema de Salares. ....	192
Tabla 5-23. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte, en la zona del Sistemas de Salares .....	197
Tabla 5-24. Abundancia relativa de las taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada.....	203
Tabla 5-25. Abundancia relativa promedio de los taxa de zooplancton (ind/ml) identificadas en las estaciones de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte, temporada 2023. ....	209
Tabla 5-26. Abundancia relativa de los taxa de zooplancton (ind/m <sup>3</sup> ) identificados en las estaciones de los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada. ....	211
Tabla 5-27. Abundancia relativa de los taxa de macroinvertebrados bentónicos (ind/m <sup>2</sup> ) identificados en las estaciones de los sectores Salar de Pedernales Sur y Norte.....	214
Tabla 5-28. Abundancia relativa de los taxa de macroinvertebrados bentónicos (ind/m <sup>2</sup> ) identificados en las estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada. ....	216

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Ubicación de las Estaciones de Muestreo en la cuenca Salar de Pedernales .....	22
Figura 4-2. Ubicación de las Estaciones de Muestreo de Caudal en la cuenca Salar de Pedernales .....	24
Figura 4-3. Tipos de Mesohábitats identificados en la cuenca de pedernales y sistemas aledaños.....	26
Figura 4-4. Imagen del tipo de sensor de temperatura (Sensor Marca HOBO, modelo U22-001) instalados en la zona de estudio.....	30
Figura 4-5. Imagen de técnicas de muestreo para el llenado de botellas para análisis de calidad de agua. ....	30
Figura 4-6. Instrumentos para la medición de Caudal .....	34
Figura 4-7. Imagen de técnicas de muestreo y equipamiento utilizado en la identificación de especies de Fitoplancton.....	36
Figura 4-8. Imagen de técnicas de muestreo utilizado en la identificación de especies del Fitobentos. ....	37
Figura 4-9. Imagen de técnicas de muestreo y equipamiento utilizado en la identificación de especies del zooplancton. ....	38
Figura 4-10. Métodos utilizados para la obtención de muestras para la identificación de especies del Macroinvertebrados Bentónicos. ....	39
Figura 4-11. Imagen del tipo de cuadrante de 1 m x 1 m utilizado en la identificación de especies del Flora Acuática. ....	41
Figura 5-1. Modelo Conceptual de la Cuenca de Salar de Pedernales. ....	49
Figura 5-2. Ecosistemas Acuáticos Continentales Presentes en el Área de Estudio. A) Imagen del Salar, B) Lagunas Someras en el sector suroeste y C) Lagunas profundas en el sector noreste. ....	51
Figura 5-3. Ubicación Salar la Laguna. ....	53
Figura 5-4. Ubicación de la cuenca del Salar Piedra Parada. ....	55
Figura 5-5. Ubicación cursos de agua vinculados a Quebradas.....	58
Figura 5-6. Estaciones sector Quebrada Las Vertientes. ....	61
Figura 5-7. Imagen general de las estaciones en el sector de Quebrada Río Negro .....	62
Figura 5-8. Fin del curso de agua en la Quebrada Pastos Largos. ....	63
Figura 5-9. Estaciones ubicadas en el sector Quebrada Pastos Largos. ....	64
Figura 5-10. Estaciones ubicadas en la Quebrada Tordillos .....	66
Figura 5-11. Estación sector Quebrada Las Tinajas. ....	67
Figura 5-12. Imagen general de las estaciones ubicadas en el sector Quebrada El Colorado. ....	68
Figura 5-13. Estación Quebrada Río La Ciénaga. ....	69
Figura 5-14. Variabilidad de los valores promedio de la Temperatura (°C) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo. ....	70
Figura 5-15. Análisis Espacial de los valores de temperatura registrados en las distintas estaciones de muestreo. (F = 27,9; p=0,000). ....	71

---

Figura 5-16. Variabilidad de los valores promedio de la pH en la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	72
Figura 5-17. Variabilidad de los valores promedio de la Oxígeno Disuelto (mg/L) Zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	73
Figura 5-18. Variabilidad de los valores promedio del Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) en la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	74
Figura 5-19. Variabilidad de los valores promedio de la Conductividad (°C) de la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	75
Figura 5-20. Análisis Espacial de los valores de temperatura registrados en las estaciones de muestreo de la Zona de Quebradas que alimentan el sistema. (F = 27,9; p=0,000). ....	75
Figura 5-21. Concentraciones de (A) aluminio, (B) arsénico, (C) bario, (D) boro, (E) cloruro, (F) cobre, (G) fluoruro, H) hierro y (I) manganeso por estación obtenidas de las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema .....	81
Figura 5-22. Concentraciones de A) litio; B) litio Crítico; C) molibdeno, D) plomo; E) sodio porcentual, F) sulfato, G) vanadio, H) zinc, I) solidos disueltos, por estación obtenidas de las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema .....	83
Figura 5-23. Concentraciones de A) litio ; B) litio crítico; C) molibdeno; D) plomo; E) sodio porcentual, F) sulfato, G) vanadio, H) zinc, I) solidos disueltos por estación obtenidas de las estaciones de Quebradas que alimentan el sistema. ....	85
Figura 5-24. Porcentaje de conformación de sedimentos según tipo de grano. ....	87
Figura 5-25. Caudal promedio y su respectiva desviación estándar para las localidades de las Quebradas de Pastos Largos, Las Vertientes y El Colorado en el verano 2023. ....	89
Figura 5-26. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en la zona de Quebradas. ....	93
Figura 5-27. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson para el Fitoplancton a nivel de transectas, en las distintas estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	94
Figura 5-28. Microalgas planctónicas más abundantes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	95
Figura 5-29. Composición y estructura de las comunidades del fitobentos en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	99
Figura 5-30. Índices de Biodiversidad para el Fitobentos en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	100
Figura 5-31 Microalgas bentónicas más abundantes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	101
Figura 5-32. Principales grupos representantes del zooplancton presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. ....	104

---

---

Figura 5-33. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton e invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. ....	106
Figura 5-34. Principales grupos representantes de la macrofauna invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	107
Figura 5-35. Composición y estructura de las comunidades de la macrofauna presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.....	109
Figura 5-36. Principales grupos vegetacionales observados presentes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. ....	110
Figura 5-37. Vista general de las estaciones en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. donde no existió un curso de agua definido. ....	111
Figura 5-38. Ubicación cursos de agua vinculados a zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	114
Figura 5-39. Imagen general de la Quebrada Leoncito .....	116
Figura 5-40. Imagen general de la Quebrada de Río la Ola .....	117
Figura 5-41. Temperatura (°C) en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	118
Figura 5-42. Análisis espacial de los valores de temperatura registrados en de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. (F = 308,54; p=0,000).....	119
Figura 5-43. Variabilidad de los valores promedio de la pH de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	120
Figura 5-44. Variabilidad de los valores promedio del pH entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal (F=137,99; p=0,000). ....	120
Figura 5-45. Variabilidad de los valores promedio de la Oxígeno Disuelto (mg/L) de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal .....	121
Figura 5-46. Variabilidad de los valores promedio del Oxígeno Disuelto entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal: (27,75; p=0,009). ....	122
Figura 5-47. Variabilidad de los valores promedio del Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal .....	123
Figura 5-48. Variabilidad de los valores promedio del porcentaje de saturación entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal: (359,91; p=0,000) .....	123
Figura 5-49. Promedio de la Conductividad (mS/cm) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	124
Figura 5-50. Análisis Espacial de los valores de Conductividad registrados en las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. (F = 162,072, p=0,000).....	125
Figura 5-51. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) aluminio ; B) arsénico; C) bario, D) boro; E) cloruro, F) cobre, G) fluoruro, H) hierro, I) manganeso. ....	130

---

---

Figura 5-52. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) Litio; B) Litio Crítico; C) Molibdeno, D) Niquel; E) Plata, F) Plomo, G) Sodio Porcentual, H) Sulfato, I) Vanadio.....	133
Figura 5-53. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) Alcalinidad; B) Sólidos Sedimentables; C) Nitrato, D) Potasio; E) Calcio, F) Magnesio, G) Dureza.....	135
Figura 5-54. Porcentaje según tipo de grano de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ..	136
Figura 5-55. Caudal promedio y su respectiva desviación estándar para las distintas localidades con cuerpos de agua definidos de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	139
Figura 5-56. Composición y estructura de las comunidades de microalgas planctónicas de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	143
Figura 5-57. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson para el Fitoplancton de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.....	144
Figura 5-58. Microalgas planctónicas registradas de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	144
Figura 5-59. Composición y estructura de las comunidades de microalgas bentónicas en la de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal .....	148
Figura 5-60. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	149
Figura 5-61 Microalgas bentónicas registradas en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.	149
Figura 5-62. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton e invertebrados de la columna de agua en de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. ....	152
Figura 5-63. Composición y estructura de las comunidades del zooplancton e invertebrados de la columna de agua de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. ....	153
Figura 5-64. Composición y estructura de las comunidades de zoobentos y de invertebrados de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. ....	155
Figura 5-65. Imagen general de representantes de la clase Clitellata del género <i>Naididae sp.</i> presentes en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. ....	155
Figura 5-66. Coberturas de las especies presentes en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.....	156
Figura 5-67. Principales especies identificadas en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.....	157
Figura 5-68. Ubicación cursos de agua vinculados la zona de Sistemas de Lagunas y Salares. ....	159
Figura 5-69. Imagen general de la zona Salar Pedernales Sur (A, B y C) y Salar de Pedernales Norte (D, E y F). ....	161
Figura 5-70. Imagen general del Salar Piedra Parada.....	162
Figura 5-71. Imagen general del Salar La Laguna. ....	163

---

---

Figura 5-72. Temperatura (°C) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo Sistemas de Salares.....	164
Figura 5-73. Análisis espacial de los valores de temperatura registrados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. (F = 32,54; p=0,000), .....	165
Figura 5-74. Variabilidad de los valores promedio de la pH en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ....	166
Figura 5-75. Variabilidad de los valores promedio del pH en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares (F=1,88; p=0,0736). ....	166
Figura 5-76. Oxígeno Disuelto (mg/L) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ....	167
Figura 5-77. Variabilidad de los valores promedio del Oxígeno Disuelto en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.: (27,75; p=0,009). ....	168
Figura 5-78. Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ....	169
Figura 5-79. Variabilidad de los valores promedio del porcentaje de saturación entre las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. (4,11; p=0,0006). ....	169
Figura 5-80. Conductividad (mS/cm) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ....	170
Figura 5-81. Análisis Espacial de los valores de Conductividad registrados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. (F = 19,41, p=0,000). ....	171
Figura 5-82. Concentraciones de A) aluminio; B) arsénico; C) bario, D) Boro; E) cadmio; F) cloruro; G) cobre, H) fluoruro, I) hierro, por estación obtenidas en las estaciones de los Sistemas de Salares en verano 2023.....	175
Figura 5-83. Concentraciones de A) Manganeso, B) Litio; C) Litio Critico; D) Molibdeno, E) Plata, F) Plomo; G) Sodio Porcentual, H) Sulfato e I) Vanadio, por estación obtenidas en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares en verano 2023 .....	178
Figura 5-84. Concentraciones de A) alcalinidad; B) solidos sedimentables; C) nitrato; D) potasio; E) magnesio; F) calcio; y G) dureza por estación obtenidas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares en verano 2023.....	180
Figura 5-85. Porcentaje según tipo de grano. ....	182
Figura 5-86. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones Salar de Pedernales Sur y Norte zona del Sistema de Salares. ....	189
Figura 5-87. Índices de Diversidad de Shannon, Índice de Pielou e Índice de Simpson de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones de Salar de Pedernales Sur y Norte en la Zona de Salares Salar de la zona de Sistemas de Salares. ....	190
Figura 5-88. Microalgas planctónicas presentes en las estaciones de los sectores Salar de Pedernales Sur y Norte en la Zona de Salares Salar de la zona del Sistemas de Salares. ....	190

---

---

Figura 5-89. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones de los Salares de La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistemas de Salares. ....	194
Figura 5-90. Índices de Diversidad para el Fitoplancton en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistemas de Salares.....	195
A) Figura 5-91. Composición y estructura de la comunidad de microalgas bentónicas en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte. ....	200
Figura 5-92. Índices de Biodiversidad para el fitoplancton bentónico en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte. ....	201
Figura 5-93. Microalgas bentónicas presentes en las estaciones de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.....	201
Figura 5-94. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada. ....	205
Figura 5-95. Índices de Biodiversidad para el fitoplancton bentónico en los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada.....	206
Figura 5-96. Principales especies registradas en el análisis de las comunidades de zooplancton e invertebrados de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte. ....	208
Figura 5-97. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton, de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.....	210
Figura 5-98. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada, temporada 2023.....	212
Figura 5-99. Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (ind/m <sup>2</sup> ) en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte. ....	215
Figura 5-100, Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en las estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada. ....	217
Figura 5-101. Representantes de la especie <i>Ruppia sp.</i> en la zona.....	218
Figura 5-102. Dendrograma del análisis de similitud de Bray Curtis entre estaciones, en función de la fauna encontrada. ....	220
Figura 5-103. Escalamiento Multidimensional No Métrico entre estaciones, en función de la fauna encontrada. ....	221

## 1. RESUMEN

El presente plan de monitoreo, denominado “Plan de Seguimiento Multiescalado (PSME)” (en adelante el Plan), se desarrolló en la cuenca del Salar de Pedernales y sus alrededores en la Región de Atacama, Provincia de Chañaral, Comuna de Diego de Almagro. Esta cuenca tiene un sistema hidrológico de tipo endorreica y constituye el sistema hídrico más extenso de la Región de Atacama.

El objetivo del presente trabajo fue describir los componentes bióticos y abióticos que integran los Ecosistemas Acuáticos Continentales en la Cuenca Endorreica del Salar de Pedernales, incluyendo cuencas y subcuencas aledañas (ie. Salar Piedra Parada y Salar La Laguna). Para esto se obtuvo información *in situ* de diferentes parámetros fisicoquímicos de la columna de agua, además de muestras para determinar la calidad química de las aguas, así como de las comunidades que habitan la zona, tanto del Fitoplancton, fitobentos, zooplancton e invertebrados que habitan la columna de agua y de los invertebrados que habitan el bentos. Con dicha información se pudo diferenciar tres tipos de aguas, a saber; dulces, salobres y saladas, las cuales dependen de las características geológicas de sus cuencas, y de las vías evolutivas de sus sistemas. La cuenca en general presentó una dominancia vegetacional de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*. En aquellos lugares donde no existía agua, y los suelos no eran de características salinas, se detectó la presencia de la especie *Acaena magallanica*, lo que sugiere la transición desde un ambiente de tipo bofedal a otro de vegas. En cuanto a la calidad de las aguas, estas van disminuyendo en cuanto a su calidad y potencial uso para las comunidades, desde zonas altas en Ríos y Quebradas, cuya calidad de estas últimas responden a la presencia de vías carbonatadas y sulfatadas que producen las aguas de mejor calidad, hasta zonas bajas al centro del salar. Estas características se vinculan con la alta concentración de sales y minerales, y generan cambios de presencia y proliferación de ciertas especies, las cuales forman parte del sistema biótico el cual se caracteriza por un fuerte endemismo y una clara adaptación a la sobrevivencia a condiciones extremas y altamente fluctuantes en el tiempo. Además, se pudo determinar que existe un claro incremento de la riqueza de especies de diatomeas en la zona de salares en relación con las áreas de agua dulce, lo que sostiene los intrincados equilibrios bióticos del sistema. Se ha señalado la existencia de truchas en el sector del río La Ola, por lo que, el hecho de no registrar ictiofauna en el presente estudio no significa que no existan, sino que probablemente se necesita mayor tiempo para lograr el registro adecuado de ictiofauna en cuerpos de agua que se mantienen constantes en el tiempo. En conclusión, se puede señalar que este sistema presenta una fuerte conexión entre las distintas zonas prospectadas, donde la extracción del recurso hídrico podría poner en riesgo la biodiversidad de la cuenca en general. Se proponen para ser investigados a largo plazo los cambios vinculados en los regímenes pluviométricos originados, probablemente por el cambio climático, lo que origina activación de Quebradas con aluviones destructivos en algunas zonas.



## 2. INTRODUCCIÓN

El presente plan de monitoreo, denominado “Plan de Seguimiento Multiescalado (PSME)” (en adelante el Plan), se desarrolla en la Región de Atacama, Provincia de Chañaral, Comuna de Diego de Almagro. Este Plan fue elaborado en el marco del Avenimiento y Transacción alcanzado entre CODELCO y el Consejo de Defensa del Estado (CDE), tras la demanda de reparación por daño ambiental en el Salar de Pedernales. En este Avenimiento se acordaron una serie de medidas, entre las cuales se encuentran las medidas bióticas “Estudio de abundancia potencial de especies en el Salar de Pedernales” (EST-01) y “Estudio de seguimiento de dinámicas ecosistémicas del SVAHT” (Medida EST-02). De acuerdo con esto, y con el objeto de poder contar con información preliminar del Salar de Pedernales y sus sistemas aledaños, que permita desarrollar las medidas EST-01 y EST-02, CODELCO estableció la necesidad de realizar caracterizaciones ambientales previas a la ejecución de estas, de tal forma de poder contar con información de caracterización representativa de los SVAHT asociados al Salar de Pedernales y sus sistemas aledaños.

### 2.1. Contexto del plan de monitoreo

Con fecha 15 de julio de 2020, el Consejo de Defensa del Estado (CDE) interpuso una demanda de reparación por daño ambiental en contra de la Corporación Nacional del Cobre de Chile División Salvador (en adelante, CODELCO DSAL). La descripción de los hechos constitutivos de daño ambiental señala como antecedentes que, la extracción de aguas superficiales y subterráneas de forma permanente por parte de Codelco DSAL a partir del año 1983 en el sector norte de la subcuenca del Salar Pedernales, acumuladas en el tranque La Ola, “ha tenido consecuencias de gran magnitud y relevancia para el componente hídrico, así como para los SVAHT y ecosistemas dependientes de éste; en efecto, las extracciones prolongadas por parte de CODELCO DSAL han producido el descenso sostenido de niveles en pozos ubicados entre el campo de bombeo y el Salar y el desarrollo de un cono de depresión que se extiende aproximadamente 5 kilómetros hacia el norte desde el campo de pozos de bombeo”. La acción dañosa recién mencionada, según lo señalado por el CDE, ha causado una serie de pérdidas, detrimentos o menoscabos significativos para el medio ambiente y sus componentes, tales como el componente hídrico (acuífero), los ecosistemas acuáticos continentales del Salar de Pedernales, y los SVAHT presentes en el mismo; además, señala, se provocó la pérdida de diversos servicios ecosistémicos como el hábitat y soporte de fauna, afectando íntegramente las relaciones ecosistémicas presentes. Sin perjuicio de lo anterior, el CDE establece que, para la presente demanda, el período considerado de realización de daño ambiental va desde la entrada en vigor de la Ley N°19.300, publicada el 9 de marzo de 1994, hasta junio de 2017.

En diciembre de 2022, se alcanzó un Avenimiento y Transacción entre las partes, donde CODELCO y el CDE acordaron una serie de medidas, entre las cuales se incluyen las asociadas a los SVAHT (Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres), correspondientes a sistemas de alta relevancia para diversidad biológica. Dentro de estas medidas, y particularmente en lo que respecta a los aspectos bióticos de los SVAHT, se encuentra el “Estudio de abundancia potencial de especies en el Salar de Pedernales” (EST-01) y el “Estudio de seguimiento de dinámicas ecosistémicas del SVAHT” (Medida EST-02) y en el caso de este componente la medida “Plan de Reparación Ex-Situ”(RC-01), que buscan aportar al conocimiento ecosistémico de estos sistemas altoandinos, así como detectar de manera temprana variaciones en la cobertura vegetal y funcionamiento de los SVAHT, de tal forma de disminuir el riesgo de potencial es pérdidas irreversibles en estos sistemas.

Para poder desarrollar las medidas antes indicadas, CODELCO considera que es esencial primero contar con información de caracterización representativa de los SVAHT asociados al Salar de Pedernales y sus sistemas aledaños, de manera previa a la ejecución de las medidas EST-01 y EST-02.

Por lo anterior, CODELCO llevó a cabo un Plan de Seguimiento de dinámicas ecosistémicas del área activa del SVAHT del Salar de Pedernales, de SVAHT ubicados en cuencas cercanas (Salar Piedra Parada y Salar La Laguna), en la Quebrada Leoncito, Quebrada Asiento, en Quebradas aledañas de agua dulce, así como en la cabecera sur río La Ola.

De acuerdo con todo lo antes señalado, en el presente documento se presenta la caracterización de los Sistemas límnicos en la cuenca del Salar de Pedernales y sus cuencas aledañas, describiendo la calidad de las aguas, sedimentos, metales, temperatura, caudal y medio biótico, identificando las especies en categoría de conservación. Para el desarrollo de las actividades de caracterización indicadas, fue utilizado como documento marco la “Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile” (FIPA 2016-46).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

El objetivo general es describir los componentes bióticos y abióticos presentes en Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) del Salar de Pedernales, así como aquellos ubicados en cuencas cercanas (Salar Piedra Parada y Salar La Laguna), en la Quebrada Leoncito, Quebrada Asiento y en los sectores que forman parte de la Medida RC-01 del Avenimiento, correspondientes a las Quebradas aledañas de agua dulce y la cabecera sur río La Ola.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características de hábitat en los Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres del Salar de Pedernales y zonas aledañas.
- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del agua y los sedimentos en los cursos y cuerpos de aguas en los Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres del Salar de Pedernales y zonas aledañas.
- Describir la biota acuática de los Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres del Salar de Pedernales y zonas aledañas, considerando componentes bentónicos (fitobentos y zoobentos) y planctónicos (fitoplancton y zooplancton), fauna íctica y flora acuática.
- Determinar el listado de especies en categoría de conservación de acuerdo con los instrumentos legales vigentes, describiendo su distribución en los Ecosistemas Acuáticos Continentales, dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres del Salar de Pedernales y zonas aledañas.
- Identificar, delimitar y caracterizar sitios de importancia ecológica para la biota acuática dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres del Salar de Pedernales y zonas aledañas.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Características Generales del Área de estudio

Para desarrollar una correcta interpretación de los resultados se realizó un análisis de la bibliografía existente de la zona, con la finalidad de lograr una caracterización del sistema hidrológico. Para esto se analizó la información contenida en revistas de investigación científica, tanto nacionales como internacionales, así como análisis técnicos de organismos del Estado o estudios realizados dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

### 4.2. Procedimiento asociado a la selección de metodologías

A nivel nacional, actualmente no existe una guía específica del Ministerio del Medio Ambiente o del Servicio de Evaluación Ambiental que detalle las técnicas y métodos de muestreo para ambientes dulceacuícolas. Sin embargo, como resultado del Proyecto del Fondo de Investigación Pesquera (FIPA 2016-46), se ha propuesto una metodología en el documento titulado "Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile". Aunque este documento especifica los diversos componentes que deben evaluarse en un sistema dulceacuícola, se han utilizado como complemento los protocolos establecidos en la "Guía para la Evaluación del Estado de Aguas Superficiales y Subterráneas" del Estado Español.

### 4.3. Toma de datos en terreno

El levantamiento de información en terreno consistió en la ejecución de tres (3) campañas de muestreo, durante las estaciones de verano y otoño de 2023.

La primera campaña se realizó entre el 12 y al 18 de febrero 2023, la cual consistió en el levantamiento de información de parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua, plantas acuáticas, fitobentos, zoobentos, zooplancton, ictiofauna y caudal. Esta campaña tuvo que ser abruptamente finalizada producto de las fuertes lluvias, y la consecuente activación de Quebradas, que afectaron el área de estudio el sábado 18 de febrero de 2023, por lo que solo se logró monitorear 24 de las 35 estaciones de muestreo consideradas en la campaña.

Una vez que se determinó, tanto la seguridad del acceso a las estaciones restantes, así como la estabilidad de los cursos de agua, se realizó la segunda campaña. Esta fue ejecutada entre los días 2 al 6 de abril de 2023, la cual fue interferida por fallas de tipo operacional, volviendo a ser retomado entre el jueves 20 y viernes 21 de abril de 2023, lográndose el acceso del 100% de las estaciones proyectadas (EM: 35 estaciones).

El resumen de las fechas objetivos y actividades de estas se presentan en la Tabla 4-1, mientras que en la Tabla 4-2 y Figura 4-1 se presenta la ubicación geográfica de cada una de las estaciones muestreadas.

**Tabla 4-1. Fechas y objetivos de las campañas realizadas.**

N° de campaña	Fecha	Actividades realizadas
1	12 al 18 de febrero de 2023	Muestreo parámetros fisicoquímicos in situ del área, así como componentes bióticos como fitoplancton, zooplancton, fitobentos, zoobentos (macroinvertebrados), además de flora acuática e ictiofauna, donde se muestrearon 24 de las 35 estaciones consideradas por este estudio. Además, se tomaron muestras de agua y sedimento para análisis químico.
2	2 al 6 de abril de 2023	Muestreo parámetros fisicoquímicos in situ del área, así como componentes bióticos como fitoplancton, zooplancton, fitobentos, zoobentos (macroinvertebrados), además de flora acuática e ictiofauna. Obtención de muestras de agua en 6 estaciones de las 11 estaciones faltantes, remuestreando las estaciones del salar sector suroeste debido a la ruptura de los frascos en transporte durante la primera campaña.
3	20 al 21 de abril de 2023	Muestreo parámetros fisicoquímicos in situ del área, así como componentes bióticos como fitoplancton, zooplancton, fitobentos, zoobentos (macroinvertebrados), en 6 de las estaciones restantes en el salar sector noreste y se repitió una estación de Quebrada el Colorado, por pérdida de la muestra durante el transporte en la campaña anterior.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1. Puntos de Muestreo

A continuación, en la Tabla 4-2 se muestra la ubicación de las estaciones y los parámetros de interés limnológico levantados en cada una de ellas.

**Tabla 4-2. Ubicación de Estaciones de Muestreo.**

Punto	Sector	Coordenadas UTM 19 J		Parámetros Muestreados
		Este (m)	Norte (m)	
L1	Salar Pedernales S-O	476210	7089957	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb
L2	Salar Pedernales S-O	477181	7088184	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb
L3	Salar Pedernales S-O	477695	7087436	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb

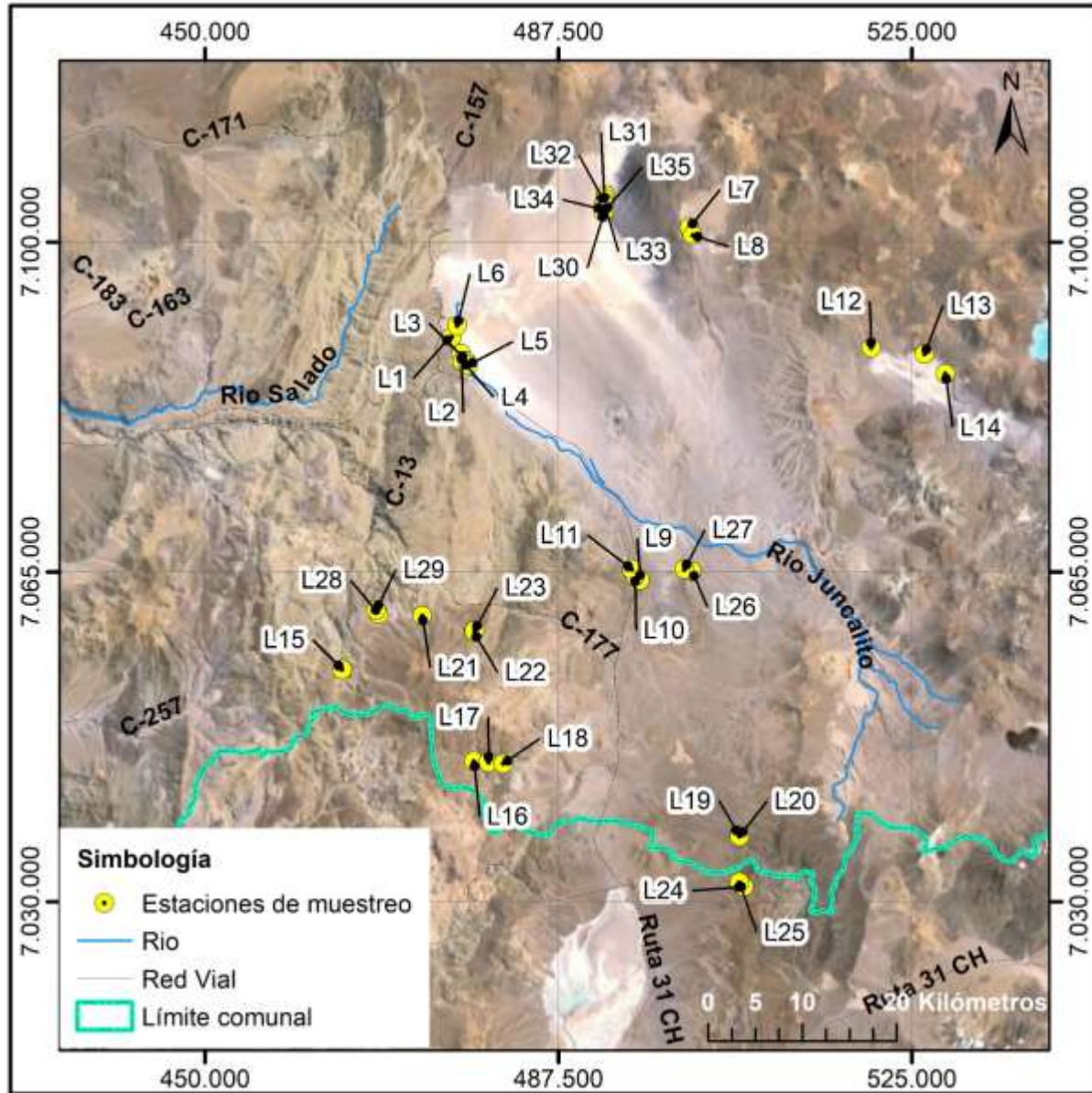
Punto	Sector	Coordenadas UTM 19 J		Parámetros Muestreados
		Este (m)	Norte (m)	
L4	Salar Pedernales S-O	477332	7087376	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L5	Salar Pedernales S-O	477927	7086932	-
L6	Salar Pedernales S-O	476787	7091156	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L7	Salar la Laguna	501415	7101559	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L8	Salar la Laguna	501788	7100731	-
L9	Río La Ola	496196	7064162	-
L10	Río La Ola	495662	7064570	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L11	Río La Ola	495317	7065301	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L12	Salar Piedra Parada	520703	7088794	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L13	Salar Piedra Parada	526373	7088125	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L14	Salar Piedra Parada	528571	7086039	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L15	La Ciénaga	464571	7054682	-
L16	Pastos Largos	478568	7044922	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L17	Pastos Largos	480101	7044803	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L18	Pastos Largos	481667	7044660	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L19	Río Negro	506647	7037111	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L20	Río Negro	506719	7036976	IS
L21	Quebrada Tinajas	473054	7060378	-
L22	Los Tordillos	478520	7058591	IS
L23	Los Tordillos	478618	7058804	IS
L24	Las Vertientes	507186	7031621	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L25	Las Vertientes	506709	7032092	IS--Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L26	El Leoncito	501691	7065097	-
L27	El Leoncito	500873	7065290	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L28	El Colorado	468451	7060538	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L29	El Colorado	468188	7060967	-

Punto	Sector	Coordenadas UTM 19 J		Parámetros Muestreados
		Este (m)	Norte (m)	
L30	Salar Pedernales N-E	492549	7104974	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L31	Salar Pedernales N-E	492482	7104610	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L32	Salar Pedernales N-E	492428	7104177	IS-Fa-Ic
L33	Salar Pedernales N-E	492379	7104030	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L34	Salar Pedernales N-E	492295	7103461	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic
L35	Salar Pedernales N-E	492341	7103188	IS-CA-Sed-Fitp-Fitb-Zp-Zb-Fa-Ic

IS = In Situ; CA = Calidad de Agua; Sed = Calidad de Sedimentos; Fitp = Fitoplancton; Zp = Zooplancton; Fitb = fitobentos, Zp = Zooplancton e invertebrados de la columna de agua y Zb = Zoobentos (macroinvertebrados); Fa = flora acuática; Ic = ictiofauna; -= sin información.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-1. Ubicación de las Estaciones de Muestreo en la cuenca Salar de Pedernales



Fuente: Elaboración propia.



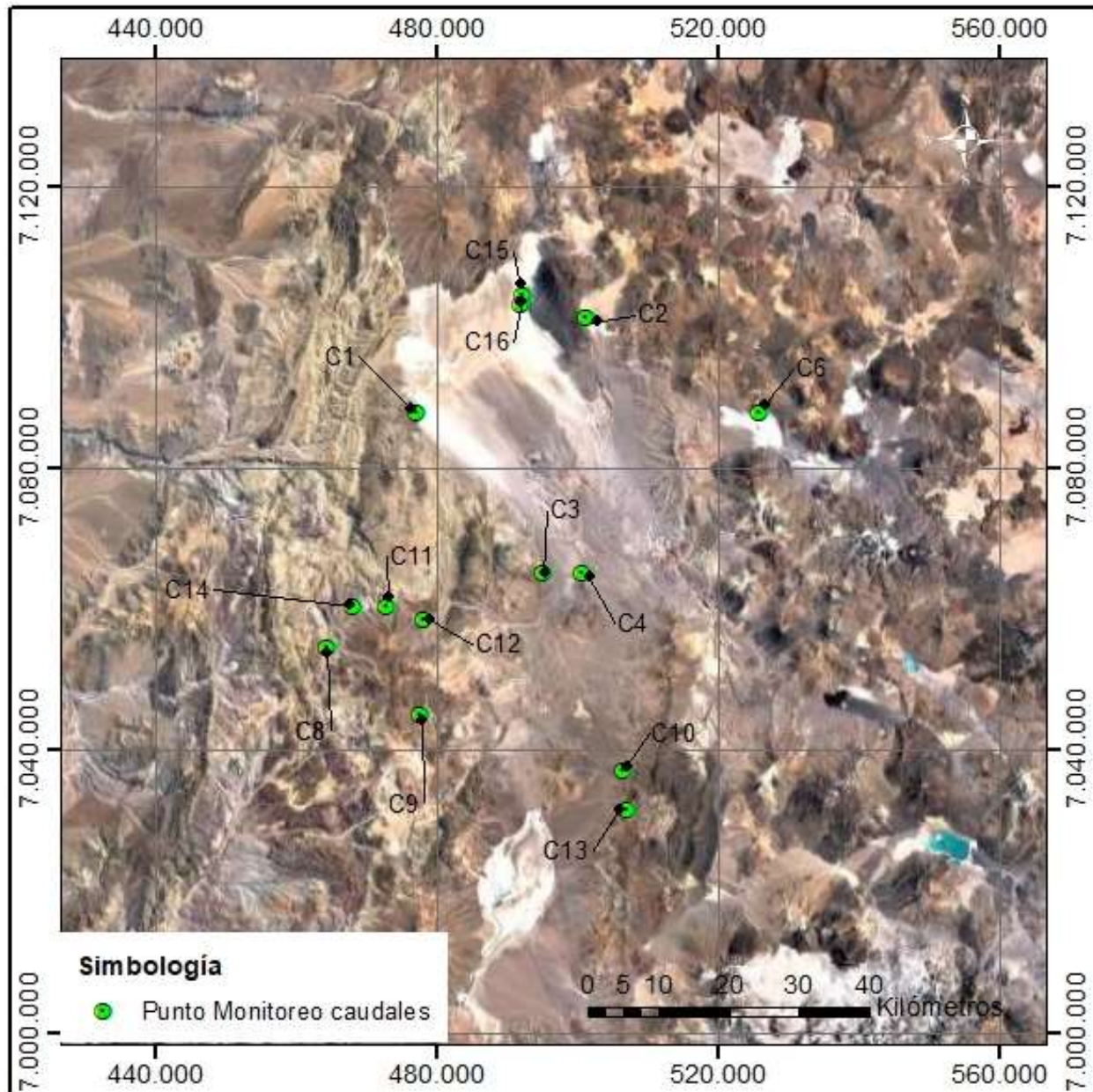
El caudal fue medido en 16 estaciones adicionales a los puntos de muestreo, las que se ubicaron en puntos que reunían las condiciones óptimas para medir este parámetro de acuerdo con el nivel de flujo de agua pasante por cada una de ellas. El detalle de las estaciones de muestreo se presenta en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3. Ubicación de Estaciones de Muestreo para caudales.**

Punto	Sector	Coordenadas UTM 19j	
		Este (m)	Norte (m)
C1	Salar de Pedernales SO	477378.79	7088124.77
C2	Salar la Laguna	501431.94	7101565.32
C3	Río La Ola	495309.47	7065312.58
C4	El Leoncito	500873.35	7065289.41
C5	Salar Piedra Parada	520604.67	7088801.87
C6	Salar Piedra Parada	526110.73	7088042.49
C7	Salar Piedra Parada	528594.54	7086003.11
C8	La Ciénaga	464570.51	7054681.70
C9	Pastos Largos	478028.47	7045043.15
C10	Río Negro	506646.62	7037111.91
C11	Quebrada Tinajas	473054.26	7060378.65
C12	Tordillos	478519.48	7058591.12
C13	Las Vertientes	507185.23	7031621.79
C14	El Colorado	468462.33	7060490.23
C15	Salar de Pedernales NE	492483.81	7104712.11
C16	Salar de Pedernales NE	492309.80	7103244.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2. Ubicación de las Estaciones de Muestreo de Caudal en la cuenca Salar de Pedernales



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2. Caracterización general del hábitat

En cada una de las estaciones se evaluó el tipo de meso hábitat característico de la estación, el cual es un tipo de hábitat que presenta un moderado o bien equilibrado suministro de humedad está definido en función del grado de humedad (Ratajczak et al. 2014). Para esto se consideraron las definiciones existentes de las características generales de los sistemas de salares, según CEA (2019), las que se resumen en la Tabla 4-4 y Figura 4-3:

- Mesohábitat 1 - Vega: Aguas de baja velocidad, con abundante materia orgánica. Profundidad frecuente, 0,5 m. sustrato fangoso, caracterizado por la presencia de plantas acuáticas y vegetación riberena.
- Mesohábitat 2 - Borde del canal: Profundidad frecuente < 0,3 m. Sustrato fangoso.
- Mesohábitat 3 - Centro del canal: Aguas de flujo laminar, de poca transparencia y profundidad frecuente de 0,5 m.
- Mesohábitat 4 - Borde laguna: Profundidad frecuente < 0,5 m. Sustrato fangoso.
- Mesohábitat 5 - Centro laguna: Aguas de flujo laminar, de y profundidad frecuente de 1 m.
- Mesohábitat 6 - Bofedal: Sectores en los que hay niveles de humedad permanente en el suelo, en torno a cursos de aguas corrientes o lagunas con renovación de aguas, presencia de vegetación en cojín, rizomatosa o cespitosa.

**Tabla 4-4. Características fisicoquímicas y presencia de vegetación esperadas en los hábitats de un sistema de salar y ambientes aledaños.**

Vegas y Bofedales	Canal	Laguna
Menor temperatura	Temperatura media	Mayor temperatura
Mayor concentración de oxígeno disuelto	Concentración de oxígeno disuelto en condición media.	Menor concentración de oxígeno disuelto.
Sedimento fino	Sedimento fino	Sedimento fino y costra de sal.
Con vegetación acuática	Sin vegetación	Sin vegetación
Menor Salinidad	Salinidad media	Mayor salinidad

Fuente: Modificado de CEA (2019).

Figura 4-3. Tipos de Mesohábitats identificados en la cuenca de pedernales y sistemas aledaños.



A) Mesohábitat 1 Vegas, B) Mesohábitat 2 borde de canal, C) Mesohábitat 3 centro de canal, D) Mesohábitat 4 borde de laguna, E) Mesohábitat 5 centro de laguna, F) Mesohábitat 6 bofedal.

Fuente: Registro campaña en terreno.

Para cada uno de los puntos de muestreo se consideró la caracterización cualitativa y cuantitativa del ambiente acuático. De esta manera, en cada estación de monitoreo se seleccionó un tramo representativo del sitio, en el cual se analizaron las características físicas, considerando para ello variables como velocidad de corriente, tipo y uso de cauce, ancho de cauce, tipo de sustrato, entre otros.

A continuación, se presentan los alcances para cada una de estas variables:

- Sustrato: la cuantificación y clasificación de los tipos de sustratos se realizó de acuerdo con la clase de tamaños según la metodología descrita por Bain et al. (1985) desarrollada para estudios de hábitat en organismos acuáticos.
- Profundidad media (m): se obtuvo del promedio de una serie de mediciones realizadas a lo largo de un perfil transversal a través del canal. Dichas mediciones se realizaron utilizando una barra graduada en centímetros.
- Ancho de sección (m): se obtuvo mediante una cinta métrica.

#### **4.3.3. Calidad del Agua Superficial**

En cada punto de muestreo, se recopiló información *in situ* y se colectó una muestra de agua para determinar su calidad física y química respecto de los parámetros de la norma NCh 1.333 Of.78, especialmente en relación con los requisitos y umbrales para Vida Acuática definidos en la norma.

##### **4.3.3.1. Medición de parámetros *in situ***

Para cada estación de muestreo se describieron las condiciones básicas del hábitat acuático, para lo cual se extendió un transecto de 50 metros y se midieron los parámetros a 0, 25 y 50 m. Se registraron los siguientes parámetros abióticos, según observaciones cualitativas realizadas por los profesionales en terreno y mediciones *in situ* utilizando equipos multiparamétrico-digitales de los siguientes parámetros:

- Temperatura (Celsius, WTW Multi 3320).
- pH del agua (Hanna HI 98129).
- pH del sedimento (WTW multi 3320 con sensor pH electrode Sentix41-3).
- Oxígeno disuelto (mg/L y % de saturación, Hanna HI 98193).
- Conductividad eléctrica (mS/cm, WTW multi 3320 con sensor TetraCon 325).
- Contaminación del agua aparente (observación directa).
- Contaminación de fondo aparente (observación directa).

En todos los casos, previamente a la medición, se procedió a la correcta calibración del equipo y electrodos a utilizar; de acuerdo con lo que indica el sistema de aseguramiento de la calidad NCh., 17.025 Of. 2005.

Los puntos de muestreo fueron georreferenciados y señalados en cartografía a escala adecuada. Se realizó un registro fotográfico de los puntos de muestreo, detallando bajo cada fotografía las coordenadas UTM (Datum y Huso) y la ubicación referencial.

Las muestras de agua fueron tomadas por el personal del laboratorio según procedimientos de la Norma Chilena, especificados en el Manual de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 4-5, mientras que en la Tabla 4-6, se presentan los parámetros cualitativos adicionales registrados en terreno.

**Tabla 4-5. Normas de terreno para la toma de muestras.**

Norma	Título
NCh 411/2. Of.96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh 411/3. Of.96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras
NCh 411/6. Of.98	Calidad del agua – Muestreo – Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-6. Características cualitativas observadas en terreno establecidas en la NCh. 1.333./78.**

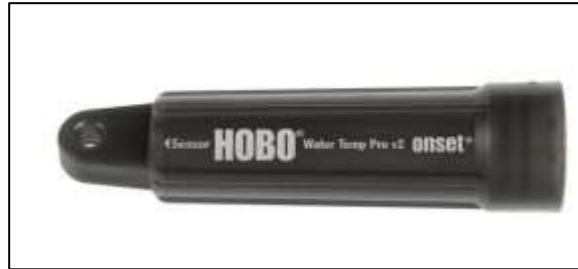
Características cualitativas	Uso	Requisitos NCh. 1.333/78
Desechos flotantes, aceites, espuma y otros sólidos	Estético	Ausentes
Materias que sedimenten formando depósitos objetables	Estético	Ausentes
Sólidos flotantes y espumas no naturales	Recreación con contacto directo	Ausentes
Sustancias y/o condiciones que produzcan vida acuática indeseable	Estético	Ausentes
Sustancias que produzcan color, olor, sabor o Turbiedad indeseable	Estético y Recreativo	Ausentes
Sustancias tóxicas	Estético	Ausentes

Fuente: Norma Chilena 1333/78. requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos.

**(a). Instalación de equipos de registro continuo de temperatura**

Se instalaron tres termógrafos digitales (HOBO U22, Onset) (Figura 4-4), uno en la estación L1 del canal del Salar de Pedernales (ie. 476154.00 m E; 7090008.00 m N), otro en la tranque la Ola (493481.87 m E; 7073233.21 m N) y un tercero en Quebrada Leoncito (500766.98 m E; 7065379.54 m N), con la finalidad de registrar la variabilidad térmica del agua superficial en dichas estaciones. Estos equipos fueron instalados a nivel superficial, a aproximadamente 10 cm de profundidad, alojados en pilares de metal que aseguraron la continuidad de los equipos independiente de las condiciones ambientales imperantes. La frecuencia de recogida de datos de los termógrafos se fijó en 60 min, lo que permite el registro continuo y el almacenamiento de datos durante 24 horas. Análisis de series de tiempo se realizaron con la finalidad de detectar patrones locales de las variables ambientales analizadas. Una serie de tiempo  $\{Y_t\}_{t=1}^N$  es una colección de observaciones indexadas por el tiempo  $t$ . Este análisis se realizó en una escala temporal diaria, cuyo análisis fue de carácter descriptivo.

**Figura 4-4. Imagen del tipo de sensor de temperatura (Sensor Marca HOBO, modelo U22-001) instalados en la zona de estudio.**



Fuente: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20l-0x>.

**(b). Colección, preservación, transporte y análisis de muestras de agua**

Las muestras de agua para análisis químico fueron tomadas directamente desde el curso de agua, y se almacenaron en frío (4,0 °C) en cajas aislantes con ice-packs, para ser transportadas al laboratorio certificado Hidrolab en Santiago, el cual se encuentra bajo las Acreditaciones INN LE 214, 215, 1273, 1431 y 1432 (Figura 4-5).

**Figura 4-5. Imagen de técnicas de muestreo para el llenado de botellas para análisis de calidad de agua.**



Fuente: Registro campaña terreno.

Los tiempos de preservación de las muestras se encuentran definidas en la Norma NCh. 411/3 Of. 96 (Parte 3), y en base al manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (AWWA, 2012).

Los parámetros considerados en el muestreo de agua fueron aquellos considerados en la NCh 1.333 Of78/1987: Requisitos de calidad de agua para diferentes usos: riego, vida acuática y recreación. En



terreno se midieron, además, parámetros *in situ*, algunos de los cuales corresponden a observaciones visuales que son parte de la NCh 1.333. Los parámetros en análisis se detallan en la Tabla 4-7.

**Tabla 4-7. Parámetros de calidad de agua considerados para los ecosistemas acuáticos.**

Parámetro	Matriz	Metodología de análisis
<b>Tabla 1</b>		
Aluminio	Agua Superficial	SM 23th/3111 D
Arsénico	Agua Superficial	SM 23th/3114 AB
Bario	Agua Superficial	SM 23th/3111 D
Berilio	Agua Superficial	SM 23th/3111 D
Boro	Agua Superficial	SM 23th/4500-B C
Cadmio	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Cianuro	Agua Superficial	SM 22th/4500-CN-F
Cloruro	Agua Superficial	SM 23th/4500 Cl-B
Cobalto	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Cobre	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Cromo total	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Fluoruro	Agua Superficial	SM 23th/4500 F-C
Hierro	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Litio	Agua Superficial	SM 23th/3120 B
Litio cítrico	Agua Superficial	SM 23th/3120 B
Manganeso	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Mercurio	Agua Superficial	SM 23th/3112 B
Molibdeno	Agua Superficial	SM 23th/3111 D
Níquel	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Plata	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Plomo	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
RAS	Agua Superficial	NCh 1333.Of78
Selenio	Agua Superficial	SM 23th/3114 B

Parámetro	Matriz	Metodología de análisis
Sodio porcentual	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
Sulfato	Agua Superficial	SM 22h/ 4500 SO4
Vanadio	Agua Superficial	SM 23th/3111 D
Zinc	Agua Superficial	SM 23th/3111 B
<b>Tabla 2</b>		
Conductividad (25°C)	Agua Superficial	SM 23th/2510 B
Sólidos Disueltos Totales	Agua Superficial	Manual SISS ME-31-2007
<b>Tabla 3</b>		
Aceites y grasas	Agua Superficial	SM 23th/5520 B y D
Color aparente	Agua Superficial	Manual SISS ME-24-2007
Turbiedad*	Agua Superficial	Manual SISS ME-03-2007
Coliformes fecales	Agua Superficial	SM 23th/9221 B
Olor	Agua Superficial	Manual SISS ME-25-2013
<b>Tabla 4</b>		
Alcalinidad total	Agua Superficial	SM 23th/2320 B
Turbiedad*	Agua Superficial	Manual SISS ME-03-200
Color aparente	Agua Superficial	Manual SISS ME-24-2007
Sólidos flotantes y espumas	Agua Superficial	Visual
Sólidos sedimentables	Agua Superficial	NCh2313/04 Of.9
Hidrocarburos Fijos	Agua Superficial	SM 23th/5520 F
Hidrocarburos Totales	Agua Superficial	SM 23th/5520 F
Hidrocarburos Volátiles	Agua Superficial	SM 23th/5520 F

Fuente: Elaboración propia.

### (c). Caudal

Para este atributo ambiental de los cursos de agua superficiales, se midió el caudal mediante aforo, método que consiste en la definición del caudal (Q) a través de la determinación del volumen de agua que pasa por una sección de cauce en un determinado tiempo.

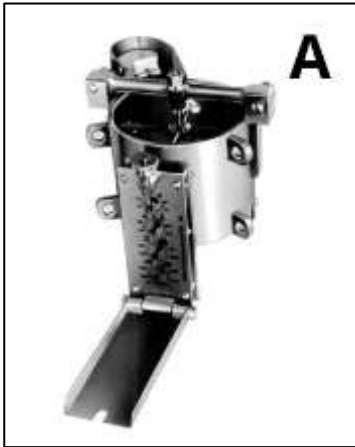
Se establecieron 16 estaciones para la medición del caudal, su ubicación se determinó en función del nivel de flujo pasante, siendo adicionales a los puntos de muestreo establecidos por el avenimiento. En cada una de estas estaciones se registraron los siguientes datos:

- Nombre de la estación de control.
- Coordenadas UTM (WGS 84 Huso 19 S).
- Fecha.
- Ancho total de la sección.
- Todas las distancias horizontales (medidas desde el margen inicial) y las profundidades totales en cada punto de medición.
- Velocidad registrada con el correntómetro.
- Cualquier indicación que se estime útil para el cálculo del aforo.

Para el desarrollo de este muestreo se utilizó un correntómetro mecánico marca Tsurumi-Seiki (TSK) (Figura 4-6), que contiene una carcasa cilíndrica, un impulsor de cuatro palas y cuatro diales de registro de décadas, que registran el número de rotaciones del impulsor. Este correntómetro fue posicionado en un determinado punto de observación dentro de la sección de aforo, a una altura determinada, lo que dependió de la profundidad de la columna de agua de la estación analizada, al igual que el número de mediciones que se realizaron tanto en la horizontal como en la vertical.

De esta manera, para secciones de poca profundidad (inferiores a 60 cm), se realizaron mediciones en la vertical y por punto, colocando el correntómetro a aproximadamente el 60% de la profundidad total por debajo de la superficie libre (medida desde la superficie), mientras que para el caso de profundidades superiores, se midió la velocidad a 20% de la profundidad total y luego a 80% de la profundidad desde la superficie libre.

Figura 4-6. Instrumentos para la medición de Caudal



A) Imagen referencial del flujómetro mecánico Tsurumi-Seiki (TSK), utilizado en las campañas de muestreo. B) Imagen de flujómetro instalado en una caída de agua en el sector Pastos Largos (C9).

Fuente: A) <https://tsurumi-seiki.co.jp/en/product/e-sku-26/>; B) Elaboración Propia.

Una vez obtenidas las mediciones, se utilizó el promedio de las dos medidas como la velocidad media en la vertical. Al ser un correntómetro análogo, se empleó el número de vueltas de la hélice, como entrada para el cálculo del caudal, ya que la velocidad de la corriente en la sección analizada es proporcional al número de vueltas que realiza la veleta del correntómetro mecánico.

Una vez determinada la velocidad, para establecer el caudal, se utilizó el método aritmético de la sección media. En este método se considera que la sección transversal está compuesta de un número de segmentos, cada uno de ellos limitados por dos verticales adyacentes cuando hay más de una medición.

Entonces el caudal ( $q$ ) del segmento será:

$$q = \left( V1 * \frac{V2}{2} \right) \left( d1 * \frac{d2}{2} \right) b$$

donde,

V1: promedio es la velocidad media en la primer vertical

V2: es el promedio de la velocidad media de la vertical adyacente

d1: representan las profundidades totales en la vertical 1

d2: representan las profundidades totales en la vertical 2

b: distancia horizontal entre las verticales,

En consecuencia, el caudal total se obtiene sumando el resultado de los caudales parciales.

$$Q = \sum_{i=0}^n q_n$$

**(d). Calidad de los Sedimentos**

La determinación de la calidad de los sedimentos se realizó mediante la recolección de una muestra por punto (35 muestras), en cada estación con agua al momento del muestreo. Las muestras fueron obtenidas mediante un core de PVC, procurando recolectar una muestra mínima de 500 ml. Las muestras se sellaron, rotularon, y fueron dispuestas en cajas térmicas asegurando la cadena de frío durante su traslado, y hasta su entrega en el Laboratorio Hidrolab, el cual se encuentra acreditado por el INN como laboratorio de ensayo según NCh-ISO 17.025.Of 2005 (LE1432). En la Tabla 4-8 se presentan los parámetros considerados para determinar la calidad de los sedimentos y su respectiva unidad de medida.

**Tabla 4-8. Parámetros analizados para la determinación de la calidad de los sedimentos.**

Parámetro	Unidad
Arsénico (mg/kg)	mg/Kg
Berilio (mg/kg)	mg/Kg
Cadmio (mg/kg)	mg/Kg
Cinc (mg/kg)	mg/Kg
Cobre (mg/kg)	mg/Kg
Cromo (mg/kg)	mg/Kg
Hierro (mg/kg)	mg/Kg
Hidrocarburos fijos (mg/kg)	mg/Kg
Hidrocarburos totales (mg/kg)	mg/Kg
Hidrocarburos volátiles (mg/kg)	mg/Kg
Materia orgánica total (%)	%
Mercurio (mg/kg)	mg/Kg
Plomo (mg/kg)	mg/Kg
Potencial óxido reducción	(mV) ( <i>in situ</i> )
Caracterización granulométrica	Escala Wentworth

Fuente: Elaboración propia.

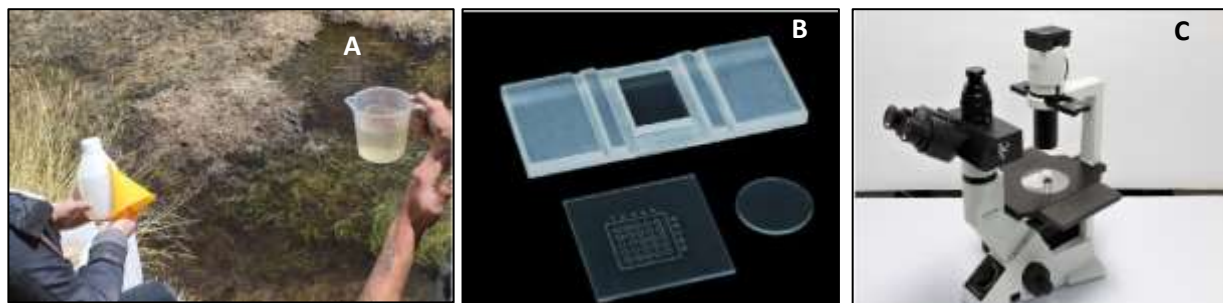
#### 4.3.4. Caracterización del Medio Biótico del Ecosistema Acuático

##### (a). Fitoplancton

Para evaluar cualitativa y cuantitativamente las microalgas que se encuentran en la columna de agua (fitoplancton), se obtuvo una muestra de 1.000 mL, en triplicado, desde la columna de agua en cada estación de muestreo. Dichas muestras fueron almacenadas en botellas plásticas y fijadas *in situ* con lugol, para su posterior traslado al laboratorio (Figura 4-7 A). El análisis considera la metodología de Utermöhl (Wetzel y Likens, 2000), utilizando un microscopio (Figura 4-7 C). Para el recuento, se utilizaron cámaras Hemocitométricas de Neubauer (Figura 4-7 B), dejando sedimentar por lo menos 2 horas por centímetro de altura, según las recomendaciones de Elozegi y Sabater (2009).

Para cada muestra se contaron los individuos hasta que la especie más abundante alcanzó los 100 individuos, o se llegase a 300 campos, lo que se cumpliera primero. Para la identificación taxonómica de los géneros, se utilizaron las descripciones de Biggs y Kilroy (2000), Cox (1996), Parra y Bicudo (1996) y Parra et al. (1982, 1983), Parra y Bicudo (1995), Bicudo y Menezes (2005), Round et al. (1990) y Sant'Anna et al. (2006).

**Figura 4-7. Imagen de técnicas de muestreo y equipamiento utilizado en la identificación de especies de Fitoplancton.**



A) toma de muestra de 1000 ml de agua de la columna de agua; B) Cámara Hemocitométricas de Neubauer y C) microscopio invertido modelo Olympus CKX42 inverted Phase Contrast Microscope.

Fuente: Elaboración propia.

##### (b). Fitobentos

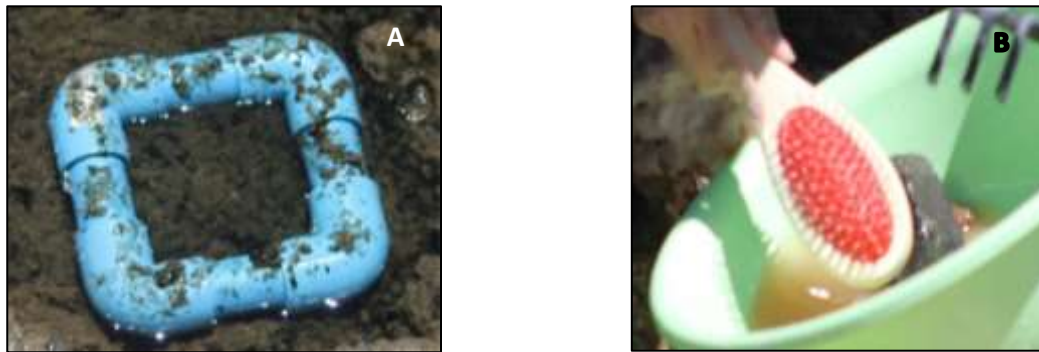
Para la determinación de la composición y abundancia de las microalgas bentónicas, se realizó la obtención de muestras en cada punto de muestreo en terreno, considerando tres réplicas aleatorias por punto. Para ello se utilizó un muestreador de 10 cm<sup>2</sup> de área de raspado en sitios con sustrato duro y rocoso. En aquellos casos donde el sustrato fue de características blandas, se obtuvo una muestra desde la superficie del sedimento, intentando capturar los 10 cm<sup>2</sup> de área a una profundidad de dos centímetros de la superficie, para luego ser guardadas en recipientes hermeticos y oscuros. Las muestras

fueron fijadas *in situ* con lugol y enviadas al laboratorio para su identificación taxonómica, y estimación de abundancia de cada taxón, mediante un microscopio invertido (Wetzel y Likens, 2000) (Figura 4-8).

Las muestras fueron analizadas utilizando un microscopio invertido. Para el recuento se utilizaron cámaras Hemocitometricas de Neubauer, dejando sedimentar por lo menos 2 horas por centímetro de altura según las recomendaciones de Elosegí y Sabater (2009).

Para cada muestra se contó los individuos hasta que la especie más abundante alcanzó los 100 individuos, o llegasen a 300 campos, lo que se cumpliera primero. Para la identificación taxonómica de los géneros se utilizaron las descripciones de Biggs y Kilroy (2000), Cox (1996), Parra y Bicudo (1996) y Parra et al. (1982-1983), Parra y Bicudo (1995), Bicudo y Menezes (2005), Round et al. (1990) y Sant'Anna et al. (2006).

**Figura 4-8. Imagen de técnicas de muestreo utilizado en la identificación de especies del Fitobentos.**



A) Técnica de muestreo en Sustrato Blando; B) Técnicas de muestreo en Sustrato Duro.

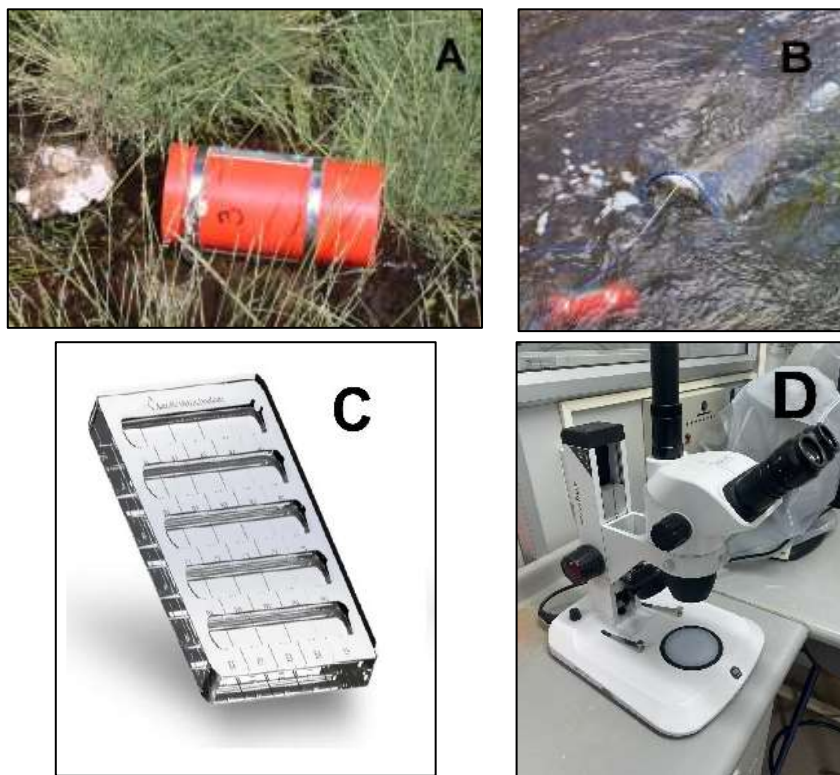
Fuente: Elaboración propia.

**(c). Zooplancton e invertebrados presentes en la columna de agua.**

Se obtuvieron muestras de zooplancton por triplicado en cada punto de muestreo. El muestreo se realizó mediante filtración de 20 litros de agua a través de un tamiz de 58  $\mu\text{m}$  de abertura de malla (Figura 4-9 B). En aquellos lugares donde la profundidad fue menos a 20 cm, se procedió a ubicar un copo con malla de 58  $\mu\text{m}$ , cuya abertura se ubico en direccion de la corriente durante 15 minutos, con la finalidad de atrapar el zooplancton que se encontraba en la columna de agua (Figura 4-9 A).

Las muestras fueron fijadas en formalina al 10% y fueron almacenadas y enviadas a laboratorio. La identificación taxonómica y estimación de abundancia de la totalidad de los taxa se realizó mediante una lupa estereoscópica por medio del conteo total de individuos en cámaras de recuento para zooplancton tipo Bogorov (Wetzel y Likens, 2000).

**Figura 4-9. Imagen de técnicas de muestreo y equipamiento utilizado en la identificación de especies del zooplancton.**



- A) Copo atrapa plancton 58 mm utilizada para lugares de baja profundidad < 20 cm; B) Red de Plancton modelo Lamotte; C) Cámara de conteo de Plancton modelo Bogorob; D) Lupa estereoscópica marca Olympus.

Fuente: Elaboración propia.



Para la identificación se utilizaron las descripciones de Araya y Zúñiga (1985), y Bayly (1992). Los resultados fueron expresados en número de individuos por metro cúbico ( $\text{ind}/\text{m}^3$ ). Cabe señalar que los insectos fueron eliminados del análisis, a pesar de aportar a la descripción del comportamiento del sistema.

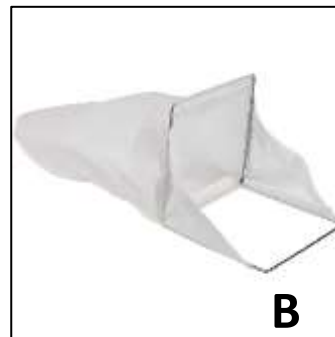
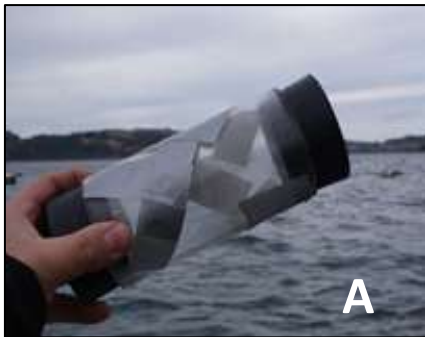
#### (d). Zoobentos o Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos fueron muestreados utilizando el método de core en lugares de fondos blandos, mientras que en ambientes de ritrales o sistemas de rodados y cantos, se procedió a muestrear mediante red de surber. En el primero de los métodos, se utilizó un core de 10 cm de diámetro interno, dentro de los primeros 10 cm de la columna de sedimento (Figura 4-10 A). Por su parte, el segundo método consistió en el uso de la red de Surber, la cual es una herramienta que cuenta con un área definida de 25x25 cm, que se apoya en el fondo del sistema hídrico a analizar (Figura 4-10 B). En uno de sus bordes se levanta un marco que contiene una red de 0,5 mm de haz de poro, el cual se ubica contra corriente para que pueda retener los organismos que son desprendidos de forma manual, dentro del marco de área conocida ubicado en el sustrato. Los organismos que se desprenden quedan atrapados en la red y son traspasados a un recipiente para su posterior análisis.

Las muestras fueron cernidas mediante tamices de 500  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y fijadas con alcohol 70% para su posterior análisis en laboratorio. La información obtenida de las abundancias y biomásas se estandarizó como individuos por  $\text{m}^2$  antes del análisis, para determinar las medias y las desviaciones estándar.

Los individuos fueron identificados siguiendo los trabajos de Lopretto y Tell (1995), Lugo-Ortiz y McCafferty (1996, 1999), Elgueta et al. (1999), Domínguez et al. (2001), Figueroa et al. (2003), Jara et al. (2006), Jerez y Moroni (2006), Valdovinos (2006), Vera y Camousseight (2006), Bertrand y Viallier (2018), Merrit et al. (2019), Fernández y Domínguez (2001), y Rojas (2006). Esta identificación se realizó al nivel máximo posible, considerando phylum, clase, orden y familia.

**Figura 4-10. Métodos utilizados para la obtención de muestras para la identificación de especies del Macroinvertebrados Bentónicos.**



A) Tipo de Core o saca testigos utilizado en el muestreo en fondos blandos y B) Red de Surber utilizado en aquellos casos cuando las muestras eran de fondos de ritral.

Fuente: Elaboración propia.

#### (e). Flora y Vegetación Acuática

Para el levantamiento de información de plantas acuáticas presentes en el área de estudio se utilizó la metodología que se expone en la “Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile” (SUBPESCA, 2018).

La caracterización de la vegetación acuática presente en el área de estudio consideró específicamente aquellas plantas acuáticas descritas como hidrófitas, las que de acuerdo con Vila et al. (2006), corresponden a plantas acuáticas con formas de vida clasificadas como sumergidas, natantes, y flotantes libres que pueden estar o no arraigadas al sustrato del cuerpo de agua. Por consiguiente, en el presente muestreo se consideró tanto la vegetación vascular y no vascular presente tanto en el cuerpo de agua, como en la ribera del mismo.

El muestreo de vegetación acuática se realizó mediante el levantamiento de parcelas acuáticas, de acuerdo con la siguiente metodología (Figura 4-11):

- En cada uno de los puntos de muestreo se realizó una estimación de la cobertura de acuerdo a una modificación del protocolo de Braun–Blanquet (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). Para aquello, se utilizaron 3 parcelas de 1 m<sup>2</sup> a lo largo de un transecto de 50 m del curso de agua. De esta manera la primera parcela fue ubicada a los 0 m de la transecta, la segunda a los 25 m y la tercera a los 50 m, esto con el fin de mantener la sistematicidad del muestreo, evitando sesgos al momento de la toma de muestras.
- El material colectado en terreno se identificó utilizando la bibliografía acorde a las especies halladas en cada punto de muestreo. En aquellos casos de dudosa determinación, se comparó el material colectado con ejemplares del Herbario del Museo Nacional de Historia Natural (SGO). En base a esta información, se elaboró un catálogo florístico el cual se complementó con antecedentes como familia, tipo de macrófitas, origen fitogeográfico y estado de conservación.

La posición sistemática, nomenclatura taxonómica de las especies, siguió a Rodríguez et al. (2018), y de manera complementaria a la base especializada en línea -The Plant List- del Jardín Botánico de Kew y Missouri. El origen fitogeográfico de las especies se realizó según el “Catalogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur” (Zuloaga et al. 2009).

**Figura 4-11. Imagen del tipo de cuadrante de 1 m x 1 m utilizado en la identificación de especies del Flora Acuática.**



Fuente: Elaboración propia.

#### (f). Fauna íctica

Dado que la conductividad fue superior a 300 uS/cm, se descartó el uso de pesca eléctrica en la zona de canales y lagunas salobres, siguiendo las recomendaciones de Scottish Fisheries Co-ordination Centre (2007) y del Protocolo de muestreo de fauna Ictiológica en Ríos, del Ministerio de Agricultura, alimentación y medioambiente del gobierno Español (2015). El muestreo de la fauna íctica se realizó mediante pesca con redes de chinguillos para organismos de menor tamaño. La técnica empleada, permite la pronta recuperación y restitución de los ejemplares capturados. Se aplicó por unidades de tiempo fijas de hasta 30 minutos o estandarizada en barridos representativos de 200 m<sup>2</sup> por cada punto de muestreo, siguiendo las sugerencias planteadas por Kaller et al. (2013).

#### 4.3.5. Índices de biodiversidad

El índice utilizado para describir la diversidad de la comunidad fue el índice de Shannon-Wiener (H'):

$$H' = \sum_{i=1}^n pi \times \log_{10} pi$$

Donde:

- pi : Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total n de individuos de todas las especies (ni/N)
- ni : N° de Individuos de la especie i
- Log10 : Logaritmo en base 10

Mientras mayor sea el H', mayor es la diversidad de especies. El índice de diversidad es complejo al involucrar la riqueza de especies y sus abundancias relativas. Una comunidad podría ser más diversa si: a) tiene más especies y/o; b) las abundancias poblacionales de las especies son similares entre sí.

El segundo índice utilizado fue el índice de dominancia de Simpson para reforzar el análisis de diversidad. La fórmula de este índice es la siguiente:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S ni (ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

- S : Número de especies
- N : Total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- n : Número de ejemplares por especie

El índice de Simpson (D) tiene la tendencia de ser más pequeño cuando la comunidad es más diversa. D es interpretado como la probabilidad de un encuentro intraespecífico, esto quiere decir la probabilidad de que si tomas dos individuos al azar de la comunidad ambos sean de la misma especie. Mientras más alta es esta probabilidad menos diversa es la comunidad.

Adicionalmente de utilizo el índice de equidad de Pielow ( $J'$ ), cuya formula es la siguiente:

$$J' = \frac{H'}{\ln s}$$

Donde:

- S : Número de especies
- $H'$  : Índice de Shannon-Wiener
- Ln : Logaritmo natural

Este ultimo indice mide la proporción de la diversidad observada con relación, correspondiente al Índice de Shannon-Wiener a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad, por ende mientras mas cercano a 0 la poblacion analizada sera heterogenea en cuanto a su composicion.

#### **4.3.6. Estado de Conservación**

Para la definición de los estados de conservación de la flora y fauna acuática registrada, se utilizaron los Decretos Supremos generados en el marco del Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) (D.S. N° 75/2005), correspondientes al D.S. N° 151/2007, D.S. N° 50/2008, D.S. N° 51/2008, D.S. N° 23/2009, D.S. N° 33/2011, D.S. N° 41/2011, D.S. N° 42/2011, D.S. N° 19/2012, D.S. N° 13/2013, D.S. N° 52/2014, D.S. N° 38 de 2015, D.S. N° 16 de 2016, D.S. N° 6 de 2017, D.S N° 79 de 2018, D.S N° 23 de 2019, D.S N° 16 de 2020, D.S N° 44 de 2021 y D.S N° 10 de 2023 los primeros cuatro del MINSEGPRES y los trece restantes del Ministerio del Medio Ambiente. Estos decretos poseen jerarquía jurídica.

#### **4.3.7. Protocolo de desinfección para *Didymosphenia geminata***

Previo al muestreo se implementó el protocolo de desinfección para equipos y herramientas establecido por la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA), dichos equipos corresponden a: electrodos, redes de plancton, frascos y tubos con muestras, vestimenta, neumáticos de vehículos, huinchas de medir, muestreador de bentos (no recomendado reutilizar muestreador), cuerdas y cualquier otro implemento utilizado que pudo tener contacto con el agua y que volverá a ser utilizado en otro punto, la limpieza se realizó según las actividades indicadas en el “Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*” (SUBPESCA, 2011).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Descripción General del Área de estudio.

#### 5.1.1. Sistema Hidrológico Cuenca de Salar de Pedernales

La cuenca altoandina del Salar de Pedernales, tienen su origen en la actividad tectónica, las sucesivas glaciaciones y el vulcanismo, así como también por la intensa radiación solar, la baja humedad atmosférica y un fuerte aporte de material alóctono transportado por el viento, permiten la formación de la costra salina (Vila & Muhlhauser 1987).

Estas cuencas no tienen salida fluvial directa hacia el océano, por lo que las precipitaciones tienden a permanecer en el lugar, y solo desaparecen por infiltración o evaporación, contribuyendo a la concentración de sales y minerales en su porción terminal, siendo conocidas como cuencas endorreicas (Sobel et al. 2003). De esta manera, al igual que la mayoría de los humedales altoandinos, al ser cuencas de tipo endorreicas suelen ser alimentadas por precipitaciones líquidas y sólidas, las cuales se originan por la humedad estacional, explicada por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el sur (Garreaud et al. 2003) y por una zona continental de baja presión formada sobre la región del Gran Chaco en Argentina durante los meses de verano (diciembre-marzo), lo que fuerza vientos del este desde el Amazonas hacia el sur, transportando una cantidad significativa de humedad a los subtropicales (Vuille & Keimig 2004), la que es retenida por la gran barrera orogénica de la Cordillera de los Andes, impidiendo así la circulación de humedad estacional, fenómeno conocido como efecto lluvia-sombra (Garreaud et al. 2003, 2010, Houston & Hartley 2003a, Rech et al. 2010, Garreaud 2011).

Hidrológicamente, estos humedales se caracterizan por ser principalmente sistemas cerrados, ya que son el resultado del afloramiento de aguas subterráneas que desembocan en lagos someros terminales, situados en la depresión central de una cuenca (Risacher et al. 2003, Cabrol et al. 2009, De La Fuente & Niño 2010). Dicha acumulación de agua, sumado al afloramiento de napas freáticas, dan origen a un conjunto de ríos, lagos salinos y cuencas evaporíticas comúnmente llamadas salares (Dorador et al. 2009, De La Fuente & Niño 2010), los que se encuentran en una etapa avanzada de evolución lacustre, poseen un tasa evapo-concentradora de sales hasta 250 g/l (De La Fuente & Niño 2010), y cubriendo más del 50% de su superficie con una costra de sal, o una capa sólida de varios minerales (Chong 1988). De esta manera, el término 'salar' se le asigna a un conjunto de sedimentos de naturaleza evaporítico-detritica, cuya génesis ha tenido lugar en la zona más deprimidas de una cuenca cerrada, sometida a un clima árido o semiárido (Chong 1988, López et al. 1999).

El salar de Pedernales, presenta una altitud media de 3.995 m (Johnson 2009), con importantes variaciones morfológicas, climatológicas y geológicas (DGA-UCN-IRD 1999), y cuya geología se caracteriza por el afloramiento, por el norte y este, de lavas andesítico-basálticas, con flujos riolíticos del vulcanismo

cenozoico superior; hacia el sur, se observan rocas sedimentarias continentales miocenas, y hacia el oeste, se observan rocas intrusivas paleozoicas y remanentes de aparatos volcánicos del Oligoceno. Estas formaciones son sobre yacidas por sedimentos depositados principalmente hacia la zona norte de la cuenca por depósitos de salar del Mioceno y Cuaternario y sedimentos clásticos aluviales (DGA-UCN-IRD 1999, DGA-Aquaterra 2012, DGA & ARCADIS 2015).

El salar está conformado geológicamente por una mezcla de terrenos sedimentarios, de formaciones volcánicas y de rocas plutónicas, en cuya superficie se forma una costra de yeso y halita, mientras que en su porción sur- oeste en relación a la costra salobre y próxima al contacto con el Llano Pedernales, existe una zona de lagunas "vegas", con predominancia de limos arcillosos y sales que se ha denominado "Zona de Transición" (Alvarez 1984),

Se han identificado tres tipos de suelos en la zona del salar: *Tipo 1* (Suelos salinos recientes, 22,04%), que se caracterizan por ser zonas de recarga, así como de transición de agua dulce y salada, con nivel freático somero y suelos en constante formación por precipitación química de sales y alta reflectividad; *Tipo 2* (suelos de núcleo salino, 41,37%), los cuales se caracterizan por tener baja reflectividad, baja permeabilidad, presencia de una costra salina y nivel de agua con mayor profundidad; y suelos *Tipo 3* (suelos de transición, 36,59%), que presenta características intermedias entre los suelos Tipo 1 y Tipo 3 (DGA & ARCADIS 2015).

Las precipitaciones en la cuenca varían entre 100 mm/año en la zona del salar y 150 mm/año en la cuenca oriental, con una evaporación potencial de 1200 mm/año en el salar y una temperatura promedio de 4°C anual (DGA-UCN-IRD 1999). En el extremo sur de la cuenca, los cursos de agua se unen al este del cerro la Ola, formando la Quebrada Pastos Largos, con sentido de escurrimiento sur-norte, mientras que los cursos de aguas provenientes desde el sector sureste, se unen al río Juncalito y la Quebrada del Río Muerto, las cuales confluyen formando el río la Ola (Johnson 2009).

Las aguas presentes en la cuenca de pedernales se pueden dividir en tres grupos con aporte bien diferenciados, siendo uno de ellos el que se encuentra dominadas  $\text{SO}_4$  o  $\text{HCO}_3$  sobre Cl; y que, según el análisis de cationes, son las que más calcio presentan. Este grupo se caracteriza por presentar aguas más bien diluidas o son levemente salobres (85 - 1442 mg/L STD), las cuales suelen ubicarse en sectores elevados del sur y del oeste de la cuenca, con excepción de la vertiente que aflora en el límite nor-oeste, que se encuentra en la cuenca pacífica colindante. (DGA-UCN-IRD 1999).

El segundo grupo contiene una mayor composición de Sodio y menos calcio, asociados principalmente con el Cloruro, las cuales están constituidas de aguas principalmente salobres (2230 - 4366 mg/L). Un tercer grupo de aguas se asocian principalmente a la presencia de Cloruro y Sodio, las cuales son saladas (15.000 - 79.700 mg/L) (DGA-UCN-IRD 1999).

Ambos tipos de agua se encuentran más cerca del salar y son de tipo Na / Cl con  $\text{SO}_4$  superior a Ca, perteneciendo a la vía evolutiva sulfatada, aunque se ha descrito la presencia de aguas al sur-oeste del salar, que son de tipo Na-(Ca)-(Mg) / Cl y que pertenecen a la vía cálcica (DGA-UCN-IRD 1999).



En cuanto a la relación  $\text{Ca}/\text{SO}_4$ , estarían asociados a una contribución leve de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), la cual podría ser un aporte más bien eólico, debido a que los vientos dominantes soplan del oeste debido a la presencia también de Nitrato  $\text{NO}_3$  en las aguas diluidas. Sin embargo, las concentraciones porcentuales más altas en  $\text{NO}_3$  bajan cuando aumenta la salinidad, lo que refleja la uniformidad de los aportes eólicos en toda la cuenca (DGA-UCN-IRD 1999).

Por otra parte, la relación porcentual del Litio (el componente más conservativo del agua dentro de la cuenca), se origina donde los dos aportes salados tienen las mismas composiciones relativas que las salmueras del salar, lo que podría tratarse de cuñas salinas lixiviadas hacia el salar (DGA-UCN-IRD 1999).

Se ha sugerido que al menos cuatro aportes diluidos de la cuenca estarían asociados a rocas volcánicas, y a continuación vendría una vía carbonatada cuando se evaporan, donde los componentes disueltos en estas aguas serían mayoritariamente de las rocas volcánicas, mientras que el resto de las aguas diluidas seguirían toda la vía neutra sulfatada, con excepción del cuerpo de agua en las cercanías de las Tinajas que sigue la vía alcalina sulfatada (DGA-UCN-IRD 1999).

En términos generales, el Salar en sí recibe dos tipos de aguas de la cuenca, las diluidas de napas al sur y al oeste de la cuenca, y un segundo tipo de aguas salobres que provienen del sector oriental, que ingresan por sus orillas sur y este, donde la salinidad elevada de las aguas de aporte salobres proviene de la redisolución de sales evaporíticas antiguos (halita y yeso), sospechándose un aporte de componentes eólicos en las aguas diluidas ( $\text{SO}_4$  y  $\text{NO}_3$ ), donde la mayor parte seguirían la vía evolutiva sulfatada (DGA-UCN-IRD, 1999).

Distintos estudios han estimado los niveles de escurrimientos por evaporación en la cuenca, por ejemplo, CPH Consultores (2004), estimó flujos de descarga por evaporación desde el salar en 380 l/s, mientras que la Dirección General de Aguas, en el Balance Hídrico de Chile (MOP- DGA, 1987), propone un valor de 830 l/s. La empresa Exploraciones y Desarrollo de Recursos de Agua (EDRA, 1999), determinó la descarga por evaporación en el salar de Pedernales en 3200 l/s, indicándose que más del 55% de la superficie del salar presenta napas ubicadas entre los 0,1 m y 0,3 m de profundidad. Johnson (2009) estimó que el área de evaporación alcanzaría 315  $\text{km}^2$ , equivalentes a un 9% de la superficie total de la cuenca, señalando que más del 70% del área de evaporación presenta napas comprendidas entre 0,8 y 2,0 m de profundidad, siendo el tramo ubicado entre 1,0 y 1,5 m el de mayor importancia, con una superficie de 137  $\text{km}^2$ .

De esta manera, y en base a la información existente los modelos hidrológicos conceptuales para la cuenca del salar de Pedernales (Figura 5-1 A y B), sugieren que el ciclo hídrico comienza con la precipitación, que al estar en una zona de clima Desértico Marginal de Altura y/o Estepa de Altura, ocurren con valores anuales inferiores a los 200 mm, con una alta variabilidad interanual y espacial (DGA & ARCADIS, 2015).

Estas precipitaciones son mayores en las partes altas de la cuenca, originando acumulaciones de nieve las que son incorporadas a los cursos superficiales y subterráneos en su fusión, mientras que en las partes

más bajas de la cuenca la fracción de la precipitación que entra en el ciclo hídrico de la cuenca es en forma líquida (DGA & ARCADIS, 2015).

En los eventos de precipitación, parte del agua retorna a la atmósfera en forma gaseosa por evaporación, la que ocurre mayoritariamente al final de la cuenca, en la zona central del Salar, mientras que la fracción del agua de precipitación que se incorpora a los cursos subterráneos y la escorrentía generada, posteriormente se infiltra, lo que es considerado como la recarga del sistema (DGA & ARCADIS, 2015), y cuyos valores variarían entre el 5 y el 10% de la precipitación.

Existen diferencias isotópicas del agua de recarga, entre las partes más altas y el resto de la cuenca, donde los valores de  $\delta^{18}O$  y  $\delta^2H$  se sitúan encima de la línea de aguas meteóricas mundial media (LAMM), con un exceso de deuterio de 10%, mientras que en las partes más bajas la composición isotópica se sitúa por debajo de la LAMM con exceso de deuterio inferior a 10% (DGA & ARCADIS, 2015).

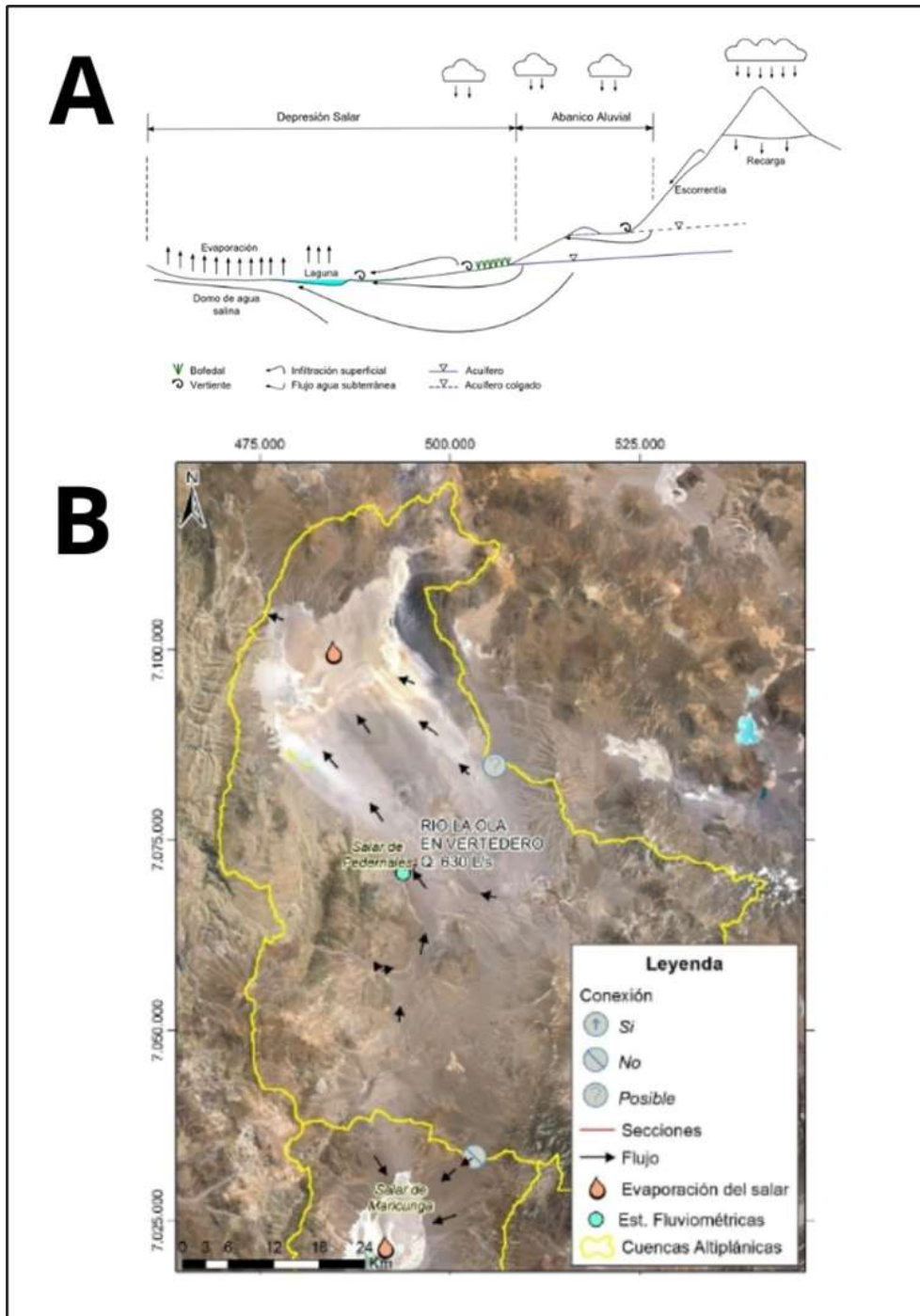
Esta diferencia reflejaría que el agua de precipitación sufre fraccionamiento por evaporación, durante la precipitación y/o desde el suelo, en el momento de infiltración en las partes bajas de la cuenca, donde la evaporación potencial es mayor que en las partes altas (DGA & ARCADIS, 2015).

Una vez que la recarga pasa a ser flujo subterráneo, este se dirige a través de los materiales no consolidados que conforman los acuíferos desde las zonas con mayor elevación hasta las zonas más bajas de la cuenca, en dirección nor-oeste, en cuyo recorrido el agua subterránea vuelve a aflorar cuando el nivel piezométrico se intercepta con la superficie del terreno, dando origen a vertientes, vegas y/o cursos superficiales de agua (DGA & ARCADIS 2015).

En estos afloramientos superficiales parte del agua es evapotranspirada, mientras que el resto vuelve a infiltrarse cuando el nivel piezométrico se profundiza con respecto de la superficie del terreno (DGA & ARCADIS 2015).

Al ser la cuenca de tipo endorreica, el agua se concentra en las depresiones en el que se encuentran los salares o lagunas saladas, y el flujo de agua subterráneo al llegar al salar se encuentra con el domo de agua salada o salmuera del salar con mayor densidad, cuya consecuencia se manifiesta en el afloramiento de aguas de menor salinidad hacia la superficie, formando las vertientes, bofedales y lagunas características en sus orillas (DGA & ARCADIS 2015).

Figura 5-1. Modelo Conceptual de la Cuenca de Salar de Pedernales.



A) Esquema simplificado general, B) Modelo conceptual de la cuenca Salar de Pedernales.

Fuente: Modificado en base a (DGA & ARCADIS 2015).

Por este motivo, en el perímetro de los lagos someros y cuerpos de aguas en general, se pueden encontrar parches de vegetación, cuya distribución responde a las condiciones locales de humedad y salinidad del suelo (Ahumada & Faúndez, 2009), dando cobijo a diferentes tipos de fauna, con un alto nivel de endemismo (de la Fuente et al. 2021), por lo que suelen ser considerados como *hotspots* ecológicos (Squeo et al. 2006), que suelen ser aprovechados para el desarrollo de actividades agrícolas, altamente arraigadas en el desarrollo de las comunidades locales del área (Mühlhauser 1997).

El agua una vez que ha llegado a los salares se evapora por el gran déficit de humedad que hay en la atmósfera, aumentando de forma progresiva su salinidad hasta precipitar sus sales disueltas, lo que contribuye a la formación de los salares o laguna salada en su expresión anterior (DGA & ARCADIS 2015). De hecho, la pendiente general de esta cuenca hidrográfica conduce a una depresión, siendo recargado hidrológicamente el salar por los ríos La Ola y Leoncito, y cuyas aguas se infiltran en el Llano Pedernales, siguiendo una dirección noroeste, controlada por la topografía de la cuenca (Alvarez 1984), con una inclinación de unos 45° hacia el este (DGA-UCN-IRD 1999).

De esta forma se origina el *Salar de Pedernales*, (ver Figura 5-2 A), el cual ocupa una superficie de unos 335 km<sup>2</sup> aproximadamente, y que está constituido por dos unidades geomorfológicas a) el Llano Pedernales; con una superficie de 143 km<sup>2</sup>, ubicado en la parte sur de la depresión y constituido por rellenos de arena y grava no consolidados, con intercalaciones tobáceas y b) la Costra salina del Salar de Pedernales; con una superficie de 243 km<sup>2</sup> y ubicado en la parte norte de la depresión, al pie del cerro Doña Inés (Alvarez 1984). Existen unas pocas y pequeñas lagunas, generalmente adosadas a las orillas, las cuales en la rivera nor-este se caracterizan por ser profundos ojos en la costra de sala (Figura 5-2 B), mientras que el resto de las lagunas interiores son más bien lagunas someras superficiales (Figura 5-2 C) (DGA-UCN-IRD 1999).

En su extremo nor-oeste, el salar se encuentra separado unos 200 metros de la cuenca del Salado, la que escurre hacia el Pacífico, ocurriendo en este punto la sección más baja de la cuenca (depocentro) (DGA-UCN-IRD 1999, DGA & ARCADIS 2015), zona en la cual se ha determinado que la corteza tiene un espesor de 7 m y en profundidad está formada por halita compacta, encontrando algunos niveles de limo arcilloso y/o materiales coluviales (Alvarez 1984).

Figura 5-2. Ecosistemas Acuáticos Continentales Presentes en el Área de Estudio. A) Imagen del Salar, B) Lagunas Someras en el sector suroeste y C) Lagunas profundas en el sector noreste.



En la década de 1920, se perforó un túnel por el cual se vierte salmuera desde el salar a esta Quebrada, con un caudal que fue medido en 45 y 65 l/s el 13 de noviembre de 1995 (DGA-UCN-IRD 1999), y cuya variabilidad depende del nivel de acumulación de agua ocurrido dentro del Salar, denominándose a este lugar el Dren de Agua Helada, por las bajas temperaturas que este presenta.

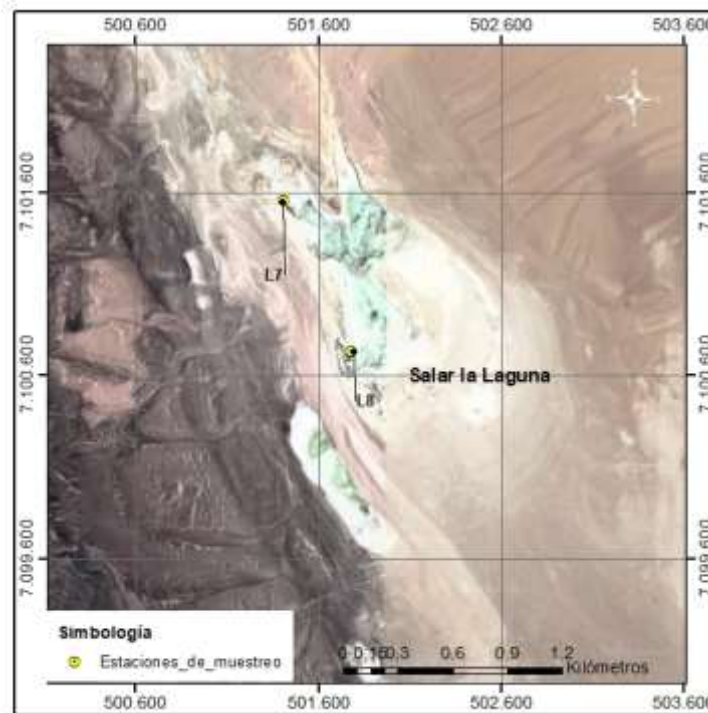
El curso de agua fluye en la Quebrada Vicuña, la cual se localiza inmediatamente al oeste del sector salida túnel Dren Agua Helada. Dicha Quebrada se origina en las Vegas de Vicuña y corresponde a uno de los arroyos que da origen al río Salado. Esta desarrolla su curso en un cañón profundo de dirección suroeste por espacio de 50 km

La hidroquímica del salar está controlada por las aguas de aporte salobres que aportan más del 80 % de las sales disueltas, mientras el río Juncal drena gran parte de las aguas del sector oriental que se infiltra cuenca abajo en una napa subterránea que alimenta el salar por su orilla sur (DGA-UCN-IRD 1999).

### 5.1.2. Otros Salares de menor envergadura fuera de la cuenca

Hacia el este y separado de un cordón montañoso, se encuentran dos salares de menor envergadura: El Salar la Laguna y El Salar Piedra Parada. El Salar la Laguna se caracteriza por tener una altura media de 3494 msnm con una cuenca cuya superficie abarcaría unos 400 km<sup>2</sup> y donde el salar representaría unos 0,55 km<sup>2</sup> de extensión (DGA-UCN-IRD 1999). (Ver Figura 5-3).

Figura 5-3. Ubicación Salar la Laguna.



Fuente: Elaboración Propia.

Las precipitaciones en dicha cuenca bordean los 120 mm/año, con una evaporación potencial de 1100 mm/año, con 3°C de temperatura media (DGA-UCN-IRD 1999).

Este salar es del tipo es un salar de tipo "playa", con sedimentos salinos recubiertos por una laguna salada de extensión variable y muy somera, alimentada por una vertiente corriente cuenca arriba (700 m por encima del salar), que forma un riachuelo que se infiltra más abajo alimentando napas subterráneas, y dos vertientes difusas a la orilla de la laguna (DGA-UCN-IRD 1999). Las tres vertientes son salobres y tienen composiciones distintas, con una alta concentración en Ca y SO<sub>4</sub> en una de las vertientes difusas, siendo clasificado el salar al mega-grupo de salmueras sulfatadas (DGA-UCN-IRD 1999).

En términos de composición de sales, las vertientes difusas tienen  $\text{Na}+\text{Mg} \sim \text{Cl}$  y  $\text{Ca} \sim \text{SO}_4$ , los cuales representan más del 90 % de la salinidad total, mientras que la vertiente fluyente tiene mayoritariamente  $\text{Na} \sim \text{Cl}$  y  $\text{Ca} \sim \text{SO}_4$  con una proporción de 76 % de la salinidad total para esos cuatro componentes (DGA-UCN-IRD 1999), y cuyos aportes estarían vinculados a la redisolución de antiguas evaporitas (con halita:  $\text{NaCl}$  y yeso:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o salmueras residuales ( $\text{Na}-\text{Mg} / \text{Cl}$ ) por debajo de las formaciones volcánicas (DGA-UCN-IRD 1999).

Todas las aguas siguen la vía evolutiva neutra sulfatada que refleja terrenos volcánicos con azufre, y en relación con la calidad de las aguas, no cumplirían las normas chilenas de potabilidad o de riego, debido al alto contenido de Arsénico, el cual representa hasta 32 veces más que la norma para la vertiente fluyente y 127 veces más para la vertiente difusa. En cuanto al balance hídrico, la casi totalidad de las aguas que caen sobre la cuenca se infiltran en formaciones profundas sin llegar hasta el salar (DGA-UCN-IRD 1999).

En cuanto al Salar de Piedra Parada, este se caracteriza por tener una altura media de 4150 msnm (Figura 5-4), con una cuenca cuya superficie abarcaría unos 388 km<sup>2</sup> y donde el salar representaría unos 28 km<sup>2</sup> de extensión (DGA-UCN-IRD 1999).

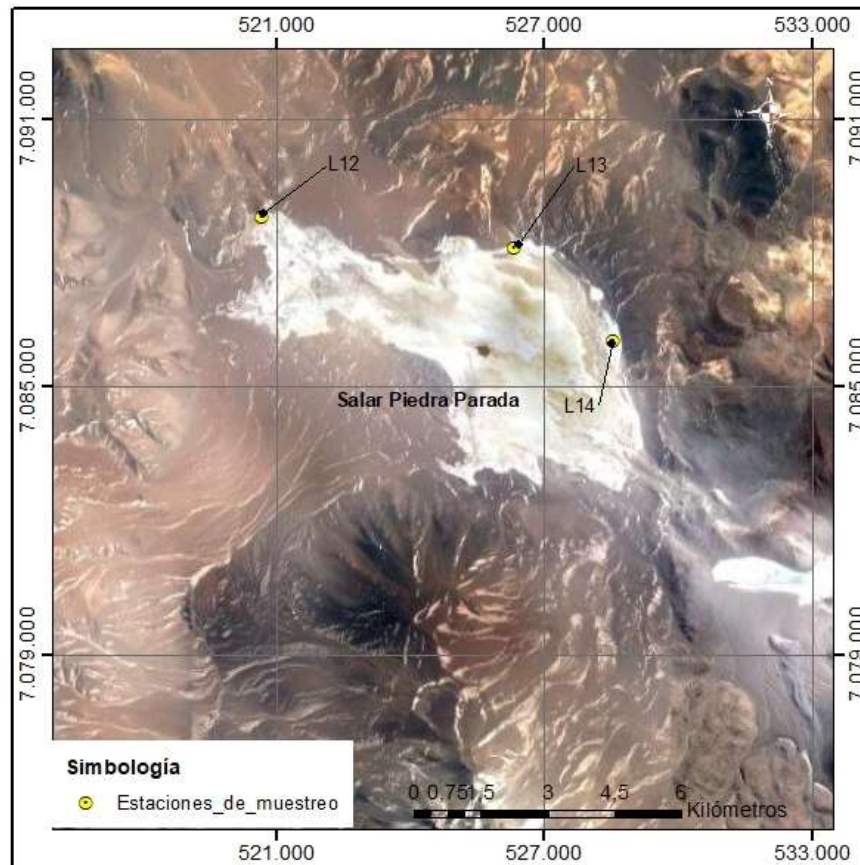
Las precipitaciones en dicha cuenca bordean los 140 mm/año, con una evaporación potencial de 1000 mm/año, con -2°C de temperatura media (DGA-UCN-IRD 1999).

El salar no tiene aportes desde sectores altos de la cuenca de drenaje, y solo recibe aguas de cuerpos pegados a la orilla del salar, donde alimentan un complejo sistema de lagunas someras y de extensión muy variable. Al igual que el salar la Laguna, es del tipo "playa" con sedimentos superficiales ricos en yeso (DGA-UCN-IRD 1999).

En términos de composición de sales, se han detectado 4 vertientes difusas y una fluyente, todas de aguas salobres, donde el aporte más diluido tiene una salinidad de 2,9 g/l y el más concentrado 6,5 g/l. El rango de salinidad reportado en las lagunas se extiende desde 6,8 g/l hasta 82,3 g/l, y su composición refleja la de los aportes, constituida por  $\text{Na}-(\text{Mg}) / \text{Cl}-(\text{SO}_4)$ , la cual es coincidente con los aportes difusos (DGA-UCN-IRD 1999). Las lagunas ubicadas en el extremo este del salar son del tipo  $\text{Na}-(\text{Ca})-(\text{Mg}) / \text{Cl}-(\text{SO}_4)$ , parecido al de la vecina vertiente fluyente. Todas contienen más Sulfato que calcio por lo que han sido clasificadas dentro de los de tipo sulfatado (DGA-UCN-IRD 1999).



Figura 5-4. Ubicación de la cuenca del Salar Piedra Parada.



Fuente: Elaboración Propia.

El porcentaje de Na+Mg+Cl en los aportes difusos representa el 75 - 80 % de la salinidad, mientras que, para las vertientes fluyente, este porcentaje baja a 57 %, sugiriéndose un proceso de redisolución de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (DGA-UCN-IRD 1999).

Todas las aguas siguen la vía evolutiva alcalina sulfatada al extremo oeste y neutra sulfatada al este, las cuales reflejan el aporte de rocas volcánicas con azufre, aunque la salinidad elevada de los aportes se debe probablemente a la redisolución de antiguas evaporitas y salmueras residuales recubiertas por formaciones volcánicas superficiales más modernas (DGA-UCN-IRD 1999).

Finalmente, todas las aguas de aporte son de mala calidad, tanto para el uso potable y agrícola, donde las salinidades son demasiado elevadas y los contenidos en Boro y Arsénico muy por encima de las normas (DGA-UCN-IRD 1999).

A pesar de todo los beneficios que prestan a la biodiversidad y a las comunidades humanas asentadas en la zona, estos ecosistemas suelen estar expuestos a una variedad de alteraciones tanto de origen natural como antrópicos (Goshu & Aynalem 2017), que suelen causar un fuerte detrimento en el equilibrio ecológico de los componentes bióticos y abióticos (Klemas 2011, Convención de Ramsar sobre los Humedales 2018). Las amenazas más relevantes para los sistemas altoandinos están vinculados a las alteraciones del régimen hidro climático relacionado al cambio climático (Cabrol et al. 2009), uso de agua para fines industriales (Valdés et al. 2023) y la obtención industrial de Litio utilizado para la fabricación de baterías (Kesler et al. 2012)

## 5.2. Caracterización general del hábitat

En términos generales, y considerando las características definidas según la información bibliográfica previamente analizada y en base a la información levantada en las campañas de terreno, se puede dividir la zona de estudio en tres subsistemas:

- 1) Zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Pedernales, caracterizado por ser un conjunto de Quebradas con vegetación de tipo bofedal, que direccionan el flujo de derretimiento del agua en dirección hacia el salar, con vegas y bofedales menores;
- 2) Bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, naturales o artificiales ubicados en la zona media de la cuenca y que se caracterizan por su gran extensión, así como un incremento en la velocidad del flujo del caudal, el cual va aglomerando exutorios de diferentes ríos, canales menores provenientes de las Quebradas aledañas, direccionado los flujos de agua al centro del salar.; y
- 3) Sistemas de lagunas y salares, los cuales se ubican en el centro de la cuenca, en el depocentro. Se incluyen además en este sistema los Salares aledaños a la cuenca.

De esta manera, cada sector considerado en el Avenimiento fue categorizado dentro de un tipo de subsistema, acompañado de sus respectivas estaciones. Complementariamente se indicó el tipo de meso hábitat correspondiente a cada sector. La clasificación detallada de esta asignación se presenta en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1. Clasificación de los sectores señalados en el Avenimiento.**

Subsistemas	Sector	Estaciones	Mesohábitat identificados
Zona de Quebradas que Alimentan el Sistema	Quebrada Vertiente	L24 y L25	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada Rio Negro	L19 y L20	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada Pastos Largos	L16, L17 y L18	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada Tordillos	L22 y L23	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada Las Tinajas	L21	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada El Colorado	L28 y L29	Mesohábitat 6, Bofedal.
	Quebrada la Ciénaga	L15	Mesohábitat 6, Bofedal.
Bofedales Mayores y Cuerpos de Agua Tipo Canal, Natural o Artificial.	Quebrada Leoncito	L26 y L27	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal, Mesohábitat 6, Bofedal.
	Cabecera Sur Rio la Ola	L9, L10 y L11	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal, Mesohábitat 6, Bofedal.
Sistemas de Lagunas y Salares	Salar de Pedernales Sur	L1, L2, L3, L4, L5 y L6	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal. Mesohábitat 4, Borde laguna. Mesohábitat 5, centro laguna.
	Salar de Pedernales Norte	L30, L31, L32, L33, L34 y L35	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal. Mesohábitat 4, Borde laguna. Mesohábitat 5, centro laguna.
	Salar Piedra Parada	L12, L13 y L14	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal. Mesohábitat 4, Borde laguna. Mesohábitat 5, centro laguna.
	Salar La Laguna	L7 y L8	Mesohábitat 2, Borde del canal, Mesohábitat 3, centro del canal. Mesohábitat 4, Borde laguna. Mesohábitat 5, centro laguna.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realizará una descripción de cada zona y un análisis que comprende los componentes del área de estudio. Cabe indicar que, de todas las campañas ejecutadas, se corroboró la inexistencia de agua en 9 de las 35 estaciones monitoreadas. Estas estaciones son: L5 Salar Pedernales Sur-Oeste; L8 Salar la Laguna, L9 Río La Ola, L15 La Ciénaga, L20 Río Negro, L21 Las Tinajas, L25 La Vertiente, L26 El Leoncito y L29 El Colorado.

### 5.3. Zona de Quebradas que alimentan el sistema.

La zona de Quebradas está ubicada en el sector sureste y suroeste de la cuenca de Pedernales, y corresponde a las estaciones ubicadas en las Quebradas Vertientes, Río Negro, Pastos Largos y Tordillos, las cuales tienen conexión directa con los canales y cuerpos de agua que alimentan la cuenca endorreica del Salar Pedernales, además de las Quebradas La Ciénaga, El Colorado y Las Tinajas, las cuales no tienen una conexión aparente con la cuenca (ver Figura 5-5).

Figura 5-5. Ubicación cursos de agua vinculados a Quebradas.



En celeste, cuerpos de agua muestreados conectados a la cuenca, en verde, cuerpos de agua son conexión aparente de la cuenca y en amarillo cuerpos de agua no muestreados vinculados a la cuenca.

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 5-2. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.**

Are = Arena; Cant = Cantos; Grav = Grava; Fan = Fango Fuente: Elaboración propia

Característica	Puntos de Muestreo en el subsistema												
	Quebrada Vertiente		Quebrada Río Negro		Quebrada Pastos Largos			Quebrada Tordillos		Quebrada El Colorado		Quebrada Tinajas	Quebrada La Ciénaga
	L24	L25	L19	L20	L16	L17	L18	L22	L23	L28	L29	L21	L15
Tipo de Sistema	Arroyo	Pozas	Arroyo	Pozas	Arroyo	Arroyo	Bofedal	Bofedal	Bofedal	Arroyo	Pozas	Bofedal	Vega
Origen	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural/Artificial	Natural/Artificial	Natural	Natural
Patrón	Canal doble	Sin Agua	Canal doble	Sin Agua	Múltiples pozas	Múltiples pozas	Múltiples pozas	Sin Agua	Múltiples pozas	Canal doble	Sin Agua	Sin Agua	Sin Agua
Tipo de fondo	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant	Are - Cant
Condición de flujo	Nula	Nula	Nula	Nula	Reducida	Reducida	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Velocidad de la corriente (m/s)	0,15	Nula	0,05	Nula	0,12	0,15	0,02	Nula	Nula	0,02	Nula	Nula	Nula
Ancho total (m)	12,5	6	15	12	3	5	5	4	4	18	17	10	12
Profundidad Máxima (m)	0,12	Nula	0,12	Nula	0,16	0,15	0,05	Nula	0,2	0,05	Nula	Nula	Nula
Profundidad Media (m)	0,05	Nula	0,05	Nula	0,05	0,05	0,05	Nula	0,05	0,05	Nula	Nula	Nula
Vegetación acuática	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No
Vegetación de rivera	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Detritus Vegetal	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	So	No	No
Cobertura dosel	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Luminosidad (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Uso de suelo adyacente	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso
Hábitat de peces	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No

En términos generales, en esta zona aumenta la presencia de aguas vinculadas a vías carbonatadas y sulfatadas, las cuales producen las aguas de mejor calidad, lo que explica el uso de estas para actividades vinculadas al riego y al consumo humano de las aguas. De hecho, la conductividad disminuye a características de aguas dulces. Por otro lado, la mayoría de las Quebradas presentaron ejemplares de las especies *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, en asociación con ejemplares de *Calamagrostis velutina* (ex *Deyeuxia velutina*). La presencia de estas especies caracteriza unidades vegetacionales declaradas como bofedales, así como de vegas, las cuales suelen presentar dominancia de especies con crecimiento rizomatoso, capaz de formar un césped parejo o pequeños cojines herbáceos que no superan los 30 cm de altura. En estos casos el régimen hídrico se encuentra asociado a niveles freáticos superficiales o subsuperficiales (Castro R & Altamirano A. 2013) cuyos aportes provienen del deshielo, los que debido a la morfología tipo Quebrada suelen descargar en una Quebrada principal.

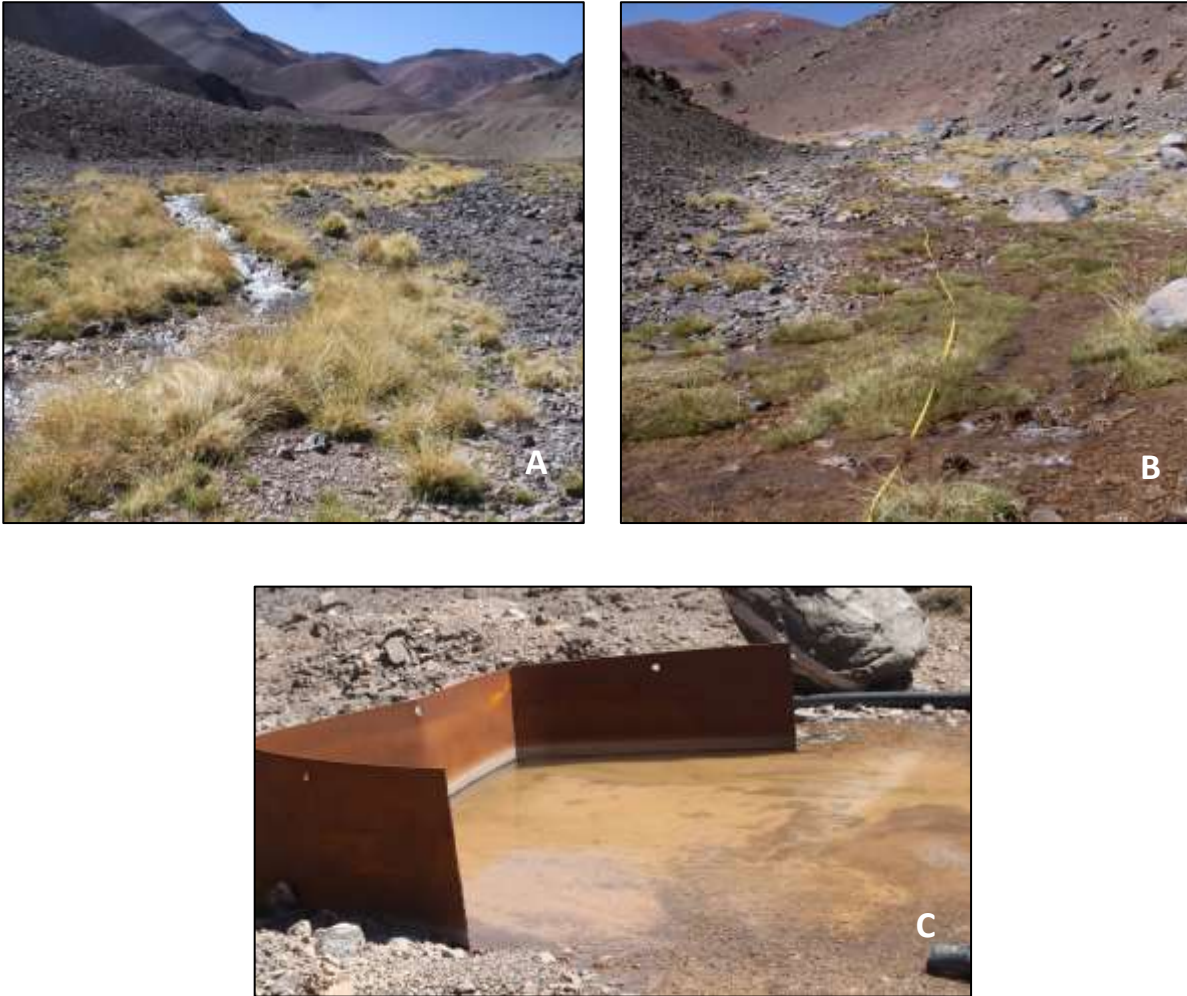
### 5.3.1. Caracterización de Quebradas que alimentan al sistema.

#### (a). Quebrada Las Vertientes

La Quebrada Las Vertientes se encuentra ubicada en el límite sureste de la cuenca, antes del inicio de la cuenca vinculada al Salar de Maricunga. El curso de agua fluye en dirección este – oeste, por el centro de la Quebrada, la cual está dominada por ejemplares de especies con crecimiento en cojín, que forman cuerpos compactos, caracterizados por presentar dominancia de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis* (Figura 5-6), los cuales se asocian a niveles hídricos permanentes, cursos de agua corrientes o suelos sobresaturados, de suelos no salinos. Estas especies se encuentran en asociación con especímenes de *Calamagrostis velutina*. En ella se puede observar la presencia de manadas de guanacos (*Lama guanicoe*) y de vicuñas (*Vicugna vicugna*).

Dada las características del lugar, se puede señalar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, por lo que, en aquellos periodos con falta de lluvias significativas, no es de extrañar que no se observe un curso de agua definido. Por otra parte, en relación con las presiones antrópicas, se observó el movimiento de tierras vinculadas a la instalación de cañerías de mediano tamaño (Figura 5-6 C).

Figura 5-6. Estaciones sector Quebrada Las Vertientes.



(A) Estación L24, (B) Estación L25 y (C) registro de la instalación de cañerías ubicadas en la Quebrada Las Vertientes.

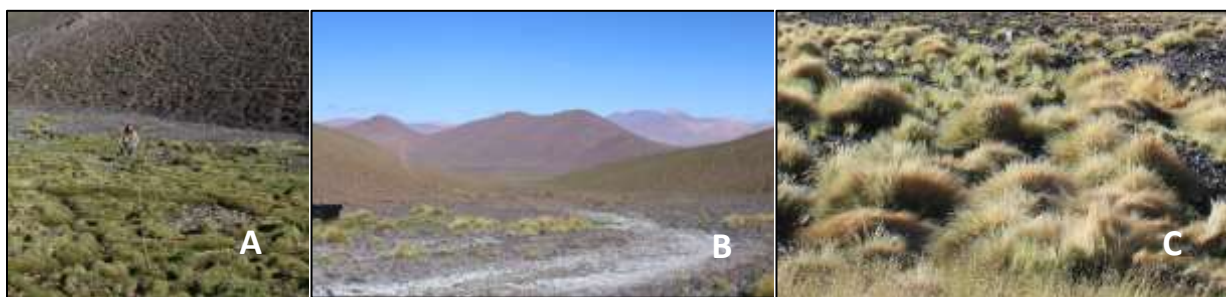
Fuente: Campaña en terreno.

### (b). Quebrada Río Negro

La Quebrada Río Negro se encuentra en la zona sureste de la cuenca del Salar de Pedernales. El curso de agua en dirección este – oeste, en cuyo centro corre un curso de agua de tamaño reducido, que en ciertas partes se pierde superficialmente. Vegetacionalmente, se encuentra dominada por ejemplares de la especie *Zameioscirpus atacamensis*, principalmente en aquellas zonas donde el curso de agua es superficial, mientras que en aquellas zonas donde el curso de agua deja de ser superficial, la vegetación cambia al dominio de especímenes de *Calamagrostis velutina*. Otras especies observadas en el lugar fueron *Oxychloe andina* y *Phacelia comingii* (Figura 5-7).

Dada las características del lugar, se puede señalar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, detectándose la presencia de estructuras que direccionan la acumulación de las aguas.

Figura 5-7. Imagen general de las estaciones en el sector de Quebrada Río Negro



A) y B) Estación L19 y C) Estación L20.

Fuente: Registro campaña en terreno

### (c). Quebrada Pastos Largos

La Quebrada Pastos Largos se encuentra en el límite sur de la cuenca del Salar de Pedernales, vinculada al sotavento de la ladera de los cerros, por lo que el curso de agua tiene dirección oeste-este. En su centro, esta Quebrada tiene una altura aproximada de 50 metros de altura, donde el curso de agua corre en el centro, hasta desaparecer superficialmente a la mitad de la Quebrada, en una zona con bofedales, los cuales no logran sobrevivir debido a la reducción del caudal que experimenta actualmente el sector (Figura 5-8).



Figura 5-8. Fin del curso de agua en la Quebrada Pastos Largos.



Fuente: Registro campaña en terreno

Vegetacionalmente, las estaciones ubicadas dentro de esta Quebrada se encuentran dominadas por ejemplares de las especies *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, principalmente en aquellas zonas donde el curso de agua es superficial, cambiando el dominio de especies en zonas desprovistas de agua, donde domina la especie *Calamagrostis velutina*. Otras especies observadas en el lugar fueron *Acaena magellanica*, *Atriplex oreophila*, *Senecio mairretianus*, *Phacelia comingi* y *Viola frigida*.

Dada las características del lugar, se puede señalar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, detectándose la presencia de estructuras que direccionan la acumulación de las aguas, al igual que en las Quebradas anteriores.

Figura 5-9. Estaciones ubicadas en el sector Quebrada Pastos Largos.



Estaciones L18 (A), L17 (B) y (C) L16 Quebrada de Pastos Largos.

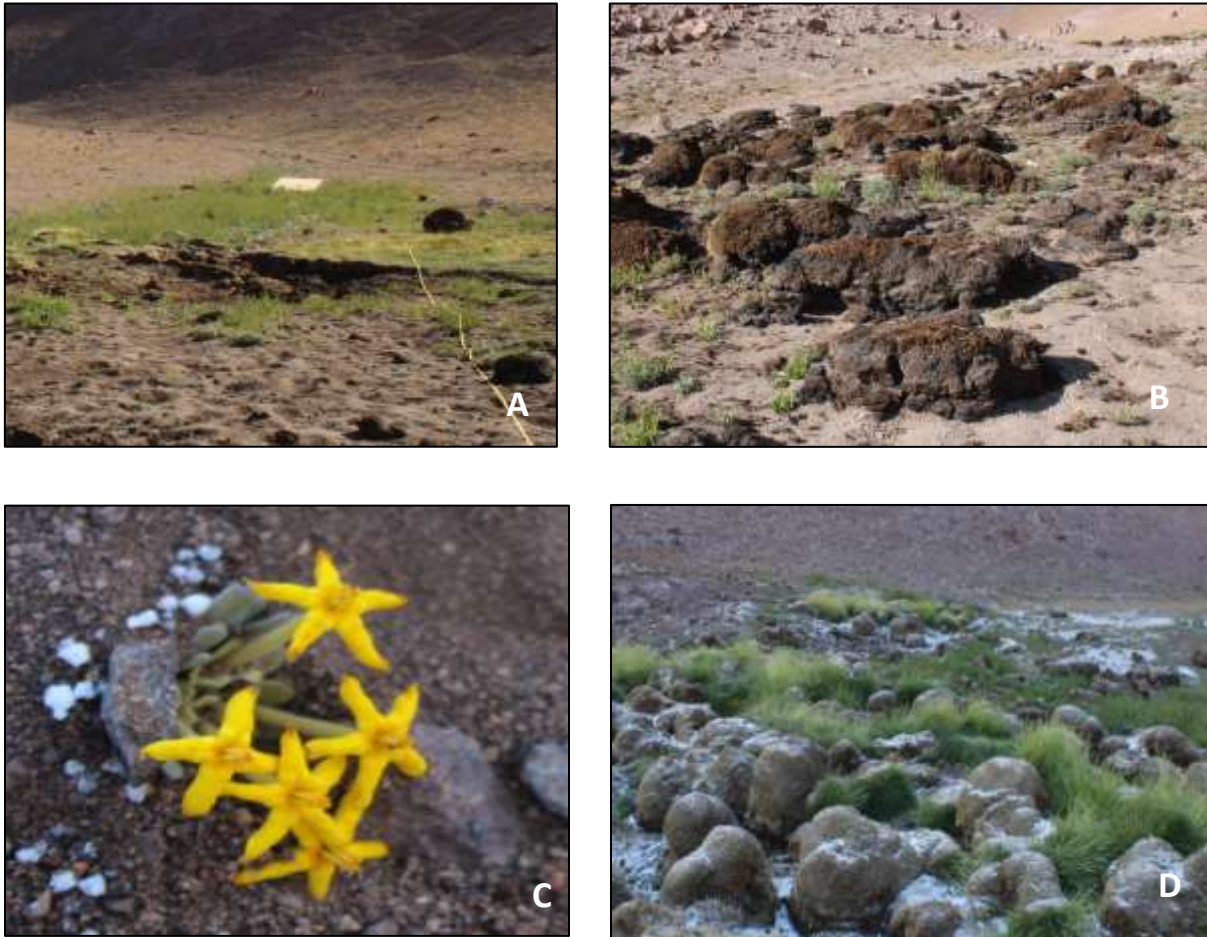
Fuente: Registro campaña en terreno.

(d). **Quebrada Tordillos**

La Quebrada Tordillos, se encuentra en la zona sureste de la cuenca del Salar de Pedernales, y el cuerpo de agua fluye en dirección sur-norte, en el sector sotavento de la ladera de los cerros. Vegetacionalmente se encuentra dominada por ejemplares de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*, en asociación con la especie *Calamagrostis velutina*, además de la presencia en de especímenes de las especies *Doniophyton anomalum*, *Atriplex sp.*, *Cruckshanksia marchanta*, *Doriophyton weddelli*, *Echeveria sp.*, *Halperstes uniflora*, *Lobelia oligophylla* y *Nicotina sp.*, entre otras. Cabe indicar que, si bien, la vegetación se encuentra dominada por *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*, ésta se encuentra en muy mal estado por la inexistencia de un caudal significativo.

Dada las características del lugar, se puede señalar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, por lo que, en aquellos periodos con faltas de lluvias significativas, no es de extrañar que no se observe un curso de agua definido. Por otra parte, existen estructuras de origen antrópico que sugieren la extracción de agua del lugar, la cual priva de este recurso a los bofedales ubicados en zonas bajas de la Quebrada.

Figura 5-10. Estaciones ubicadas en la Quebrada Tordillos



Estaciones L22 (A), L22 (B), L23 (C) y L23 (D).

Fuente: Registro Campaña en terreno

#### (e). Quebrada Las Tinajas

La Quebrada Las Tinajas, se encuentra en la zona suroeste de la cuenca del Salar de Pedernales, y carecía de la presencia de un cuerpo de agua superficial, aunque en base a la ubicación de la vegetación se podría atribuir la presencia de humedad en dirección suroeste, en el sector barlovento de la ladera de los cerros. Vegetacionalmente, se encuentra dominada por ejemplares de las especies *Acaena magellanica* y *Arenaria rivularis*, las cuales son características de ambientes de vegas (Castro R & Altamirano A. 2013). Además, se registró la presencia de las especies *Gamocarpha caespitosa*, *Gilia lacinata*, *Nicotina acuminata*, *Phacelia comingi* y *Schizopetalin rupestre* entre otras especies. No se observó la presencia de estructuras que pudiesen señalar la extracción de agua de la zona.

Figura 5-11. Estación sector Quebrada Las Tinajas.



A), B) y C) Estación L21.

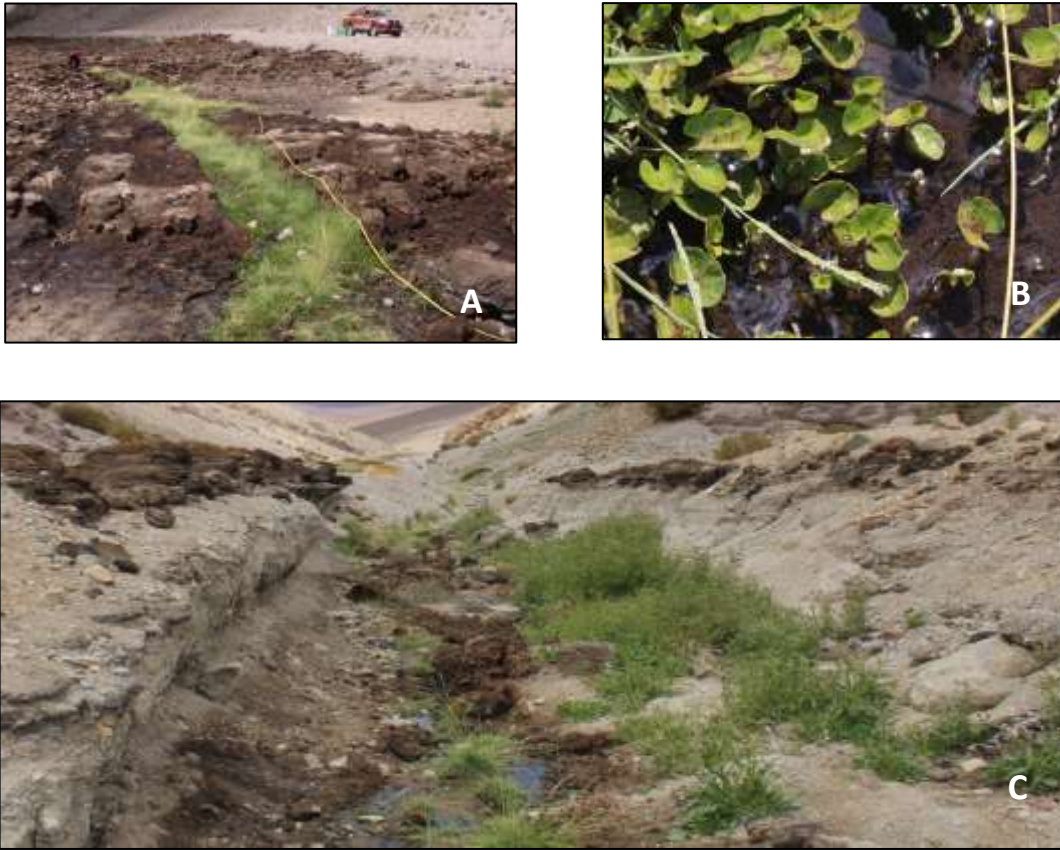
Fuente: Registro Campaña terreno.

#### (f). Quebrada El Colorado

La Quebrada El Colorado, se encuentra en la zona suroeste de la cuenca del Salar de Pedernales, cuyo cuerpo de agua, en las zonas donde se presentaba superficialmente, corría en dirección suroeste, en el sector barlovento de la ladera de los cerros. Vegetacionalmente se encuentra dominada por ejemplares de las especies de *Calamagrostis velutina* y en zonas con agua superficial de menor flujo se detectó la presencia de especímenes hidrófilas del género *Hydrocotyle* y *Festuca sp.* ambas características de ambientes de pajonales. Sin embargo, el 90% del área estaba cubierta de rastrojo de *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*. Otras especies detectadas en la zona fueron *Cristaria andicola*, *Halopappus rigidus*, *Halerpestes uniflora* y *Hordeum sp.* entre otras especies.

Finalmente se observó la presencia de estructuras que sugieren una continua extracción de agua de la zona, lo que aparentemente se vincula a la pérdida del área de cobertura de las especies características de pajonal como *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*.

Figura 5-12. Imagen general de las estaciones ubicadas en el sector Quebrada El Colorado.



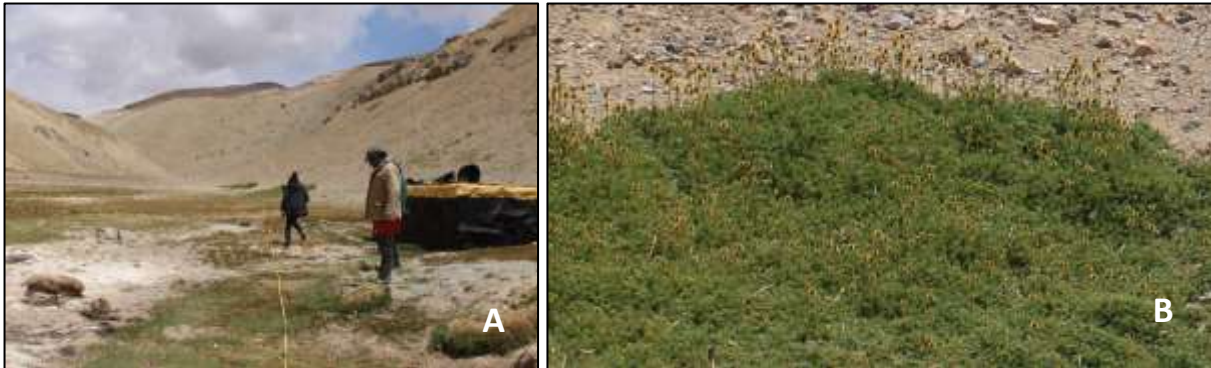
A) y B) Estación L29 y C) Estación L28.

Fuente: Registro campaña en terreno.

#### (g). Quebrada La Ciénaga

El sector de Quebrada La Ciénaga, se encuentra en la zona suroeste de la cuenca del Salar de Pedernales, y al momento de realizar el muestreo no presentaba un curso de agua superficial definido. Vegetacionalmente, se encuentra dominada por ejemplares de las especies *Acaena magellanica* y *Arenaria rivularis*, las cuales corresponden a especies características de ambientes de vegas (Castro R & Altamirano A. 2013). Además, se registró la presencia de otros especímenes de las especies *Euphorbia klotzchii*, *Lycium chilense* y *Puccinella frigida*. En esta localidad se observó la presencia de estructuras relacionadas con la extracción de agua.

**Figura 5-13. Estación Quebrada Río La Ciénaga.**



A) y B) Estación L15.

Fuente: Registro campaña en terreno.

### **5.3.2. Calidad del Agua en la zona de Quebradas que alimentan el sistema**

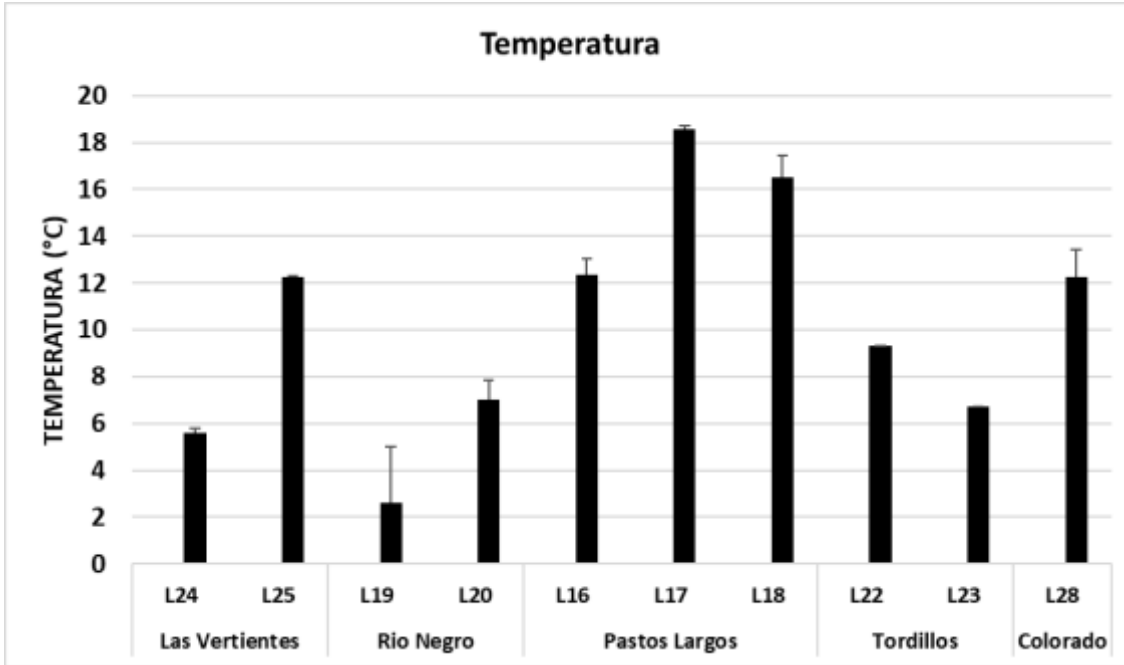
La calidad de las aguas fue medida a través de análisis in situ como de laboratorio, en aquellas estaciones en las cuales existía presencia de cuerpos de agua definidos. De esta manera, fue posible obtener datos in situ para las localidades Quebrada Las Vertientes (ie. estaciones L24 y L25); Río Negro (ie. estaciones L19 y L20); Pastos Largos (ie. Estaciones L16, L17 y L18); Tordillos (ie. Estaciones L22 y L23) y en Quebrada el Colorado (ie. Solo estación L28). Tanto en la estación L29 de la Quebrada el Colorado, así como la estación de las Tinajas (ie, estación L21) y de la Ciénaga (L15), no tenían agua presente en las estaciones. Por otro lado, algunas estaciones como L25 las Vertientes, L20 de Río Negro, y L22 - L23 de Los Tordillos presentaban agua principalmente en charcos entre la vegetación, por lo que solo se registraron datos in situ. Ante esto la toma de muestras para el análisis de laboratorio en las estaciones L24 de la Quebrada de Las Vertientes, en L19 de Río Negro, en todas las estaciones de Pastos Largos y solo en la estación L28 de la Quebrada el Colorado.

#### **(a). Temperatura superficial**

En la Figura 5-13 se presentan valores promedio de la temperatura (°C) del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas, y su respectiva desviación estándar, para las distintas estaciones presentes en la zona de Quebradas que presentaron cuerpos de agua al momento de ser muestreados.

De acuerdo con lo anterior, el valor promedio de temperatura más alto se registró en la estación L17, correspondiente al sector Quebrada Pastos Largos (ie. 18,6 °C, DS. 0,2), mientras que la más baja se presentó en la estación L19 del sector Río Negro (ie. 2,6°C, DS. 2,4°C).

Figura 5-14. Variabilidad de los valores promedio de la Temperatura (°C) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo.



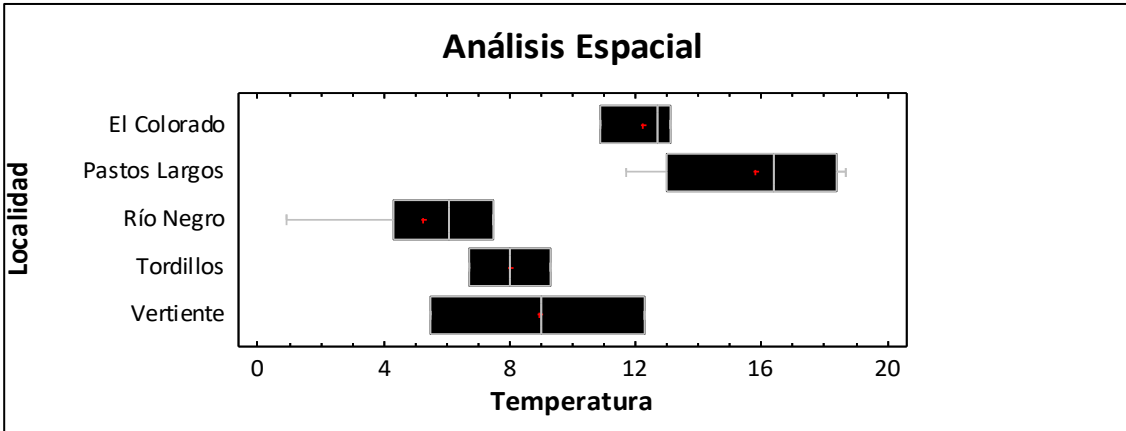
Estaciones sin agua: Quebrada el Colorado (L29), Quebrada Tinajas (L21) y Quebrada de la Ciénaga (L15).

Fuente: Elaboración propia.

En función de los valores promedio por cada sector, el parámetro temperatura presentó diferencias significativas ( $F = 12,9$ ;  $p=0,000$ ) entre los sectores estudiados (Figura 5-15), donde, en función del análisis *a posteriori*, se registraron tres grupos de estaciones, con una zona compuesta por las estaciones de las Quebradas El Colorado, Pastos Largos y las Vertientes, que agrupa las localidades con las temperaturas más altas y cuyas temperaturas se alojan en el rango de 12,23 y 15,81°C. Otro grupo está compuesto por las estaciones de los sectores de Tordillos y El Colorado, con temperaturas medias a bajas (ie. 6°C y 12,23°C), y finalmente el grupo de estaciones de los sectores Río Negro, Tordillos y la Vertiente con temperaturas bajas (entre 5,26 °C y 8,93 °C). La presencia de la localidad de las vertientes en ambos grupos responde a su alta variabilidad, debido a los bajos valores observados en L24 (Figura 5-15).



Figura 5-15. Análisis Espacial de los valores de temperatura registrados en las distintas estaciones de muestreo.  
( $F = 27,9$ ;  $p=0,000$ ).



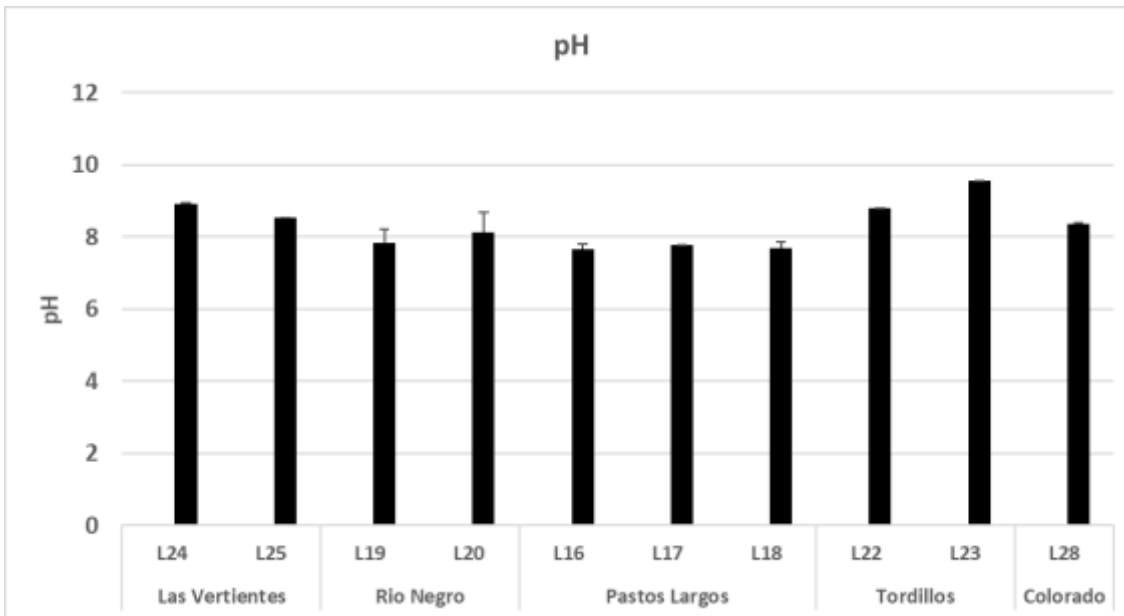
Estaciones sin agua: Quebrada el Colorado (L29), Quebrada Tinajas (L21) y Quebrada de la Ciénaga (L15).

Fuente: Elaboración propia.

#### (b). pH del agua

En la Figura 5-16 se presentan valores promedio de la pH del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas, con su respectiva desviación estándar para las distintas estaciones presentes en la zona de Quebradas. En este sentido, el valor promedio de pH más alto se registró en la estación L23, correspondiente a la Quebrada Tordillos (ie. 9,6 pH, DS. 0,1), mientras que el valor más bajo se presentó en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos (ie. 7,7 pH, DS. 0,2). A nivel espacial, los valores de pH no presentaron diferencias significativas ( $0,39$ ;  $p=0,811$ ).

Figura 5-16. Variabilidad de los valores promedio de la pH en la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.

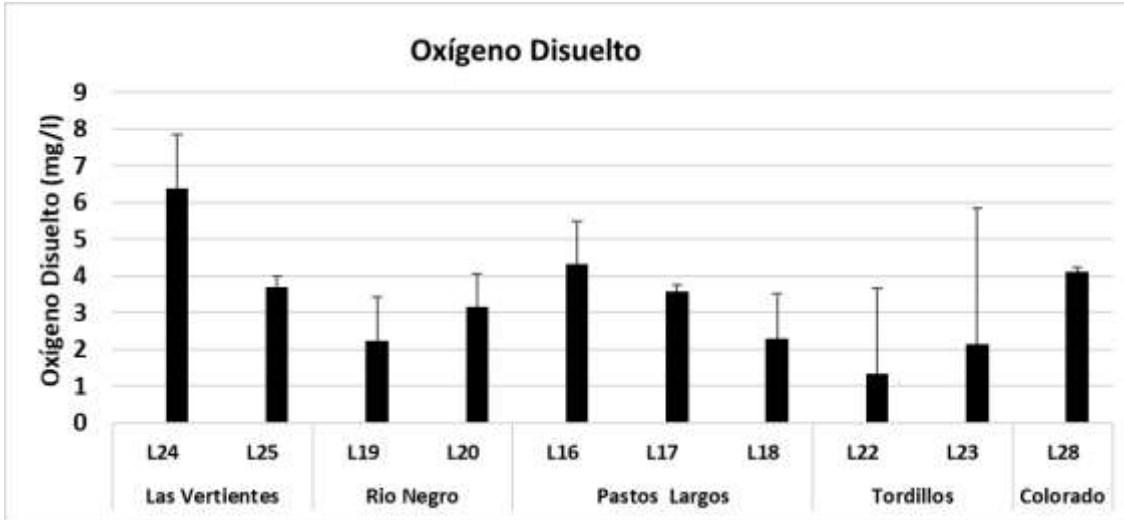


Fuente: Elaboración propia.

**(c). Oxígeno Disuelto (mg/L)**

En la Figura 5-17 se presentan valores promedio de la Oxígeno Disuelto (mg/L) del cuerpo de agua, y su respectiva desviación estándar para las distintas estaciones presentes en la zona de Quebradas que presentaron cuerpos de agua al momento de ser muestreados. En este sentido, el valor promedio de oxígeno disuelto más alto se registró en la estación L24, correspondiente a la Quebrada Las Vertientes (ie. 6,4 mg/L, DS. 1,5 mg/L), mientras que la más baja se presentó en la estación L22 de la Quebrada Tordillos (ie. 1,3 mg/L, DS. 2,3 mg/L), no encontrado diferencias significativas a nivel espacial ( $F=2,4$ ;  $0,084$ ).

Figura 5-17. Variabilidad de los valores promedio de la Oxígeno Disuelto (mg/L) Zona de Quebradas que alimentan el sistema.

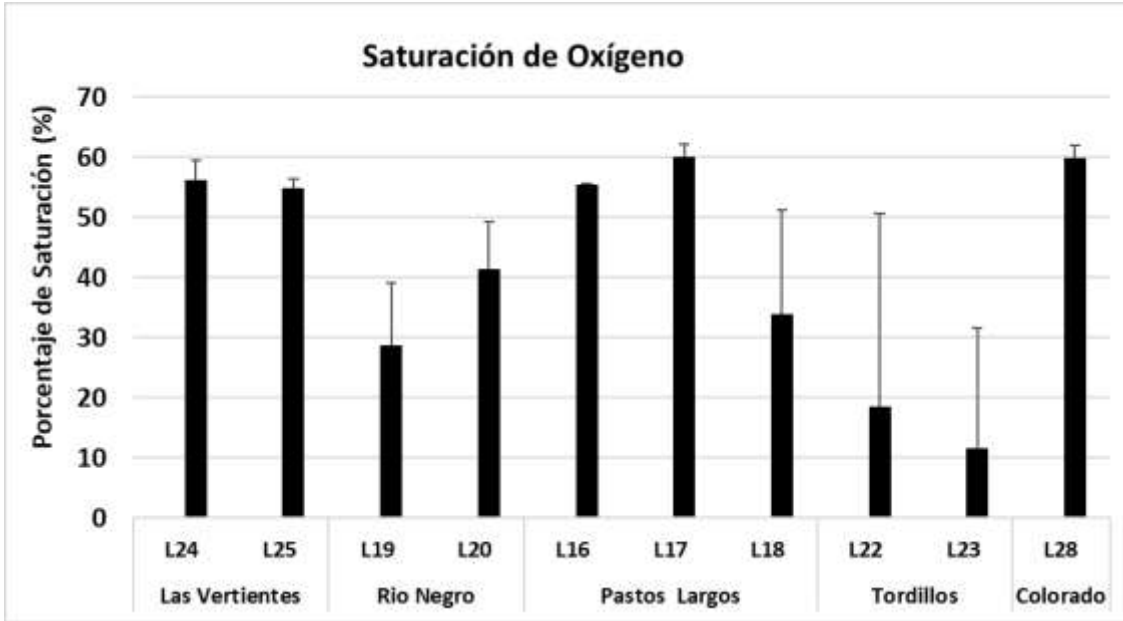


Fuente: Elaboración propia.

**(d). Porcentaje de saturación del Oxígeno (%)**

En la Figura 5-18 se presentan valores promedio de los porcentajes de saturación de Oxígeno (%) registrados en el cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. En este sentido, el valor promedio de saturación de oxígeno más alto se registró en la estación L17, correspondiente a la Quebrada Pastos Largos (ie. 60 %, DS. 2,3), mientras que la más baja se presentó en la estación L23 en la Quebrada Tordillos (ie. 11,6 %), no encontrando diferencias significativas a nivel espacial ( $F=1,77$ ;  $0,173$ ).

Figura 5-18. Variabilidad de los valores promedio del Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) en la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.



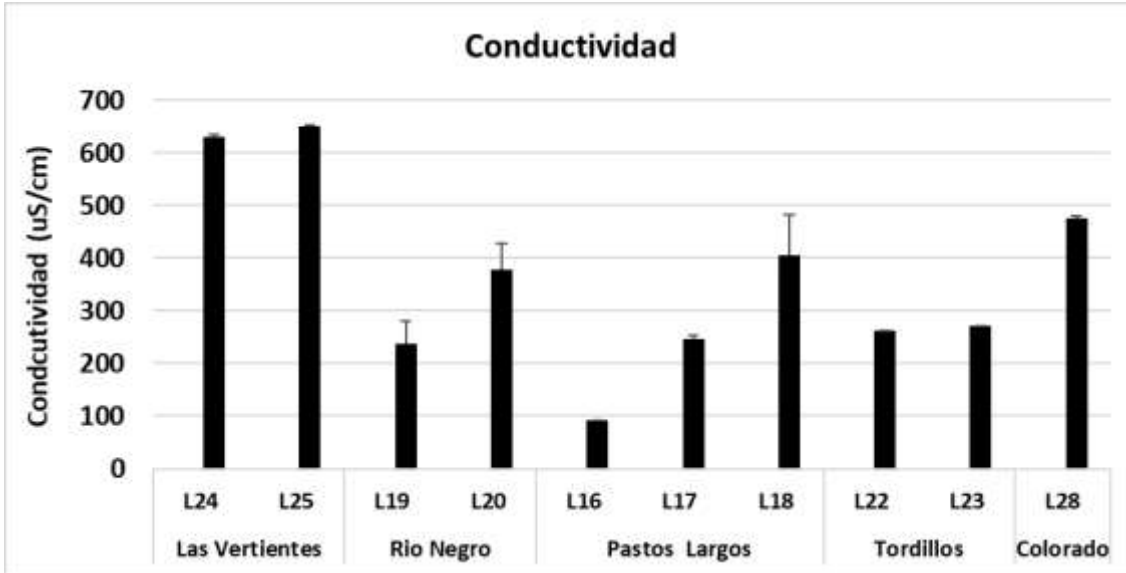
Fuente: Elaboración propia.

**(e). Conductividad Eléctrica (uS/cm)**

En la Figura 5-19 se presentan valores promedio de la Conductividad (uS/cm) del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. El valor promedio de conductividad eléctrica más alto se registró en la estación L25, correspondiente a la Quebrada Las Vertientes (ie. 652 uS/cm, DS. 2,0), mientras que la más baja se presentó en la estación L16 de la Quebrada Pastos Largos (ie. 91,7 uS/cm, DS. 0,6).

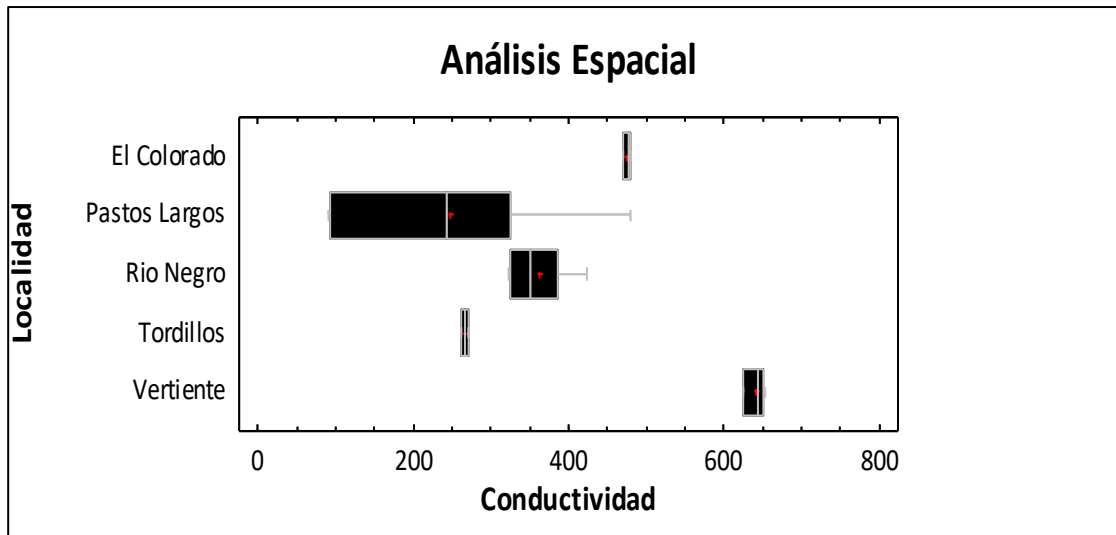
A nivel espacial, los valores de temperatura presentaron diferencias significativas ( $F = 18,36$ ;  $p=0,000$ ), donde en función del análisis *a posteriori* se registran tres grupos de estaciones, una zona compuesta por las estaciones de las Quebradas El Colorado y Las Vertientes, con valores de conductividad altos (ie. 475,6 y 640,7 uS/cm en promedio, respectivamente); otra zona compuesta por las estaciones de las localidades de El Colorado, Río Negro y Tordillos, con conductividades medias a bajas (ie. 475,6, 361,4 y 266,5 uS/cm en promedio respectivamente), y finalmente el grupo de estaciones formado por las estaciones Río Negro, Los Tordillos y Pastos Largos con conductividades bajas (ie. 361,4, 266,5 y 247,4 uS/cm) (Figura 5-20).

Figura 5-19. Variabilidad de los valores promedio de la Conductividad (°C) de la Zona de Quebradas que alimentan el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20. Análisis Espacial de los valores de temperatura registrados en las estaciones de muestreo de la Zona de Quebradas que alimentan el sistema. ( $F = 27,9$ ;  $p=0,000$ ).



Fuente: Elaboración propia.

### **5.3.3. Composición Química del Agua en la zona de Quebradas**

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del agua en la zona de Quebradas que alimentan el sistema. Durante la campaña de verano de 2023 se recolectó agua suficiente para los análisis químicos de las siguientes 6 estaciones: L24 correspondiente a la Quebrada Las Vertientes, L19 correspondiente a la Quebrada Río Negro, L16, L17 y L18 correspondientes a Pastos Largos, y L28 correspondiente a la Quebrada El Colorado.

Al analizar los valores obtenidos, se pudo observar que existen parámetros que presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo (cadmio, cianuro, cobalto, mercurio, níquel, plata, selenio, razón RAS y plomo, aceites y grasas, y sólidos sedimentables). Así mismo, se observa que la mayor parte de los parámetros que mostraron valores cuantificables presentaron valores por debajo de los límites establecidos en la normativa de referencia. Sin embargo, un total de 3 parámetros mostraron valores por sobre los límites establecidos en la normativa de referencia en al menos uno de los puntos de muestreo evaluados. A continuación, se describe el comportamiento espacial de los parámetros cuantificados y su relación con los límites establecidos en las normas de referencia.

#### **(a). Requisitos del agua para riego (Tablas 1, 2 Y 3 NCh 1.333. Of.78/1987)**

En términos generales, de los 27 metales analizados, 9 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y solo tres estuvieron por sobre los límites de la NCh 1.333. Of.78/1987, los cuales fueron hierro (ie. en la estación L19 de Río Negro, con 7,6 mg/L), manganeso (ie. en tres estaciones, L19 en Río Negro con 2,2 mg/L, y L17 y L18 en Pastos Largos con 0,5 y 0,4 mg/L respectivamente) y sodio porcentual (ie. L24 en Las Vertientes con 54%). El resto de los elementos analizados presentaron valores por debajo de la normativa vigente, relacionada con los requisitos del agua para riego. A continuación, se realiza un análisis al detalle para cada elemento.

**Tabla 5-3. Parámetros de calidad de agua por estación de muestreo en subsistema Quebradas que alimentan sistema.**

Parámetro	Unid	Las Vertientes	Río Negro	Quebrada Pastos Largos			Quebrada El Colorado	Norma Referencia	Límite NCh 1333	Limite detección
		L24	L19	L16	L17	L18	L28			
Tabla 1										
Aluminio	mg/L	1,380	0,095	0,69	0,466	0,257	0,242	NCh 1333	5,000	0,010
Arsénico	mg/L	0,027	0,006	0,006	0,011	0,009	0,01	NCh 1333	0,100	0,001
Bario	mg/L	0,022	0,029	0,029	0,033	0,057	0,028	NCh 1333	4,000	0,002
Berilio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,100	0,001
Boro	mg/L	0,468	0,284	0,07	0,189	0,471	0,155	NCh 1333	0,750	0,020
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,010	0,001
Cianuro	mg CN/L	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	NCh 1333	0,200	0,020
Cloruro	mg/L	75,500	10,500	4,7600	35,00	7,580	15,500	NCh 1333	200,000	3,000
Cobalto	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,050	0,005
Cobre	mg/L	0,011	0,011	0,009	0,021	0,114	0,127	NCh 1333	0,200	0,005
Cromo total	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,011	0,005	0,005	NCh 1333	0,100	0,005
Fluoruro	mg/L	0,180	0,220	0,180	0,330	0,640	0,190	NCh 1333	1,000	0,100
Hierro	mg/L	0,766	7,350	0,690	2,540	2,970	0,310	NCh 1333	5,000	0,020
Litio	mg/L	0,065	0,028	0,004	0,01	0,034	0,018	NCh 1333	2,500	0,003
Litio cítrico	mg/L	0,065	0,028	0,004	0,01	0,034	0,018	NCh 1333	0,080	0,003
Manganeso	mg/L	0,025	2,16	0,03	0,5	0,433	0,034	NCh 1333	0,200	0,001
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,000	0,001
Molibdeno	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,007	0,006	0,005	NCh 1333	0,010	0,001
Niquel	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,200	0,001
Plata	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	NCh 1333	0,200	0,001
Plomo	mg/L	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020	NCh 1333	5,000	0,001
RAS	-	2,020	1,100	0,510	0,948	1,100	0,963	NCh 1333	S/L	0,000

Parámetro	Unid	Las Vertientes	Río Negro	Quebrada Pastos Largos			Quebrada El Colorado	Norma Referencia	Límite NCh 1333	Limite detección
		L24	L19	L16	L17	L18	L28			
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,02	0,005
Sodio porcentual	%	58,400	26,500	6,850	18,700	21,700	25,200	NCh 1333	35,00	0,000
Sulfato	Mg SO <sub>4</sub> /L	19,600	32,500	6,790	18,500	10,700	150,000	NCh 1333	250,00	5,000
Vanadio	mg/L	0,016	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	NCh 1333	0,10	0,008
Zinc	mg/L	0,010	0,019	0,049	0,091	0,118	0,025	NCh 1333	2,00	0,002
Tabla 2										
Conductividad (25°C)	μs/cm	611,000	302,000	91,600	235,000	438,000	497,000	NCh 1333	750,00	1,000
Sólidos disueltos T	mg/L	415,000	165,000	60,000	140,000	305,000	290,000	NCh 1333	500,00	5,000
Tabla 3										
pH (25°)	unidad	7,980	7,390	7,160	7,350	7,570	7,260	NCh 1333	6,0 – 9,0	5,500

\* Los valores verdes representan muestras con valores en el límite de detección, mientras que los valores rojos representan valores sobre la Norma.

\* Las estaciones Las Vertientes (L25), Río Negro (L20), Tordillos (L22 y L23) presentaban parámetros bajo el límite de detección.

Estaciones sin agua: Quebrada el Colorado (L29), Quebrada Tinajas (L21) y Quebrada de la Ciénaga (L15).

Fuente: Elaboración propia.



(i). *Aluminio*

El aluminio presentó valores que variaron con un máximo de 1,38 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, hasta un mínimo de 0,095 mg/L en la estación L19 de la Quebrada Río Negro, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21A).

(ii). *Arsénico*

El arsénico presentó valores que variaron un máximo de 0,027 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes hasta un mínimo de 0,006 mg/L en la estación L16 de la Quebrada Pastos Largos, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21B).

(iii). *Bario*

El bario presentó valores que variaron un máximo de 0,057 mg/L en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos hasta un mínimo de 0,022 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21C).

(iv). *Boro*

Respecto al boro, este presentó valores que variaron un máximo de 0,471 mg/L en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos hasta un mínimo de 0,022 mg/L en la estación L16, al inicio de la misma Quebrada, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 D).

(v). *Cloruro*

Respecto al cloruro, este presentó valores que variaron un máximo de 75,5 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes hasta un mínimo de 4,76 mg/L en la estación L16, al inicio de la Quebrada Pastos Largos, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 E).

(vi). *Cobre*

El cobre presentó valores que variaron un máximo de 0,127 mg/L en la estación L18, al final de la Quebrada Pastos Largos, hasta un mínimo de 0,0019 mg/L en la estación L19, en la Quebrada Río Negro, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 F).

(vii). *Cromo*

El cromo en general presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,005 mg/L), salvo en la estación L17 de la Quebrada Pastos Largos, donde el valor detectado fue de 0,011 mg/L (Tabla 5-3).

(viii). *Fluoruro*

El fluoruro presentó valores que variaron entre un máximo de 0,64 mg/L en la estación L18, al final de la Quebrada Pastos Largos, hasta un mínimo de 0,19 mg/L en la estación L16, al inicio de la misma Quebrada, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 G).

(ix). *Hierro*

El hierro presentó valores que variaron entre un máximo de 7,35 mg/L en la estación L19 de la Quebrada Río Negro, valor sobre el límite de referencia de la normativa vigente, estipulado en 5 mg/L, y un mínimo de 0,31 mg/L en la estación L28 de Quebrada El Colorado (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 H).

(x). *Manganeso*

El manganeso presentó valores que fluctuaron entre un mínimo de 0,025 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes y un máximo de 2,16 mg/L en la estación L19 de la Quebrada Río Negro. Tanto el valor detectado en esta estación, así como los de las estaciones L17 y L18 de la Quebrada Pastos Largos superaron los valores de la normativa actual, fijado en 0,001 mg/L (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-21 I).

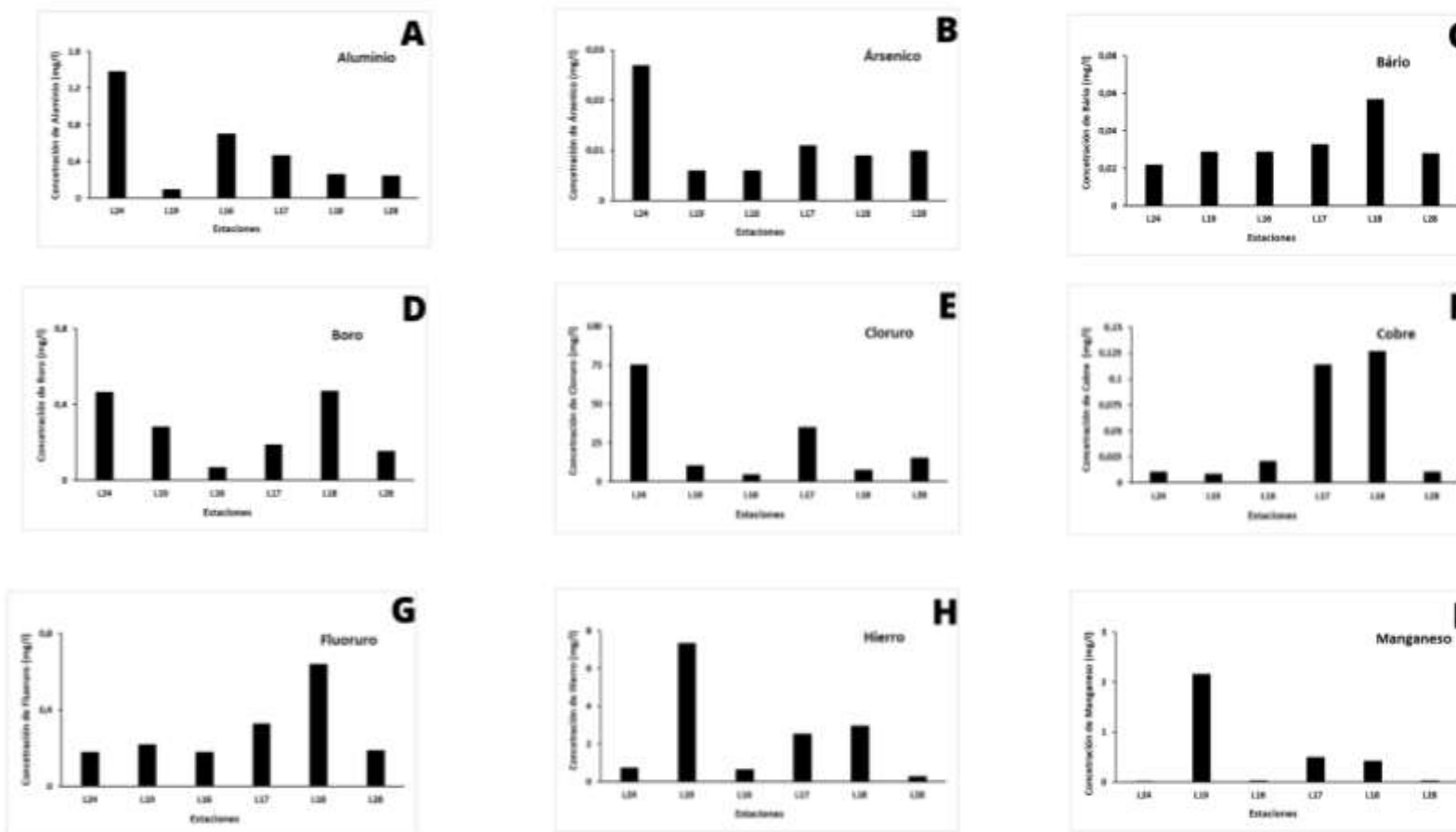
(xi). *Litio y Litio Cítrico*

El litio y litio cítrico presentaron concentraciones que variaron entre un máximo de 0,65 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, hasta un mínimo de 0,004 mg/L en la estación L16, al inicio de la Quebrada Pastos Largos, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-22 A y B).

(xii). *Molibdeno*

El molibdeno presentó valores que fluctuaron entre concentraciones inferiores al límite de detección de 0,005 mg/L en estaciones y un máximo de 0,007 mg/L, registrado en la estación L17 de la Quebrada Pastos Largos (Tabla 5-3), el cual es superior al límites fijado por la normativa vigente que es de 0,005 mg/L para este elemento (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-22 C).

Figura 5-21. Concentraciones de (A) aluminio, (B) arsénico, (C) bario, (D) boro, (E) cloruro, (F) cobre, (G) fluoruro, (H) hierro y (I) manganeso por estación obtenidas de las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema



Fuente: Elaboración propia.

(xiii). *Plomo*

El plomo en general presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,005 mg/L), salvo en la estación L19 de la Quebrada Río Negro, donde el valor detectado fue de 0,021 mg/L, el cual está por debajo de los límites fijados por la normativa nacional que es de 5 mg/L (Tabla 5-3 y Figura 5-22 D).

(xiv). *Sodio Porcentual*

El sodio porcentual presentó valores que variaron entre un máximo de 58,4 % en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, el cual estuvo por sobre el límite de la normativa vigente, estipulado en 35 %, y un mínimo de 6,85% en la estación L16 de Quebrada Pastos Largos (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-22 E).

(xv). *Sulfato*

El sulfato presentó valores que variaron entre un máximo de 150 mg/L en la estación L28 de la Quebrada El Colorado y un mínimo de 6,79 mg/L en la estación L16 de Quebrada Pastos Largos (Ver Tabla 5-3 y Figura 5-22 F), todas con valores que estuvieron por debajo de los límites estipulados en la normativa (ie. 250 mg/L).

(xvi). *Vanadio*

El vanadio presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,008 mg/L) en la mayoría de las estaciones, salvo en dos: la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes con concentraciones de 0,016 mg/L y en la estación L17 de la Quebrada Pastos Largos, donde el valor detectado fue de 0,009 mg/L. En ambos casos los valores están por debajo de los límites fijados por la normativa nacional que es de 0,10 mg/L (Tabla 5-3 y Figura 5-22 G).

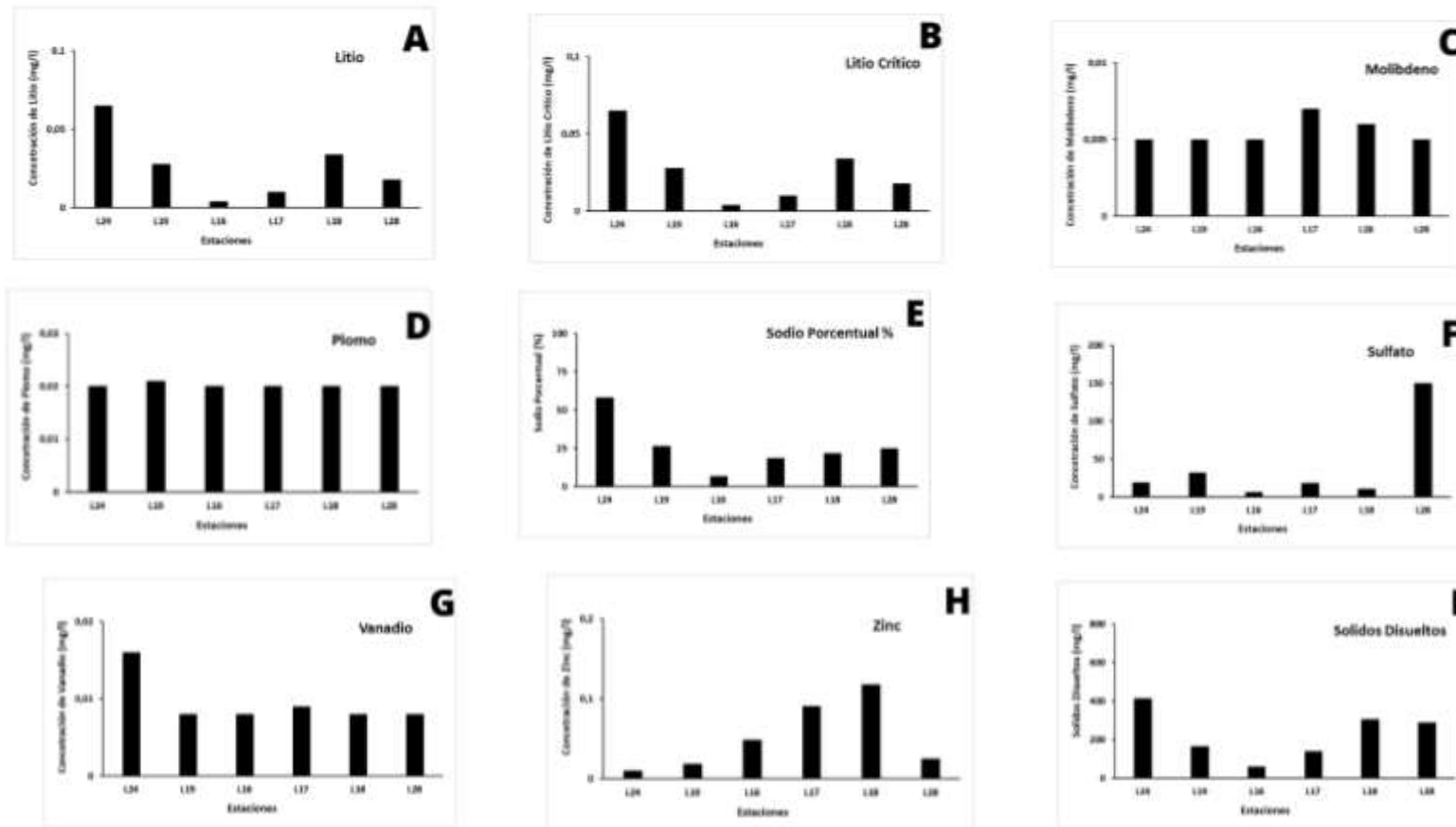
(xvii). *Zinc*

El zinc presentó concentraciones bajo los límites máximos estipulados en la normativa nacional (ie. 2,00 mg/L). La concentración máxima registrada se obtuvo en la estación L18 de Quebrada Pastos Largos (ie. 0,118 mg/L) y el mínimo fue de 0,01 mg/L en la estación L24 de la Quebrada las Vertientes (Tabla 5-3 y Figura 5-22 H).

(xviii). *Sólidos Disueltos*

Los sólidos disueltos presentaron concentraciones por debajo de lo establecido en la normativa vigente en todas las estaciones (ie 500 mg/L), cuyos máximos se registraron en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, con una concentración de 415 mg/L. Por el contrario, la menor concentración se registró en la estación L16 de la Quebrada Pastos Largos (ie. 60 mg/L) (Tabla 5-3 y Figura 5-22 I).

Figura 5-22. Concentraciones de A) litio; B) litio Crítico; C) molibdeno, D) plomo; E) sodio porcentual, F) sulfato, G) vanadio, H) zinc, I) solidos disueltos, por estación obtenidas de las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Requisitos para agua destinada a recreación (Tabla 3, NCh 1.333. Of.78/1987)**

La turbiedad del agua registró valores que fluctuaron entre un mínimo de 1,3 UNT, en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes y un máximo de 44,9 UNT en la estación L17 de la Quebrada Pastos Largos. Del total de las estaciones, solo 2 cumplen con el valor máximo establecido en la NCh 1333.Of78/1987 (7,5 NTU) (Figura 5-23 A).

Los coliformes fecales en la mayoría de las estaciones, estuvieron por debajo de los límites de detección (ie. 1,8 NMP/100), sin embargo, la muestra de la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, presentó altos valores, equivalentes a 490 NMP/100, no obstante, corresponde a un resultado que sigue estando por debajo del valor referencial de la norma vigente (1000 NMP/100ml).

**(c). Requisitos para vida acuática (Tabla 4 NCh 1.333. Of.78/1987)**

La alcalinidad total varió entre un mínimo de 26,2 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L16 de Pastos Largos y un máximo de 173 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L18 de la misma Quebrada. Ninguna de las estaciones cumplió con el mínimo establecido en la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987 que fija un valor mínimo de 20 mg/L (Figura 5-23 B).

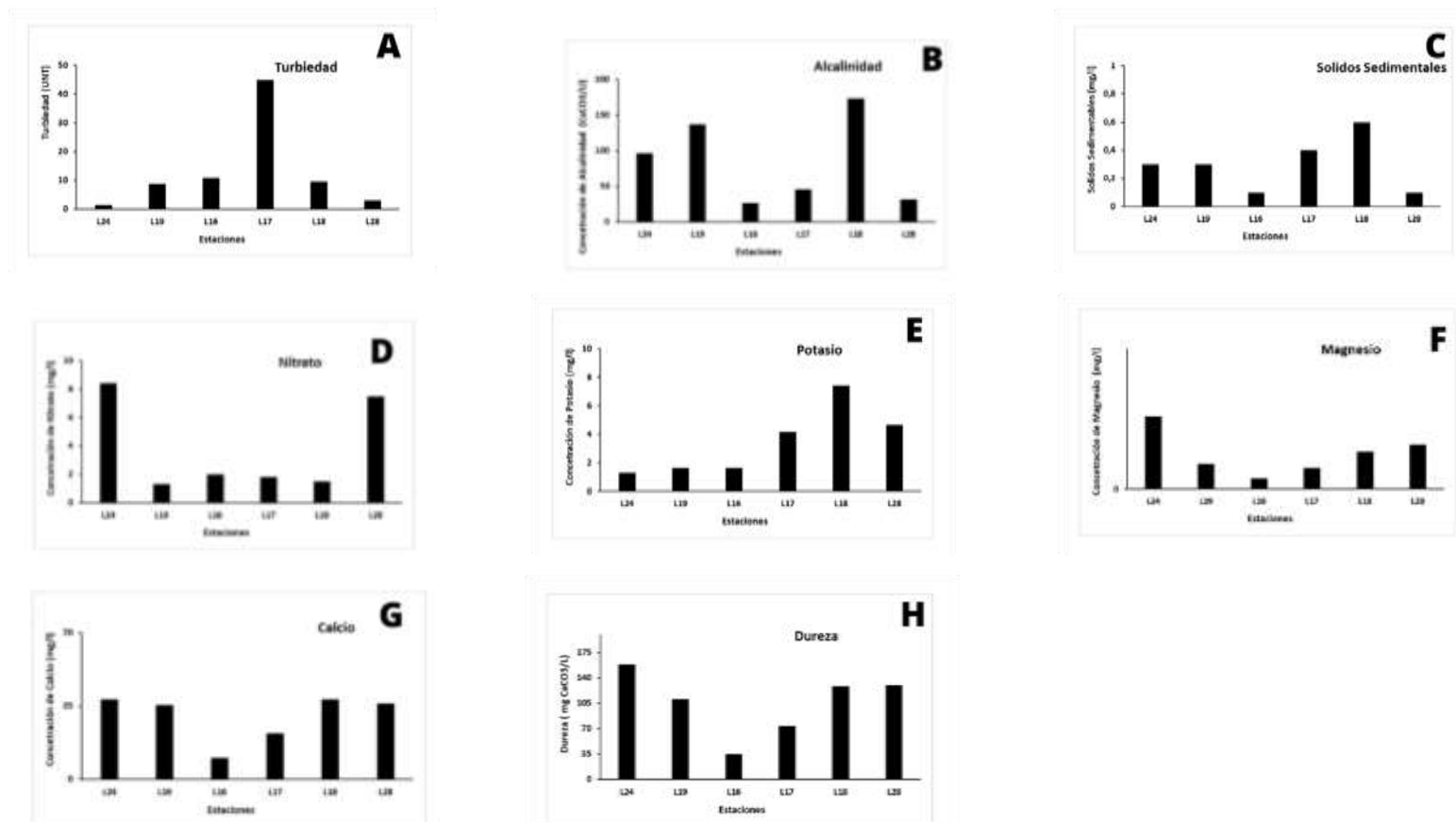
El color verdadero presentó valores que fluctuaron entre un mínimo de 5 unidades Pt- Co en la estación L28 de la Quebrada el Colorado y un máximo de 10 unidades en el resto de las estaciones, cumpliendo con la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987 (100 unidades Pt-Co).

Los sólidos sedimentables presentaron valores máximos en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos de 0,6 mg/L y mínimos de 0,1 mg/L en la estación L16 de la misma Quebrada (Figura 5-23 C).

**(d). Nutrientes e Iones Mayoritarios**

El nitrato varió entre un mínimo de 2 mg/L en la estación L16 de Pastos Largos y un máximo de 8,4 mg/L, en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes (Figura 5-23 D), mientras que para el potasio, las concentraciones máximas se registraron en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos con un valor de 7,39 mg/L, y un mínimo fue de 1,29 mg/L en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes (Figura 5-23 E). Con relación al magnesio, el máximo registrado fue de 15,4 mg/L en la estación L24 de las Vertientes y el mínimo de 2,24 en la estación L16 de Pastos Largo (Figura 5-23 F). En cuanto al calcio las concentraciones mayores fueron registradas en la estación L18 de pastos largos con un valor de 38,2 mg/L, mientras que el mínimo fue de 10,2 mg/L en la estación L16 de la misma Quebrada (Figura 5-23 G).

Figura 5-23. Concentraciones de A) litio ; B) litio crítico; C) molibdeno; D) plomo; E) sodio porcentual, F) sulfato, G) vanadio, H) zinc, I) solidos disueltos por estación obtenidas de las estaciones de Quebradas que alimentan el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

(e). **Otras variables de importancia limnológica**

La dureza total mostró valores relativamente similares entre las estaciones de muestreo, variando entre un mínimo de 34,69 en la estación L16 de la Quebrada Pastos Largos con 34,69 mg CaCO<sub>3</sub>/l y un máximo de 158,6 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L24 de la Quebrada Las Vertiente con un valor de 158,6 mg CaCO<sub>3</sub>/l (Error! No se encuentra el origen de la referencia.H).

**5.3.4. Sedimentos en la zona de Quebradas que alimentan el sistema**

(a). **Características generales de los sedimentos**

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del sedimento en el subsistema de Quebradas (Tabla 5-4). El contenido de aceites y grasas en la mayoría de las estaciones no superó los valores de límite de detección instrumental, salvo en la estación L24 donde alcanzó los 2007 mg/kg y en L28 donde alcanzo los 2012 mg/kg.

En cuanto al contenido de materia orgánica, este fue heterogéneo entre las estaciones, variando entre un mínimo de 11177 mg/kg en la estación L18 en la Quebrada Pastos Largos, y un máximo de 63504 mg/kg en la estación L28 de la Quebrada El Colorado.

Por su parte la humedad presentó valores que fluctuaron entre 19,3% y 41,69% en los puntos de muestreo L17 en la Quebrada Pastos Largos y L28 en la Quebrada El Colorado, respectivamente.

En cuanto al potencial de óxido reducción (Redox) de los sedimentos, se registraron valores de ambientes reductores lo cual esta presentado por un valor negativo en la mayoría de las estaciones, salvo en las estaciones L17 en la Quebrada Pastos Largos y L19 en la Quebrada El Colorado (ie. 7,9 mV y 104 mV respectivamente).

El análisis granulométrico de los puntos de muestreo evidencio que, en la mayoría de las estaciones, el sustrato está dominado por grava (tamiz N°10), lo cual bordea el 40% del contenido de partículas de las muestras, salvo en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos que alcanza porcentajes de representatividad del 31%. La segunda fracción de interés o la de mayor abundancia es el tamiz vinculado a la fracción de arenas, la cual representó entre un 20-30% de los sedimentos de las estaciones en la zona de Quebradas (Figura 5-24).



Figura 5-24. Porcentaje de conformación de sedimentos según tipo de grano.



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Metales Pesados contenidos en los sedimentos de las estaciones ubicadas en el sistema de Quebradas**

Respecto al contenido de metales en los sedimentos, en general el hierro fue el que registró las concentraciones más altas, mientras que berilio, cadmio y mercurio presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo. A continuación, se presenta un detalle de las concentraciones de cada elemento analizado cuya concentración pudo determinarse. El arsénico presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,092 mg/kg en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, y un máximo de 18,7 mg/kg en la estación L19 de la Quebrada Río Negro (Tabla 5-4). En cuanto al cobre, este presentó concentraciones que variaron entre un mínimo de 6,62 mg/kg y un máximo de 36,05 mg/kg, en las estaciones L18 de la Quebrada Pastos Largos, y L28 de la Quebrada El Colorado, respectivamente (Tabla 5-4).

El cromo registró valores que fluctuaron entre 1,5 mg/kg en la estación L19 de la Quebrada Río Negro, y 12,21 mg/Kg en la estación L28 de la Quebrada El Colorado (Tabla 5-4). El hierro, presentó concentraciones que fluctuaron entre un mínimo de 6695 mg/kg y un máximo de 9325 mg/kg, en las estaciones L24 de la Quebrada Las Vertientes, y L28 de la Quebrada El Colorado, respectivamente. En cuanto al plomo, se detectaron concentraciones que variaron entre un mínimo de 5,38 mg/kg y un máximo de 15,79 mg/kg, ambos valores para la estación L28 en la Quebrada El Colorado (Tabla 5-4).

Por último, el zinc registró un valor mínimo de 9,62 mg/kg en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos, y una concentración máxima de 54,06 mg/kg en la estación L28 de la Quebrada El Colorado (Tabla 5-4).

**Tabla 5-4. Valores puntuales de parámetros medidos en los sedimentos en la temporada 2023 para cada estación de muestreo.**

Parámetro	unidad	L24	L19	L16	L17	L18	L28	Norma Referencia	Límite detección
Aceites y grasas	Mg/Kg	2007,000	500,000	500,000	500,000	500,000	2012,000	EPA 9071 B	500
Arsénico	Mg/Kg	0,092	18,700	9,720	9,250	4,960	0,129	EPA 7062	0,025
Berilio	Mg/Kg	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	EPA 6010 D	0,125
Cadmio	Mg/Kg	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	4,860	EPA 6010 D	0,025
Cobre	Mg/Kg	18,050	14,290	19,870	10,600	6,620	36,050	EPA 6010 D	0,125
Cromo	Mg/Kg	1,600	1,50	1,740	2,190	2,560	12,210	EPA 6010 D	0,125
Hierro	Mg/Kg	6695,000	8493,000	8096,000	6903,000	7348,000	93250,000	EPA 6010 D	0,5
Mercurio	Mg/Kg	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	EPA 7471 B	0,025
Plomo	Mg/Kg	6,510	5,680	6,340	5,640	5,380	15,790	EPA 6010 D	0,5
Zinc	Mg/Kg	22,410	20,840	20,360	17,160	9,620	54,060	EPA 6010 D	0,05
Hidrocarburos totales	Mg/Kg	646,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	PFQ-085	500
Hidrocarburos fijos	Mg/Kg	646,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	EPA 9071	500
Hidrocarburos volátiles	Mg/Kg	0,500	0,524	0,500	0,500	0,563	0,500	EPA -8015-A	0,5
Humedad	Mg/Kg	20,920	38,110	27,700	19,300	25,620	41,690	SM2540 G	0,01
Materia orgánica	Mg/Kg	16971,000	21343,000	12377,000	21391,000	11177,000	63504,000	CNA 7.2	5
Potencial – óxido reducción	Mg/Kg	-2,000	7,900	-45,000	104,000	-16,000	-262,000	PFQ-085 Rev.0	--mv
Tamiz N°010 – 2 mm	Mg/Kg	54	43	44	43	31	52		0
Tamiz N°018 – 1 mm	Mg/Kg	32	45	31	33	23	32		0
Tamiz N°035 – 500 um	Mg/Kg	12	8	18	12	12	5		0
Tamiz N°070 – 212 um	Mg/Kg	1	2	5	8	15	3		0
Tamiz N°0120 – 125 um	Mg/Kg	1	1	2	3	10	4		0
Tamiz N°230 – 63 um	Mg/Kg	0	1	0	1	7	2		0
Tamiz < N°230 – 63 um	Mg/Kg	0	0	0	0	2	2		0

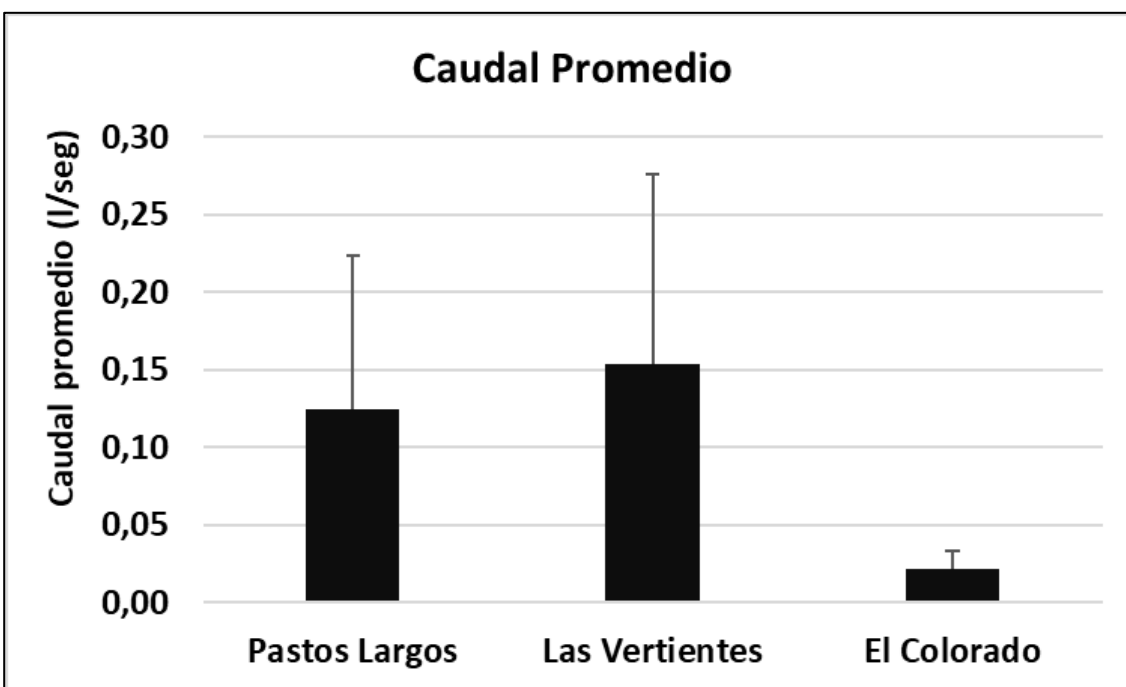
(\*) Los valores verdes representan muestras con valores en el límite de detección.

### 5.3.5. Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de Quebradas

El caudal se pudo determinar solo en tres sectores, estación C9 en la Quebrada Pastos Largos con un promedio de 0,12 l/s, estación C13 en la Quebrada Las Vertientes con un promedio de 0,15 l/s, y la estación L28 en la Quebrada El Colorado con 0,02 l/s.

La tónica general de la determinación del caudal fue la inexistencia de cursos de agua definidos en los sectores muestreados, y muchas veces la poca profundidad del lugar (<50 cm) que impidió la instalación del equipamiento para la determinación de Caudal, por esta razón los puntos donde se midió este parámetro no son coincidentes con los puntos establecidos en el Avenimiento, pese a esto si son representativos de los sectores establecidos por el. En la Figura 5-25 se aprecia los valores promedios para cada sector y su desviación estándar.

Figura 5-25. Caudal promedio y su respectiva desviación estándar para las localidades de las Quebradas de Pastos Largos, Las Vertientes y El Colorado en el verano 2023.



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.6. Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de Quebradas que alimentan el sistema

#### (a). Fitoplancton

La comunidad de microalgas planctónicas presentes en la zona de Quebradas con ríos y cuerpos de características dulceacuícolas estuvo compuesta por 40 taxa (Tabla 5-5), de los cuales, la mayoría pertenecen a la Clase Bacillariophyceae (Diatomeas) con 9 familias, y solo una especie pertenece a la familia de las Euglenaceae, de la Clase Euglenida, del Reino Protista.

En el caso de las diatomeas, 4 de las 9 familias concentraron el 87,8% de la abundancia total, las cuales correspondieron a Bacillariaceae con 31,3%, distribuidas en 12 taxa, Naviculaceae con 24,4% y 9 taxa, Catenulaceae con 22,1% y 9 taxa y Achnantheaceae con 10,08% y 5 taxa (Figura 5-26).

A nivel específico, dentro de la familia Bacillariaceae, la especie *Nitzschia acicularis* fue la más abundante, con el 6,7% de las abundancias, seguida de *Nitzschia commutata* con el 6,4%. En el caso de la familia Naviculaceae, la especie *Navicula salinicola* representó el 8,6 % de las abundancias, seguida de *Navicula parinacota* con el 6,4% (Figura 5-26). En la familia Catenulaceae, la especie *Amphora copulata* representó el 5,4 % de las abundancias, mientras que en la familia Achnantheaceae, la especie *Achnantheidium coarctatum* representó el 6,8%.

A nivel espacial, la máxima riqueza de especies registrada se obtuvo en la estación L25 de la Quebrada Las Vertientes, con 30 especies, y la mínima fue de 7 especies en la estación L19 de la Quebrada Río Negro (Figura 5-26 A). En relación con la abundancia total, el máximo se obtuvo en la estación L16 de la Quebrada de Pastos Largos con 19200 cel/ml, mientras que el mínimo fue de 2500 cel/ml en la estación L19 de la Quebrada Río Negro (Figura 5-26).

En cuanto al promedio por estación del índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 2,99 en la estación L24 de la Quebrada Las Vertientes, sugiriéndose por lo tanto una mayor complejidad en esta estación, sin embargo, el índice de Simpson fue de 0,69 en dicha estación, por lo que no existe una dominancia clara, mientras que en función de la equitatividad de Pielou abreviada de 0,93, se puede atribuir que en dicha estación las especies presentes son igualmente abundantes (Figura 5-27). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L19, con un índice de diversidad de Shannon observado de 1,51, lo que sugiere una baja representatividad de las especies. En dicha estación se obtuvo una alta equitatividad, lo que nos señala una buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación (ie. un índice de 0,91), aunque el índice de Simpson nos señala que hay dominancia de unas pocas especies (ie. un índice de 0,76) (Figura 5-27).

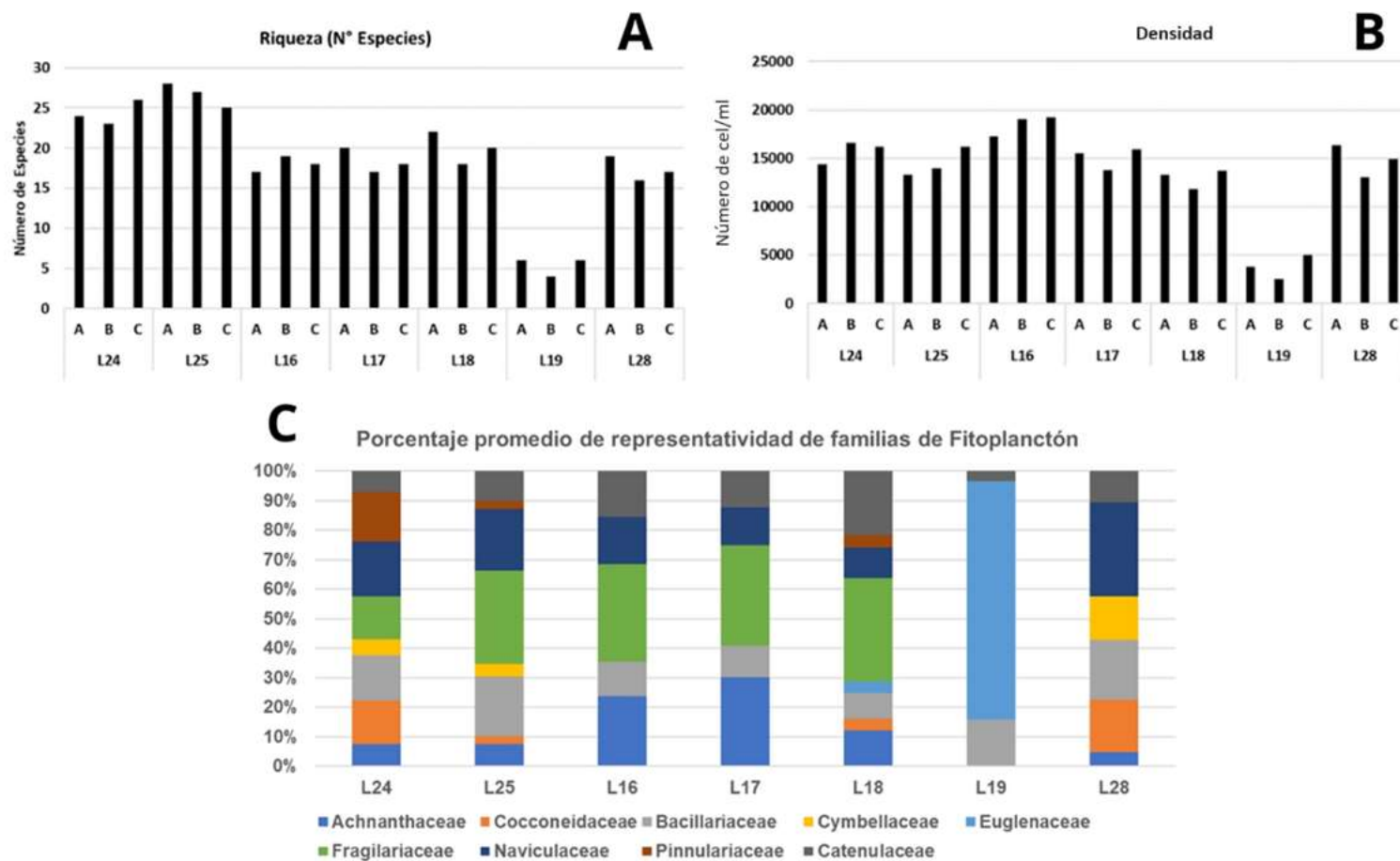
Tabla 5-5. Abundancia relativa de los taxa de fitoplancton (cel/ml) identificados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema

Orden	Familia	Taxa	Las Vertientes				Pastos Largos						Rio Negro		El Colorado	
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes_sp1</i>	3,670	0,580	3,000	2,000	3,670	1,530	0,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_coarctatum</i>	0,000	0,000	1,000	0,000	20,330	4,040	32,000	8,540	11,670	6,510	0,000	0,000	0,000	0,000
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_helveticum</i>	0,000	0,000	1,000	1,000	0,330	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,330	4,510
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_minutissimum</i>	5,670	2,520	2,000	1,000	5,670	1,150	1,000	1,730	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis_placentula</i>	4,670	4,160	0,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	4,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_elegans</i>	5,670	2,520	7,330	1,150	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	5,670	0,580
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp1</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,670	0,580	0,000	0,000	3,000	3,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp2</i>	4,670	1,150	3,670	0,580	0,000	0,000	12,330	3,510	0,670	0,580	0,000	0,000	5,670	3,060
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_acicularis</i>	9,670	4,040	12,330	8,080	22,330	2,310	0,000	0,000	1,000	0,000	3,670	3,510	15,000	5,200
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_commutata</i>	4,000	3,610	2,670	0,580	12,000	2,650	12,670	1,150	14,000	1,000	5,330	0,580	10,000	3,460
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_epithemoides</i>	4,000	1,000	6,000	2,650	4,330	3,790	5,000	1,000	4,330	1,530	0,000	0,000	3,670	4,040
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_fonticola</i>	3,670	2,080	2,000	2,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_hantzschiana</i>	7,000	8,190	11,670	9,870	5,670	5,690	2,330	2,310	3,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_inconspicua</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	10,670	10,500	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_palea</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,670	0,580	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_pusilla</i>	10,330	10,500	11,670	2,080	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_valdecostata</i>	9,670	4,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,330	1,530
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella_affinis</i>	1,670	0,580	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,330	2,080
Euglenida	Euglenaceae	<i>Euglena_sp</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	10,000	1,730	0,000	0,000
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_capucina</i>	5,670	1,530	11,330	1,530	9,330	3,790	6,670	0,580	5,330	1,530	0,000	0,000	0,000	0,000
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_tenera</i>	3,670	2,080	3,670	0,580	11,670	3,510	12,330	8,080	11,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_capitatoradiata</i>	4,000	4,000	2,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_cincta</i>	4,000	0,000	1,330	1,530	3,330	1,530	2,000	0,000	1,330	2,310	0,000	0,000	0,000	0,000

Orden	Familia	Taxa	Las Vertientes				Pastos Largos						Rio Negro		El Colorado	
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_cryptotenella</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,000	2,650
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_gregaria</i>	12,330	7,510	1,000	0,000	21,000	3,610	14,330	3,210	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_lanceolata</i>	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,670	1,150	0,000	0,000	0,000	0,000	1,330	0,580
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_parinacota</i>	10,330	4,040	11,670	0,580	5,670	0,580	0,000	0,000	12,330	4,040	0,000	0,000	25,670	4,510
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_salinicola</i>	12,000	7,940	22,000	3,610	10,330	1,530	11,670	0,580	5,670	2,520	0,000	0,000	20,330	3,210
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_veneta</i>	3,670	3,510	0,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia_viridis</i>	5,330	6,110	0,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_copulata</i>	5,000	2,650	10,330	2,080	10,330	2,080	12,330	1,530	13,670	3,210	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_lineolata</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	7,670	1,530	3,670	2,520	2,330	0,580	0,000	0,000	4,000	1,730
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_ovalis</i>	1,670	0,580	0,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._10</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,330	3,060
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._11</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	5,670	2,520	6,670	1,150	12,330	6,810	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._2</i>	3,670	0,580	5,670	0,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._3</i>	5,670	6,030	1,670	0,580	15,330	3,060	0,000	0,000	12,000	3,000	4,330	0,580	8,000	8,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._4</i>	0,670	1,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._5</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	10,330	0,580	10,330	2,080	12,330	2,520	0,000	0,000	6,670	1,150
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._8</i>	6,000	1,000	5,330	3,790	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total</b>			<b>158,04</b>	<b>93,68</b>	<b>145,02</b>	<b>49,17</b>	<b>184,99</b>	<b>46,06</b>	<b>150,67</b>	<b>42,70</b>	<b>129,33</b>	<b>39,30</b>	<b>37,67</b>	<b>17,48</b>	<b>147,33</b>	<b>53,35</b>

Fuente: Elaboración propia.

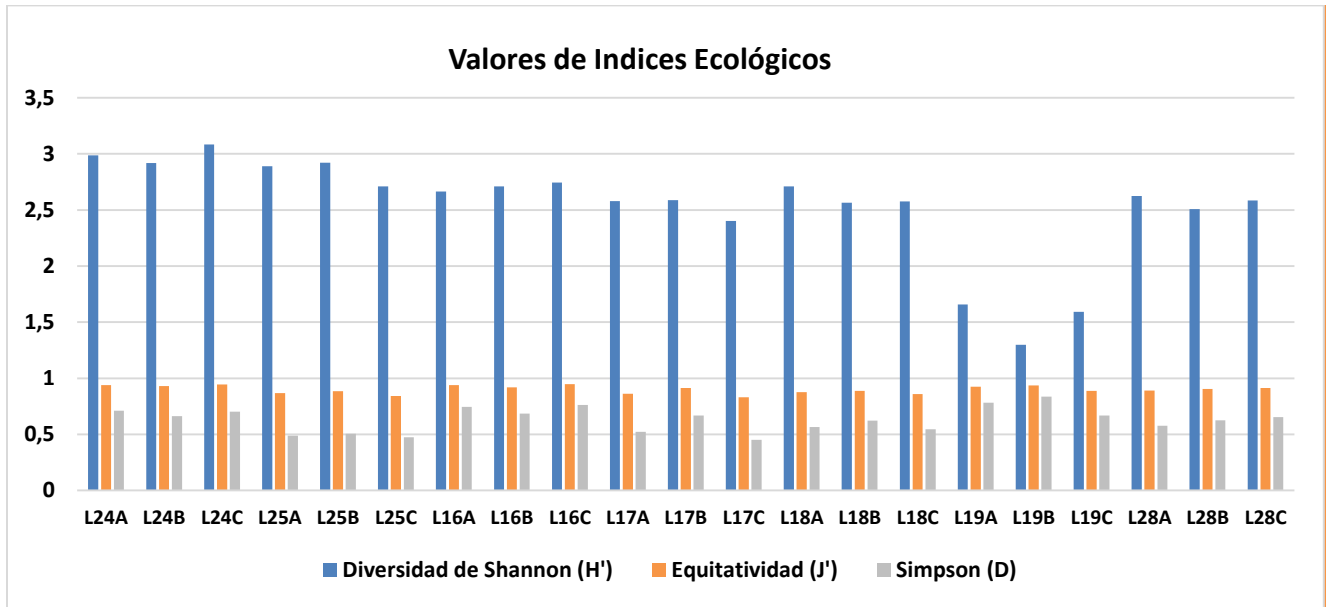
Figura 5-26. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en la zona de Quebradas.



A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml) y C) porcentaje promedio de representatividad de familias de Fitoplancton en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.

Fuente: Elaboración propia.

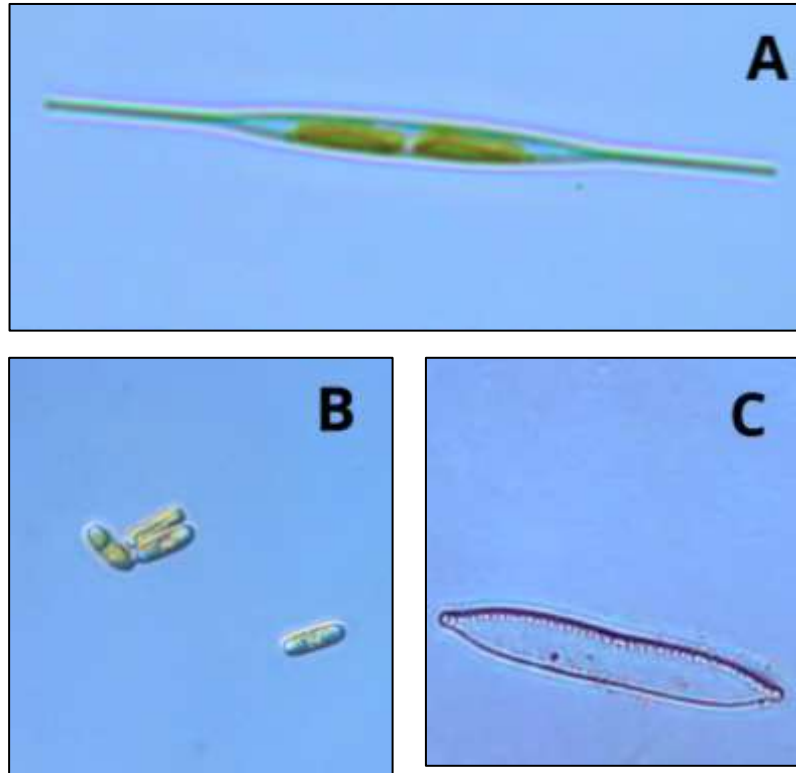
Figura 5-27. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson para el Fitoplancton a nivel de transectas, en las distintas estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema



Fuente: Elaboración propia.



Figura 5-28. Microalgas planctónicas más abundantes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) *Nitzschia acicularis* B). *Denticula subtilis*; C). *Nitzschia conmutata*.

Fuente: Elaboración propia.

### (b). Fitobentos

La comunidad de microalgas bentónicas presentó un total de 35 taxa, la mayoría pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 6 familias, y una especie de la clase Euglenida, del reino protozoa. De las familias de diatomeas, 3 representaron al 87% de las abundancias, siendo las más recurrentes Bacillariaceae con 38,5% de las abundancias, seguida de Naviculaceae con 32% de las abundancias y Catenulaceae con 17%.

A nivel de especies, la familia Bacillariaceae presentó 13 taxa, siendo las más recurrente *Nitzschia halloyii* con 6,8% de los registros, seguida de *Nitzschia commutata* con 5%, mientras que en el caso de las representantes de la familia Naviculaceae, presentaron un total de 10 especies, siendo la más recurrente *Navicula parinacota* con 7,9% de los registros y seguido de *Navicula salinicola* con 7,9% (Figura 5-28 y Figura 5-29).

Para el caso de la familia Catenulaceae, también se registraron 5 especies, siendo la más recurrente *Amphora sp. 3* con 6,7% de las abundancias (Figura 5-29 y Figura 5-31). A nivel espacial, la mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L25 de la Quebrada Las Vertientes, con 24 especies, mientras que la menor riqueza se registró en la estación L19 de la Quebrada Río Negro con 7 especies.

En cuanto al promedio por estación del índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 2,79 en la estación L17 de la Quebrada Las Vertientes, sugiriéndose por lo tanto una mayor diversidad en esta estación, sin embargo, el índice de Simpson fue de 0,66, mientras que la equitatividad de Pielou observada fue de 0,93, (Figura 5-30). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L19, con un índice de diversidad de Shannon observado de 1,92, lo que sugiere una baja representatividad. En dicha estación se obtuvo una alta equitatividad, lo que nos señala nuevamente una buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación (ie. un índice de 0,90), no existiendo según el índice de Simpson, dominancia clara de alguna de estas especies en particular (ie. un índice de 0,73) (Figura 5-30).

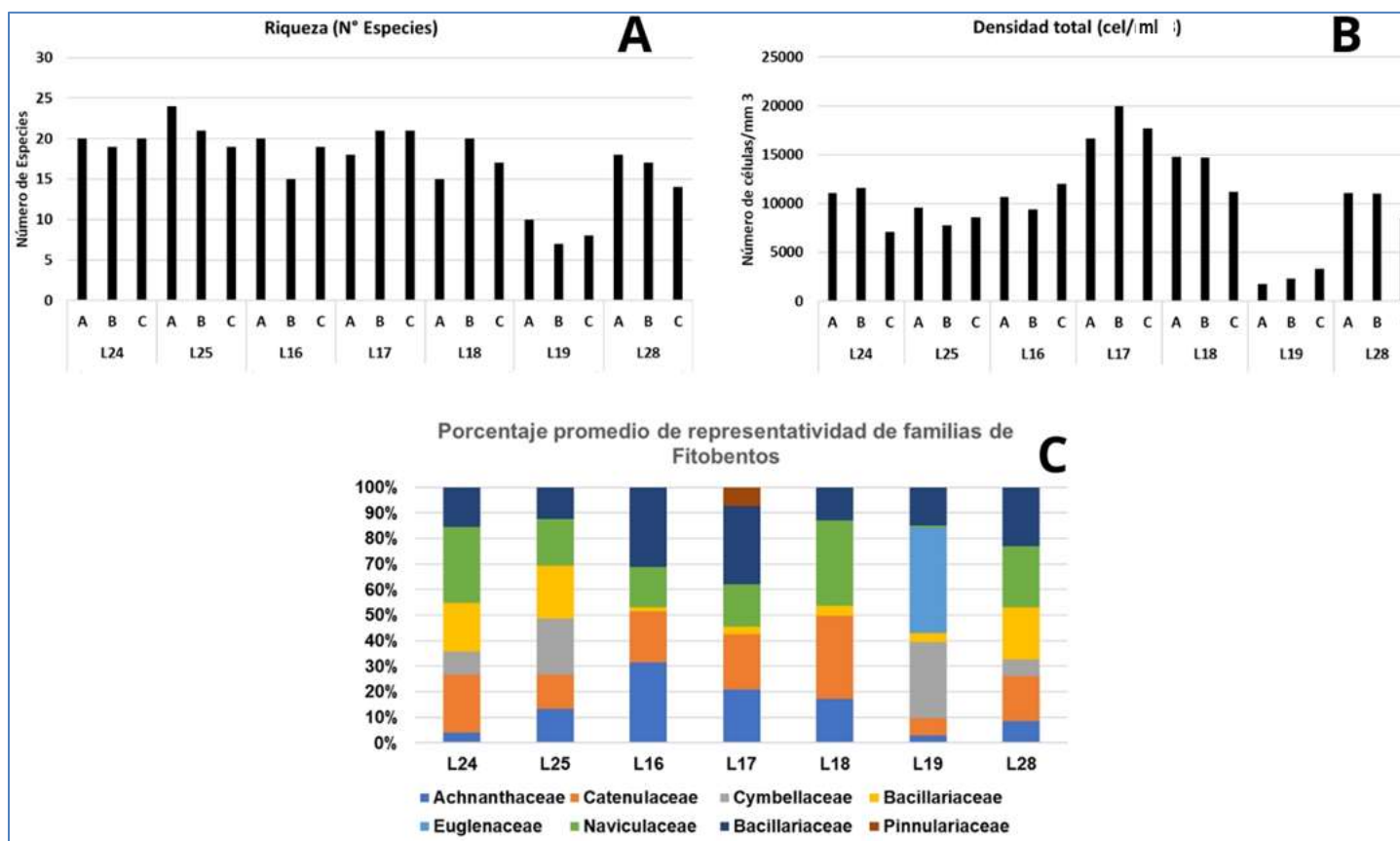
**Tabla 5-6. Abundancia relativa y su respectiva desviación estándar de las taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.**

Orden	Familia	Taxa	Las Vertientes				Tordillos						Rio Negro		El Colorado	
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes sp1</i>	2,000	1,000	2,300	0,600	0,300	0,600	0,700	0,600	10,000	6,200	0,700	1,200	0,000	0,000
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium</i>	0,300	0,600	1,000	1,000	7,700	6,700	11,000	1,000	0,000	0,000	0,300	0,600	0,000	0,000
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium</i>	0,300	0,600	5,300	4,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,300	1,500
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium</i>	0,300	0,600	1,000	0,000	10,700	4,000	11,300	0,600	4,000	6,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora copulata</i>	8,000	1,000	1,700	1,200	1,300	0,600	11,300	1,200	10,300	2,100	0,000	0,000	1,300	1,500
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	2,700	2,100	6,700	0,600	6,000	1,000	0,000	0,000	3,700	3,200
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 3</i>	7,700	6,700	5,700	5,100	6,000	4,400	6,700	5,100	12,700	3,800	3,000	1,700	7,300	3,100
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 5</i>	2,300	1,500	4,700	6,400	4,700	2,100	5,300	3,200	4,300	1,500	0,000	0,000	1,300	1,500
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 8</i>	2,700	2,900	0,300	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella affinis</i>	1,700	2,100	4,000	1,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,700	1,200	1,000	1,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula elegans</i>	4,000	1,000	7,300	4,200	0,000	0,000	3,000	3,000	2,300	4,000	0,300	0,600	7,000	1,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp1</i>	3,000	1,700	2,300	1,200	0,700	0,600	0,300	0,600	0,700	0,600	0,000	0,000	3,300	0,600
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp2</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,600	2,300	2,100
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula subtilis</i>	7,000	1,000	5,700	4,200	0,300	0,600	0,000	0,000	0,300	0,600	0,700	1,200	0,000	0,000
Euglenida	Euglenaceae	<i>Euglena sp</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,700	3,500	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula capitatoradiata</i>	2,000	2,000	2,700	2,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cincta</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	6,700	4,700	10,300	2,900	6,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cryptotenella</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,600	5,000	1,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula gregaria</i>	4,000	2,600	5,000	1,700	11,700	0,600	8,000	6,100	9,000	4,400	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula lanceolata</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,600	2,000	1,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula parinacota</i>	6,700	4,900	4,000	3,000	3,300	1,500	10,000	2,000	18,700	5,800	0,000	0,000	15,300	3,100

Orden	Familia	Taxa	Las Vertientes				Tordillos						Rio Negro		El Colorado	
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula radiosa</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula salinicola</i>	8,300	6,400	7,000	1,000	2,700	1,200	10,700	2,300	19,300	3,800	0,300	0,600	9,000	7,900
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp1</i>	6,700	5,000	3,700	3,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,700	9,800
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula veneta</i>	6,700	3,100	2,700	1,500	6,700	0,600	6,700	1,500	8,000	6,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia acicularis</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	3,700	2,300	9,000	2,600	3,700	2,500	0,000	0,000	8,700	3,500
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia commutata</i>	0,300	0,600	0,300	0,600	4,300	6,700	21,700	0,600	3,300	2,100	3,000	1,000	3,700	0,600
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia epithemoides</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,700	0,600	1,700	2,100	0,700	1,200	0,000	0,000	4,700	0,600
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia fonticola</i>	8,000	2,600	4,300	3,500	3,000	3,000	8,700	4,200	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia halloyii</i>	2,300	2,100	1,700	2,100	22,700	2,100	18,300	5,700	5,300	8,400	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia hantzschiana</i>	5,700	5,700	6,700	2,100	1,700	1,200	1,700	1,500	1,300	2,300	0,000	0,000	2,300	0,600
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia inconspicua</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,700	0,600	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia palea</i>	8,300	4,700	6,300	3,800	0,700	1,200	0,700	1,200	1,000	1,000	4,700	1,500	9,000	7,900
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia valdecostata</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	4,400	14,700	0,600	7,700	6,700	3,700	6,400	4,000	6,900
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia viridis</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000	3,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total</b>			<b>99,30</b>	<b>61,40</b>	<b>86,70</b>	<b>55,70</b>	<b>107,30</b>	<b>51,80</b>	<b>181,50</b>	<b>54,40</b>	<b>135,60</b>	<b>72,20</b>	<b>24,70</b>	<b>21,90</b>	<b>101,90</b>	<b>58,40</b>

Fuente: Elaboración propia

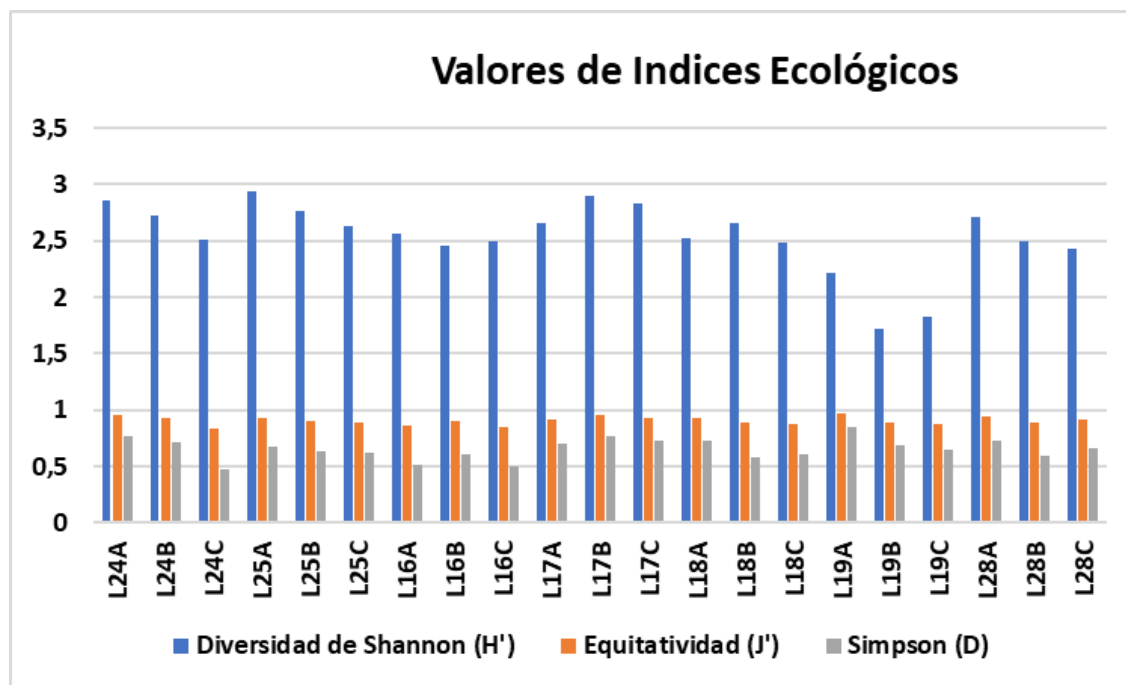
Figura 5-29. Composición y estructura de las comunidades del fitobentos en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml) y C) porcentaje promedio de representatividad de familias del fitobentos.

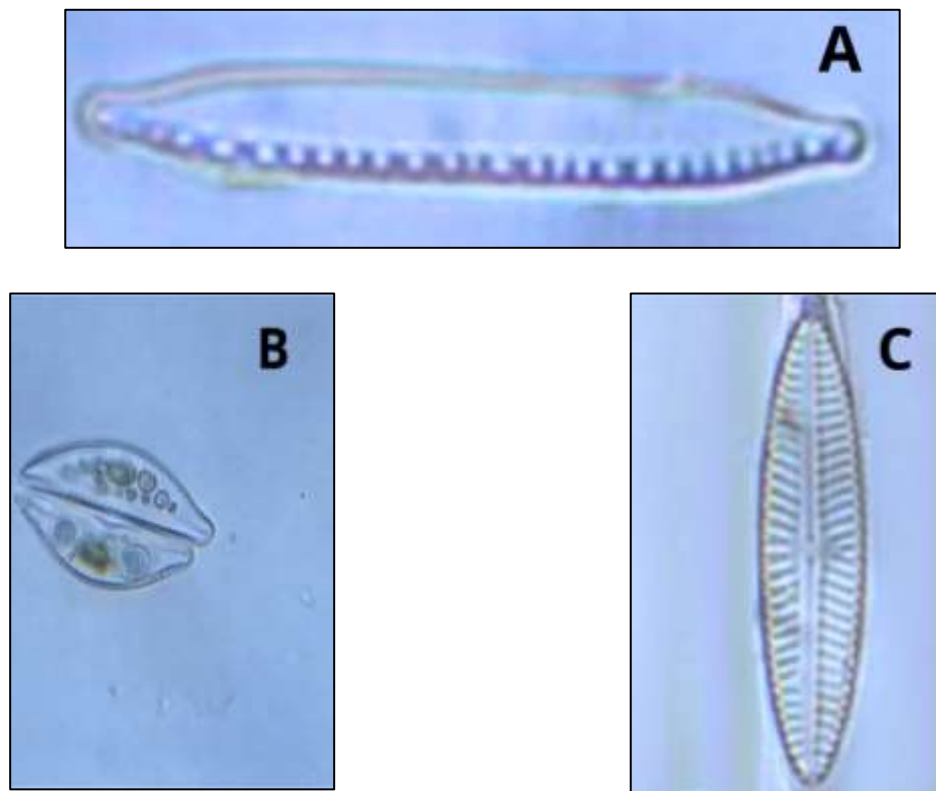
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-30. Índices de Biodiversidad para el Fitobentos en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-31 Microalgas bentónicas más abundantes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) *Nitzschia halloyii*. B) *Amphora sp3*; C) *Navicula parinacota*.

Fuente: Elaboración propia.

**(c). Zooplancton e invertebrados en la columna de agua.**

El zooplancton y los invertebrados presentes en la columna de agua, fueron taxonómicamente pobres en las estaciones de la zona de quebradas que alimentan el sistema. Los organismos capturados en la columna de agua estuvieron altamente representados por la presencia de tres familias de insectos, Chironomida, Drosophilidae y Ephydriidae. El grupo más abundante fueron los Chironomidos del género *Cricotopus sp* con un 29% de representatividad total, seguidos de ejemplares de un nemátodo no identificado, con un 25%, y un anélido clitelado de la familia naididae, con un 18% de representatividad (Ver

Figura 5-32A, B y C). Sin embargo, en el análisis solo se consideraron especies que forman parte del zooplancton, por considerarse que estas podrían venir de un efecto mecánico al momento de la obtención de la muestra. Dentro de este grupo, se detectó la presencia de crustáceos como Cyclopidae y Harpacticoida (

Tabla 5-7). De esta manera, la mayor riqueza de especies fue registrada en las estaciones L24 en la Quebrada de las

Vertientes y L18 y L19 de la Quebrada de Pastos Largos, con un promedio de 2 especies (con replicas que registraron

Orden	Familia	Taxa	Las vertientes				Tordillos						Rio Negro		El Color
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom
Branchiopoda	Macrothricidae	<i>Macrothricidae ind</i>	0,000	0,000	0,000	4,000	0,000	4,000	0,000	0,000	0,000	8,000	4,000	4,000	0,000
Cyclopidae	Cyclopidae	<i>Cyclopidae ind</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	44,000
Harpacticoida	Harpacticoida	<i>Harpacticoida Ind</i>	8,000	4,000	124,000	4,000	4,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,000
Murrayidae	Dactylobiotus	<i>Dactylobiotus sp.</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,000
Cyprididae	Heterocypris	<i>Heterocypris sp.</i>	4,000	4,000	8,000	0,000	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000	32,000	8,000	4,000	0,000
<b>Total</b>			<b>12</b>	<b>8</b>	<b>132</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>60</b>

un máximo de 3 especies). Sin embargo, las estaciones L16 de la Quebrada Pastos Largos y L19 de la Quebrada Rio Negro no presentaron especies para este grupo de taxa.

Las mayores abundancias fueron registradas en la estación L24 de la Quebrada de las Vertientes, con un valor de 50,67 ind/ml en promedio, con replicas que registraon un maximo de 132 ind/ml y un minimo de 8 ind/ml, seguida de la estacion



---

L18 de la Quebrada Pastos Largos, la que presentó un valor promedio de 41,33 ind/ml, con replicas que registraron un maximo de 60 ind/ml y un minimo de 38 ind/ml (Figura 5-33A).

En cuanto a los índices de Diversidad, al registrarse solo una especie en la estación L28 de la Quebrada El Colorado, genera valores de cero en el citado índice. De esta forma, el indicador más alto fue de 0,38 en la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos, mientras que el índice de Simpson fue de 0,41 en dicha estación, por lo que existe una mayor posibilidad de dominancia de una especie en dicho lugar, o sea, una mayor dominancia de unos pocos individuos en el área. Finalmente, en cuanto a la equitatividad de Pielou, la estación L18 en Pastos Largos obtuvo el mayor valor, el cual fue de 1,34, lo que sugiere que, en dicha estación, las pocas especies presentes fueron igualmente abundantes (Figura 5-33 C).

Figura 5-32. Principales grupos representantes del zooplancton presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



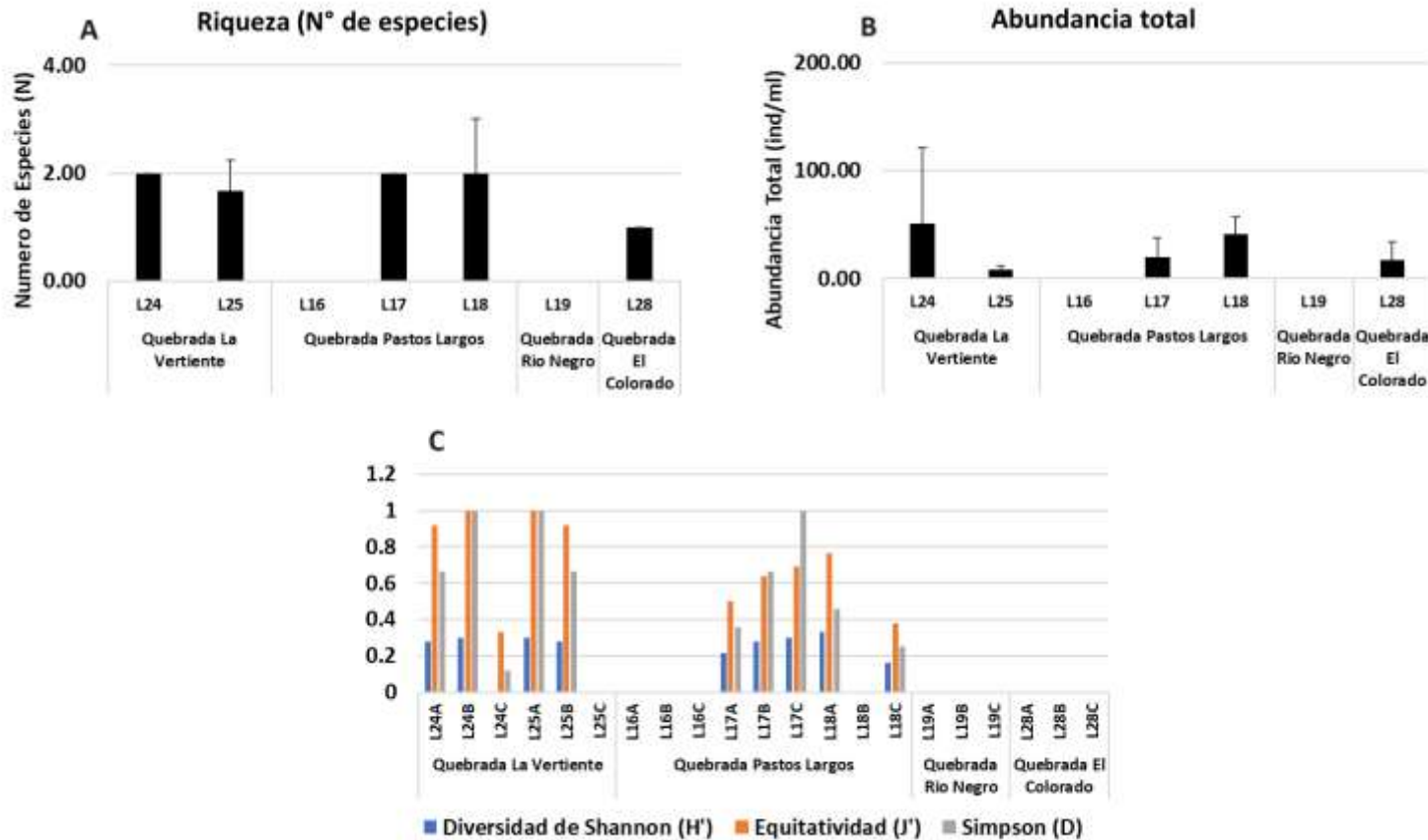
A) *Cricotopus sp.*, B) *Nematodo no identificado* y c) *Naididae*.  
B) Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-7. Valores promedio de la composición de las comunidades del zooplancton e invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. Valores expresados en ind/ml.

Orden	Familia	Taxa	Las vertientes				Tordillos						Rio Negro		El Colorado	
			L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Branchiopoda	Macrothricidae	<i>Macrothricidae ind</i>	0,000	0,000	0,000	4,000	0,000	4,000	0,000	0,000	0,000	8,000	4,000	4,000	0,000	0,000
Cyclopidae	Cyclopidae	<i>Cyclopidae ind</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	44,000	32,000
Harpacticoida	Harpacticoida	<i>Harpacticoida Ind</i>	8,000	4,000	124,000	4,000	4,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,000	0,000
Murrayidae	Dactylobiotus	<i>Dactylobiotus sp.</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,000	0,000
Cyprididae	Heterocypris	<i>Heterocypris sp.</i>	4,000	4,000	8,000	0,000	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000	32,000	8,000	4,000	0,000	0,000
<b>Total</b>			<b>12</b>	<b>8</b>	<b>132</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>60</b>	<b>32</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-33. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton e invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) Riqueza de especies (N° de taxa identificadas); B) Abundancia total (ind/mm<sup>3</sup>) y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

#### (d). Zoobentos o Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de macroinvertebrados en general fue taxonómicamente pobre, estando representada por las familias de insectos Chironomidae, Chrysididae, Ephydriidae, Ephemeroptera y Syrphidae (Ver Tabla 5-25). Otros grupos presentes fueron los Anélidos oligoquetos de la familia Naididae y Glossiphonidae, así como Arachnidos del grupo de las Sarcoptiformes, y Ostrácodos de la familia Cypridae (Figura 5-34).

Figura 5-34. Principales grupos representantes de la macrofauna invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) *Cricotopus sp.*, B) *Parakiefferiella* y C) *Podonomus*, todos de la familia de los Chironomidos.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor riqueza de especies promedio fue registrada en la estación L28 de la Quebrada El Colorado, con un promedio de 3,17 taxa, con replicas que registraron un máximo de 5 taxa y un mínimo de 2 taxa. En dicha estación también se registró la abundancia promedio máxima de 121 ind/m<sup>2</sup>, con replicas que registraron un máximo de 428 ind/m<sup>2</sup> y mínimo de 12 ind/m<sup>2</sup>.

El punto de muestreo menos diverso correspondió la estación L18 de la Quebrada Pastos Largos, la cual presentó un promedio de 2 especies, con una abundancia promedio de 11 ind/m<sup>2</sup>. (Ver Tabla 5-8Tabla 5-4 y Figura 5-35 A). En términos de abundancia, el grupo más abundante fue el de los Chironomidos del género *Cricotopus sp.*, con un 45% de representatividad, seguido por el género *Parakiefferiella*, con un 22% de representatividad, y el género *Podonomus* con un 10% de representatividad (Figura 5-35 B).

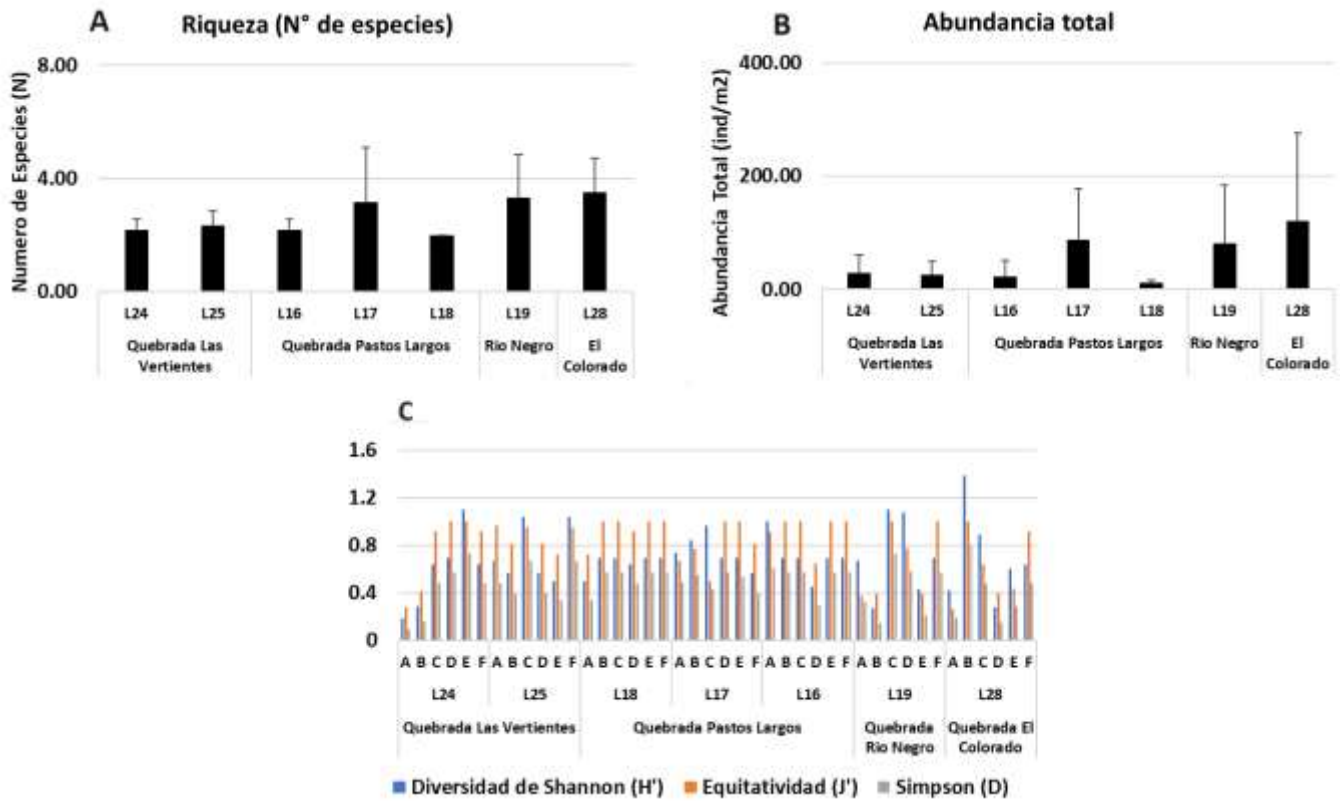
En cuanto a los índices de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de a 10,75, el cual se obtuvo en la estación L17 de la Quebrada Pastos Largos, estación en la cual se determinó un índice de Simpson de 1,04, lo que significa una baja diversidad de especies y una dominancia de unos pocos individuos en el área (Figura 5-35 C).

**Tabla 5-8. Composición de las comunidades de la macrofauna representantes de la macrofauna invertebrados presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. Valores expresados en ind/mm<sup>2</sup>.**

Orden	Familia	Taxa	L24		L25		L16		L17		L18		L19		L28	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Arachnida	Sarcoptiformes	<i>Sarcoptiformes indeterminado</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clitellata	Glossiphoniidae	<i>Glossiphoniidae indeterminado</i>	0,70	1,60	1,30	2,10	0,00	0,00	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
Clitellata	Naididae	<i>Naididae indeterminado sp1.</i>	0,70	1,60	0,70	1,60	4,70	6,40	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
Clitellata	Naididae	<i>Naididae indeterminado sp2.</i>	0,00	0,00	0,70	1,60	0,00	0,00	1,30	3,30	1,30	3,30	1,30	3,30	1,30	3,30
Clitellata	Clitellata	<i>Oligoqueto indeterminado sp2.</i>	24,00	31,70	0,00	0,00	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
Insecta	Chrysididae	<i>Chrysis sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insecta	Chironomidae	<i>Cricotopus sp.</i>	0,00	0,00	13,30	8,30	1,30	2,10	52,00	64,20	52,00	64,20	52,00	64,20	52,00	64,20
insecta	Diptera	<i>Diptera Indeterminado</i>	0,70	1,60	0,00	0,00	1,30	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
insecta	Ephemeroptera	<i>Ephemeroptera indeterminado</i>	0,70	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3,30	2,00	3,30	2,00	3,30	2,00	3,30
Insecta	Ephydriidae	<i>Ephydriidae indeterminado</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insecta	Chironomidae	<i>Parakiefferiella sp.</i>	0,70	1,60	0,70	1,60	2,00	2,20	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
Insecta	Chironomidae	<i>Podonomus sp.</i>	0,70	1,60	0,00	0,00	0,70	1,60	27,30	28,80	27,30	28,80	27,30	28,80	27,30	28,80
Insecta	Syrphidae	<i>Syrphidae indeterminado</i>	0,70	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
Ostracoda	Cyprididae	<i>Heterocypris sp.</i>	0,70	1,60	9,30	17,30	0,00	0,00	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60	0,70	1,60
<b>Total</b>			<b>29,60</b>	<b>44,50</b>	<b>26,00</b>	<b>32,50</b>	<b>10,70</b>	<b>16,00</b>	<b>86,80</b>	<b>109,20</b>	<b>86,80</b>	<b>109,20</b>	<b>86,80</b>	<b>109,20</b>	<b>86,80</b>	<b>109,20</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-35. Composición y estructura de las comunidades de la macrofauna presentes en la columna de agua capturados en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.



A) Riqueza de especies (N° de taxa identificadas); B) Abundancia total (ind/m<sup>2</sup>) y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

(e). **Flora Acuática**

En términos generales, los diferentes cuerpos de agua analizados presentaron un bajo número de especies acuáticas, dentro de las cuales, predominaron principalmente representantes de las familias Cyperaceae, Juncaceae y Poaceae, como es el caso de las especies *Zameioscirpus atacamensis*, *Oxychloe andina* y *Calamagrostis velutina* respectivamente (Figura 5-36). Estas tres especies estuvieron presentes en la mayoría de las estaciones, menos en los sectores de Quebrada La Ciénaga y Quebrada Las Tinajas, donde solo se registraron vestigios de la presencia de dichas especies, y cuya dominancia fue reemplazada por *Acena magallanica*, así como especies de características no hidrófila (Figura 5-36).

Las estaciones correspondientes a la zona de Quebradas que alimentan el sistema no presentaron un curso de agua definido, y la dominancia de especies típicas de bofedales como *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina* fue reducida (Figura 5-37 A y B). En la Tabla 5-9 se presenta la riqueza de especies por cada estación, donde se puede observar que las estaciones con mayor número de especies fueron las estaciones L23, con 10 especies, seguida por la estación L21, con 8 especies, ambas estaciones del sector Quebrada Las Tinajas.

**Figura 5-36. Principales grupos vegetacionales observados presentes en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.**



A) *Zameioscirpus atacamensis* B) *Oxychloe andina* y c) *Acena magallanica*,



**Figura 5-37. Vista general de las estaciones en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema. donde no existió un curso de agua definido.**



A) Quebrada la Ciénaga; B) Quebrada las Tinajas y C) Los Colorados

Fuente: Registro de terreno, verano 2023

#### **(f). Fauna íctica**

Como resultado de las prospecciones de peces ejecutadas en el presente estudio, no se registraron especímenes de Ictiofauna en ninguna de las estaciones analizadas.

Tabla 5-9. Riqueza de especies de flora en las estaciones de la zona de Quebradas que alimentan el sistema.

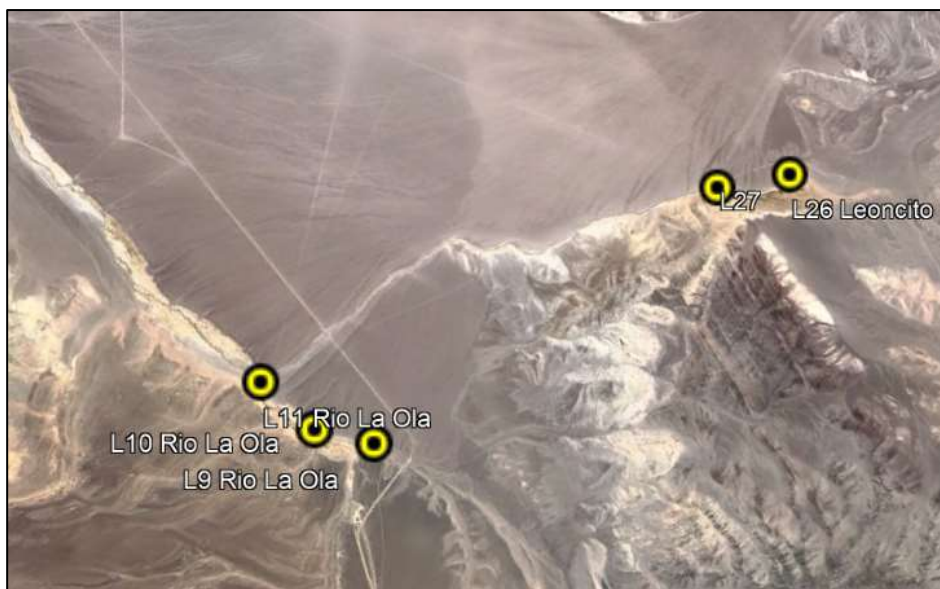
Clase	Familia	Especie	Quebrada Rio Negro		Quebrada La Vertiente		Quebrada Pastos Largos			Quebrada Las Tinajas	Quebrada La Ciénaga	Quebrada Los Tordillos		Quebrada El Colorado	
			L19	L20	L24	L25	L16	L17	L18	L21	L15	L22	L23	L28	L29
Liliopsida	Cyperaceae	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	x	x	x	x	x		x				x	x	x
Liliopsida	Juncaceae	<i>Oxychloe andina</i>	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x
Liliopsida	Poaceae	<i>Calamagrostis velutina</i>	x	x	x	x	x	x	x					x	x
Liliopsida	Poaceae	<i>Festuca sp</i>													x
Liliopsida	Poaceae	<i>Hordeum sp</i>												x	
Liliopsida	Poaceae	<i>Puccinella frigida</i>							x		x			x	x
Magnoliopsida	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia klotzchii</i>									x				
Magnoliopsida	Fabaceae	<i>Adesmia echinus</i>			x										
Magnoliopsida	Malvaceae	<i>Cristaria andicola</i>													x
Magnoliopsida	Rubiaceae	<i>Cruckshanksia macrantha</i>			x								x		
Magnoliopsida	Amaranthaceae	<i>Atriplex oerophyla</i>						x				x			
Magnoliopsida	Araliaceae	<i>Hydrocotyle sp</i>												x	
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Doniophyton anomalum</i>							x			x			
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Doniophyton weddelli</i>											x		
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Haplopappus rigidus</i>													x
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Senecio mairetianus</i>	x				x	x							
Magnoliopsida	Boraginaceae	<i>Phacelia cumingii</i>		x				x	x	x		x	x		
Magnoliopsida	Brassicaceae	<i>Schizopetalon rupestre</i>								x			x		

Clase	Familia	Especie	Quebrada Rio Negro		Quebrada La Vertiente		Quebrada Pastos Largos			Quebrada Las Tinajas	Quebrada La Cienaga	Quebrada Los Tordillos		Quebrada El Colorado	
			L19	L20	L24	L25	L16	L17	L18	L21	L15	L22	L23	L28	L29
Magnoliopsida	Calyceraceae	<i>Gamocarpha caespitosa</i>								x					
Magnoliopsida	Campanulaceae	<i>Lobelia oligophylla.</i>											x		
Magnoliopsida	Caryophyllaceae	<i>Arenaria ribularis</i>								x					
Magnoliopsida	Crassulaceae	<i>Echeveria.sp</i>											x		
Magnoliopsida	Plantaginaceae	<i>Plantago sp</i>			x										
Magnoliopsida	Polemoniaceae	<i>Gilia laciniata</i>								x					
Magnoliopsida	Ranunculales	<i>Halerpestes uniflora</i>											x		
Magnoliopsida	Rosaceae	<i>Acaena magallanica</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Magnoliopsida	Solanaceae	<i>Lycium chilense</i>									x				
Magnoliopsida	Solanaceae	<i>Nicotiana acuminata</i>				x				x		x			
Magnoliopsida	Violaceae	<i>Viola frigida</i>					x	x							
		Riqueza Total	5	4	7	5	6	6	7	7	4	6	10	6	7

#### 5.4. Zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de orígenes naturales o artificiales

La zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales está ubicada en la zona centro de la cuenca de Pedernales, y corresponde a las estaciones ubicadas en las Quebradas Leoncito y la Ola, y que se caracterizan por presentar canales de extensión significativa que fluyen en dirección a la zona del salar (Figura 5-38).

Figura 5-38. Ubicación cursos de agua vinculados a zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración Propia.

En términos generales, la mayoría de los canales presentaron ejemplares de las especies *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, en asociación con ejemplares de *Calamagrostis velutina*. La presencia de estas especies caracteriza unidades vegetacionales declaradas como bofedales, así como de vegas, pero con áreas de mayor extensión. En estos casos el régimen hídrico se encuentra asociado a niveles freáticos superficiales o subsuperficiales (Castro R & Altamirano A. 2013).

A continuación, en la Tabla 5-10 se muestran las características generales de los ecosistemas acuáticos presentes en la zona de bofedales mayores y canales.

**Tabla 5-10. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal**

Características	Puntos de Muestreo				
	Quebrada Leoncito		Río La Ola		
	L26	L27	L9	L10	L11
Tipo de sistema	Bofedal	Canal	Bofedal	Canal	Canal
Origen	Natural	Artificial	Natural	Artificial	Artificial
Patrón	Sin Agua	Doble Canal	Sin Agua	Doble Canal	Unicanal
Tipo de fondo	Are - Cant	Arena	Are – Fang	Fango	Fango
Condición de flujo	Nula	Moderado	Nula	Reducida	Reducida
Vel. corriente (m/s)	Nula	17,15	Nula	5,57	Nula
Ancho total (m)	10	15	12	10	10
Profundidad Máxima (m)	Nula	0,3	Nula	0,3	0,2
Profundidad Media (m)	Nula	0,2	Nula	0,2	0,2
Vegetacion acuática	No	Si	No	No	Si
Vegetacion de rivera	Si	Si	Si	Si	Si
Detritus vegetal	No	Si	No	Si	Si
Cobertura docel	No	No	No	No	No
Luminocidad (%)	100%	100%	100%	100%	100%
Uso de suelo adyacente	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso
Hábitat de peces	No	Si	No	Si	Si

Are = Arena; Cant = Cantos; Grav = Grava; Fan = Fangos

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.1. Caracterización de los bofedales y cuerpos de agua tipo canal

##### (a). Quebrada Leoncito

La Quebrada Leoncito se encuentra ubicada casi al centro de la cuenca, con leve desplazamiento al sureste. El curso de agua tiene una dirección este – oeste, por el centro de la Quebrada, la cual está dominada por ejemplares de especies con crecimiento en cojín, que forman cuerpos compactos, caracterizados por presentar dominancia de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis* (Figura 5-39), los cuales se asocian a niveles hídricos permanentes, cursos de agua corrientes o suelos

sobresaturados, de suelos no salinos (Castro R & Altamirano A. 2013). Estas especies se encuentra en asociación con especímenes de *Calamagrostis velutina*.

Considerando las particularidades de esta zona, es evidente que el curso principal guarda una estrecha vinculación con los patrones pluviométricos locales. Mayoritariamente, recibe el flujo de agua que proviene del subsistema de Quebradas. Sin embargo, en el caso específico de la Quebrada Leoncito, esta se nutre de las aportaciones hídricas de las Quebradas situadas en la región este de la cuenca, lo que implica que estas aguas no guardan relación con las estaciones de muestreo previamente descritas en la zona de Quebradas. De este modo es evidente que esta localidad funcione como sumidero de agua, lo que explica la abundancia de especies vegetacionales tipo cojín. Pese a esta característica de abundancia hídrica, al momento de realizar la campaña de muestreo, se observó un área con rastros de estas especies en los bordes Norte y Sur de la Quebrada, situación que genera a una transformación del paisaje, facilitando la proliferación de especies típicas de vegas como es el caso de *Calamagrostis*, formándose así una zona de transición denominada Ecotóno.

En la zona de la estación L27, el bofedal cambia su conformación dando lugar a un canal de mediana dimensiones, el cual escurre agua a mediana velocidad en dirección este – oeste. Las especies de tipo cojín disminuyen su dominancia y se incrementa la presencia de especies tipo Pajonal Hídrico, las cuales presentan dominancia de especies con crecimiento cespitoso, donde el estrato varía entre 40 y 60 cm de altura. Las especies dominantes para este tipo de asociación vegetal fueron *Calamagrostis eminens* y *Calamagrostis velutina* por el borde del canal. Estas especies y tipo de formación se encuentran asociados a suministros hídricos estables o permanentes y niveles freáticos medios o altos.

**Figura 5-39. Imagen general de la Quebrada Leoncito**



Estaciones L26 (A) y L27 (B).

Fuente: Registro campaña en terreno.

**(b). Quebrada Río La Ola**

La Quebrada del Río La Ola está conformada por dos sistemas hídricos, uno de Bofedal en la estación L9, que almacena y retiene agua, y una serie de canales, varios de ellos con características artificiales, en dirección sur-norte, que drenan el agua de los pajonales en dicha dirección, en cuya zona se encuentra la estación L10 y finalmente un canal de mayor envergadura, antes de la confluencia con el curso de agua proveniente de la Quebrada Leoncito. Vegetacionalmente se encuentra dominada en la estación L9, por ejemplares de las especies *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, aunque al igual que lo observado en la Quebrada Leoncito, la vegetación cambia al dominio de especímenes de *Calamagrostis velutina*, *Calamagrostis eminens*, *Triglochin concinna* y *Triglochin palustris* (Figura 5-40).

Dada las características del lugar, se puede señalar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, y con la afluencia de cuerpos menores que depositan sus aguas al igual que en la Quebrada Leoncito, lo que hace que esta zona sea un sumidero de agua en la zona, lo que explica la abundancia de especies tipo cojín al inicio del curso de agua, y cuya reducción en cuanto a cobertura es evidente. En la zona de la estación L10 y L11, el bofedal cambia su conformación dando lugar a un canal de mediana dimensiones el cual escurre agua a mediana, donde las especies de tipo cojín disminuyen su dominancia y se incrementa la presencia de especies tipo Pajonal Hídrico.

**Figura 5-40. Imagen general de la Quebrada de Río la Ola**



Estaciones L9 (A), L10 (B) y L11 (C)

Fuente: Registro campaña en terreno

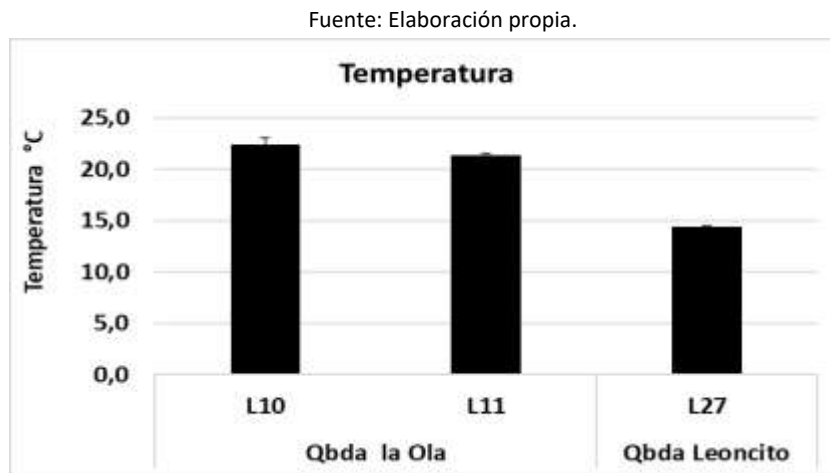
#### 5.4.2. Calidad del Agua en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales

La calidad de las aguas fue medida a través de análisis in situ como de laboratorio, en aquellas estaciones en las cuales existía presencia de cuerpos de agua definidos. De esta manera, fue posible obtener datos in situ y muestras para análisis químico en las localidades Quebrada Leoncito (ie. estación L27) y de La Ola (ie. Estaciones L10 y L11).

##### (a). Temperatura superficial

Dado que la estación L9 del Río La Ola y la estación L26 de la Quebrada Leoncito, no presentaban cuerpos de agua, ni pozas de agua en sus inmediaciones, los datos de calidad de agua fueron obtenidos de las estaciones que sí presentaron cuerpos de agua en ambas Quebradas. En la Figura 5-41 se presentan valores promedio de la temperatura (°C) del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. En este sentido, el valor promedio de temperatura más alto se registró en la estación L10, correspondiente al Río La Ola (ie. 22,4 °C, DS± 0,7), mientras que la más baja se presentó en la estación L27 de la Quebrada Leoncito (ie. 14,4°C, DS± 0,2°C).

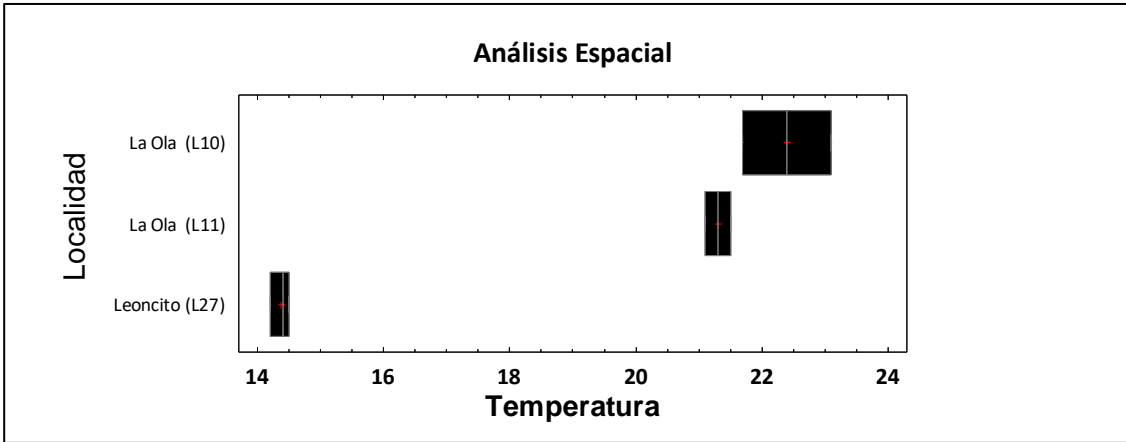
Figura 5-41. Temperatura (°C) en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



A nivel espacial, los valores de temperatura presentaron diferencias significativas ( $F = 308,54$ ;  $p=0,000$ ), donde en función del análisis *a posteriori* se registraron dos grupos de estaciones, una zona compuesta por las estaciones del Río La Ola con temperaturas más altas (ie. 22,4°C en L10 y 21,3°C en L11) y el otro grupo solo con la estación de la Quebrada Leoncito, con una temperatura promedio de 14,4°C. (Figura 5-42).



Figura 5-42. Análisis espacial de los valores de temperatura registrados en de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. (F = 308,54; p=0,000).

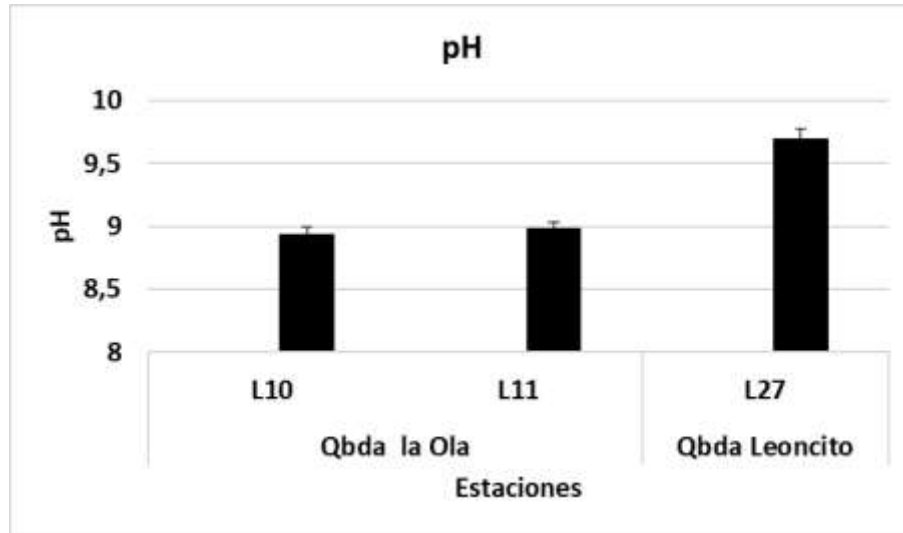


Fuente: Elaboración propia.

#### (b). pH del agua

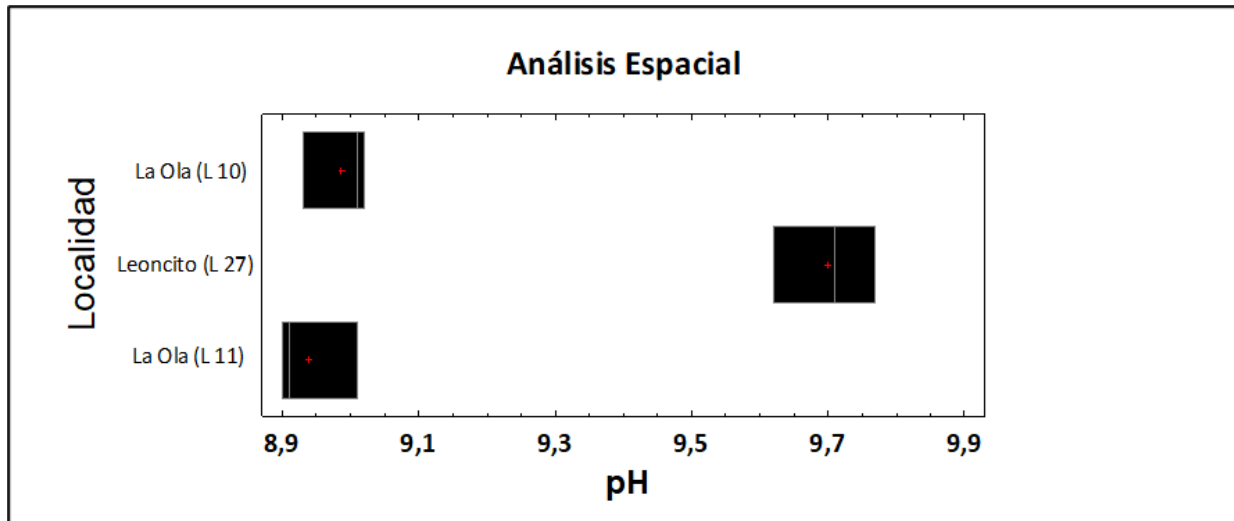
En la Figura 5-43 se presentan los valores promedio del pH del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. En ella se aprecia que el valor promedio de pH más alto se registró en la estación L27, correspondiente la Quebrada Leoncito (ie. 9,7 pH), mientras que el más baja se presentó en la estación L10 de la Quebrada Río La Ola (ie. 8,9 pH, DS. 0,1). A nivel espacial, los valores de pH presentaron diferencias significativas (F=137,99; p=0,000) (Figura 5-43), donde en función del análisis *a posteriori* se registraron dos grupos de estaciones, una zona compuesta por la estación L27 de la Quebrada Leoncito con pH más alto (ie. 9,7 pH; DS. 0,1), y el otro grupo con las estaciones L10 y L11 del sector Río La Ola, con valores de pH de 8,8; DS 0,1 (Figura 5-44).

Figura 5-43. Variabilidad de los valores promedio de la pH de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-44. Variabilidad de los valores promedio del pH entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal ( $F=137,99$ ;  $p=0,000$ ).



Fuente: Elaboración propia.

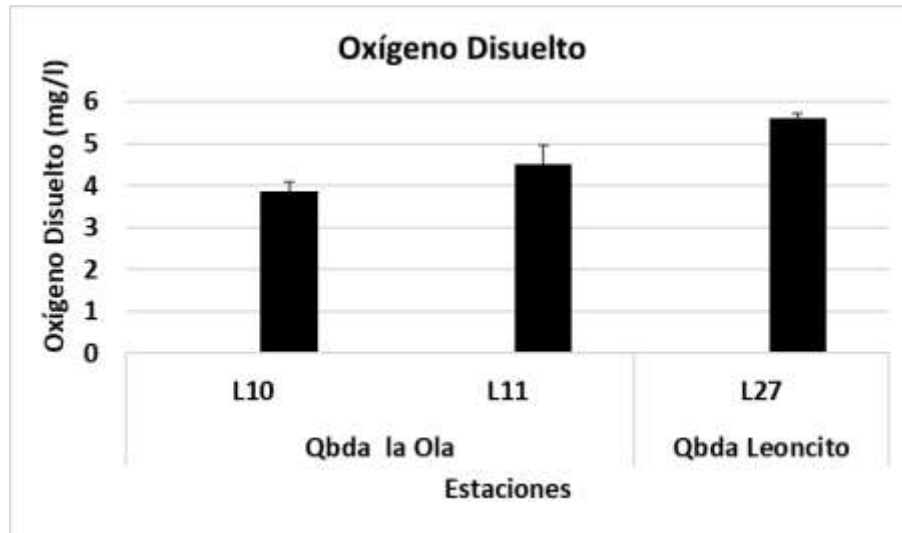
**(c). Oxígeno Disuelto (mg/L)**

En la Figura 5-45 se presentan los valores promedio del oxígeno disuelto (mg/L) del cuerpo de agua, y su respectiva desviación estándar, para las distintas estaciones presentes en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. En este sentido, el valor promedio de oxígeno disuelto más alto se registró en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, (ie. 5,6 mg/L, DS. 0,1 mg/L), mientras que el valor más bajo se presentó en la estación L10 de la Quebrada Rio La Ola (ie. 3,9 mg/L, DS. 0,2 mg/L).

A nivel espacial, los valores de oxígeno disuelto presentan diferencias significativas ente estaciones (27,75;  $p=0,009$ ), donde el análisis *a posteriori* registró un patrón similar al del pH, con dos grupos de estaciones, uno compuesta por la estación L27 Quebrada Leoncito y otro grupo conformado por la estación L10 del Río La Ola (

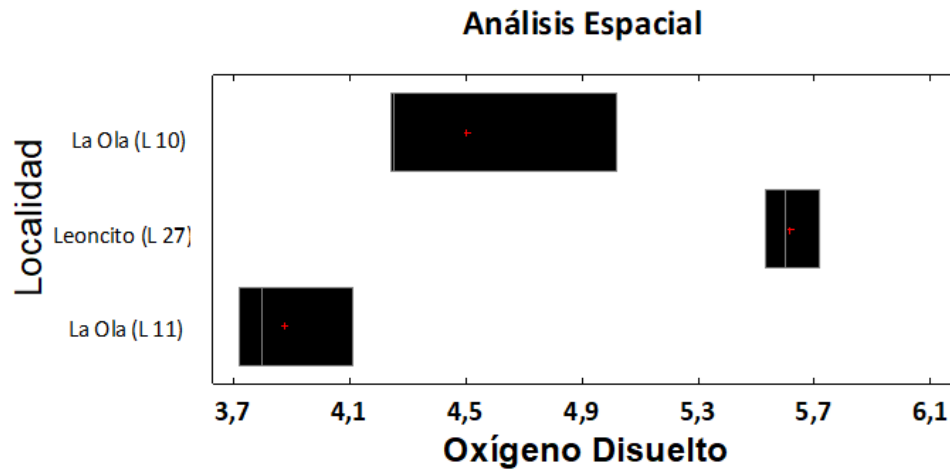
Figura 5-46).

Figura 5-45. Variabilidad de los valores promedio de la Oxígeno Disuelto (mg/L) de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-46. Variabilidad de los valores promedio del Oxígeno Disuelto entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal: (27,75;  $p=0,009$ ).



Fuente: Elaboración propia.

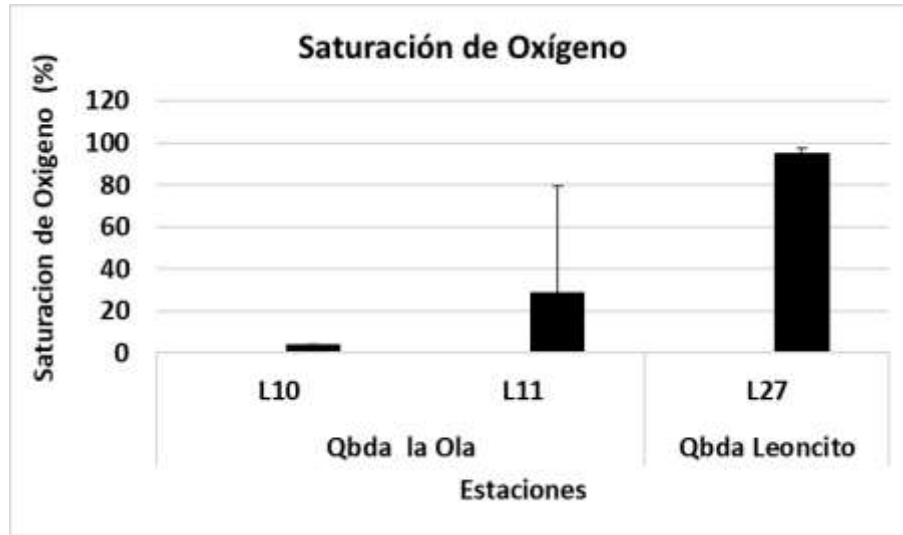
**(d). Porcentaje de saturación del Oxígeno (%)**

En la

Figura 5-47 se presentan valores promedio de los porcentajes de Saturación de Oxígeno (%) registrados en el cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. El valor promedio de saturación de oxígeno más alto se registró en la estación L27, correspondiente la Quebrada Leoncito (ie. 95,4 %, DS. 2,4), mientras que el más bajo se presentó en la estación L10 en el Río La Ola (ie. 4,1 DS 0,02 %).

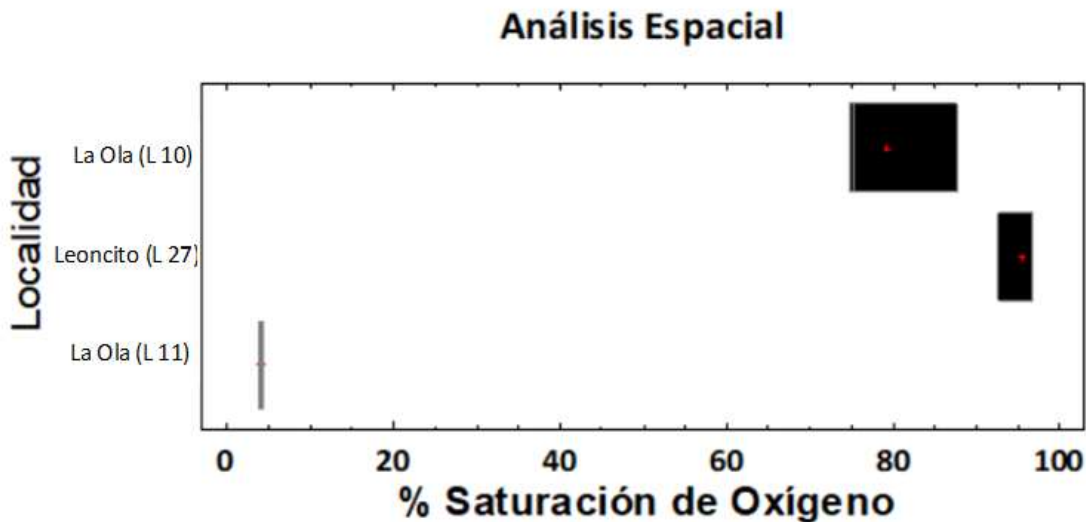
A nivel espacial, los valores de Saturación de Oxígeno promedio entre estaciones presentaron diferencias significativas (359,91;  $p=0,000$ ), donde todas las estaciones resultaron ser diferentes entre sí (Figura 5-48).

Figura 5-47. Variabilidad de los valores promedio del Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-48. Variabilidad de los valores promedio del porcentaje de saturación entre las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal: (359,91; p=0,000)



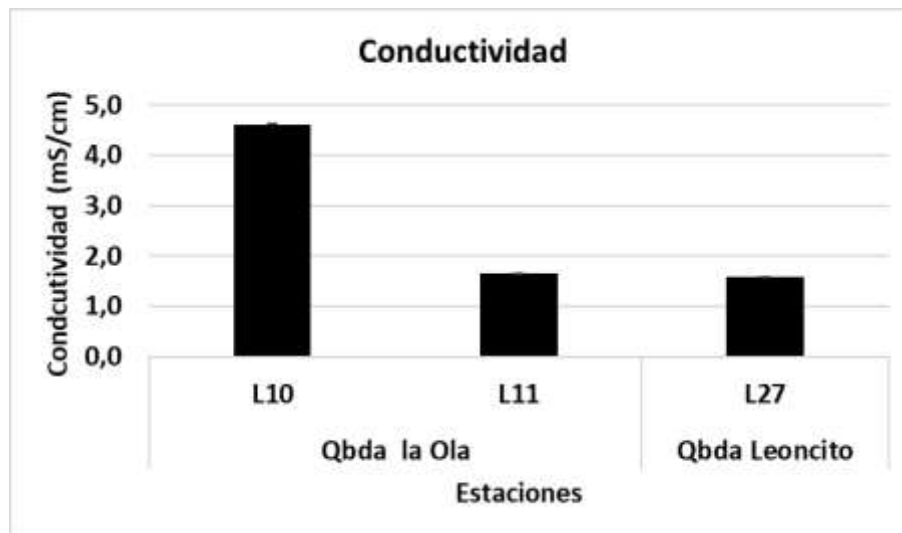
Fuente: Elaboración propia.

**(e). Conductividad Eléctrica (mS/cm)**

En la Figura 5-49 se presentan valores promedio de la Conductividad (mS/cm) del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. Cabe destacar que la unidad de medida es mS/cm, lo que significa un orden de magnitud superior al registrado en la zona de Quebradas. El valor promedio de conductividad eléctrica más alto se registró en la estación L10, correspondiente al Río La Ola (ie. 4,61 mS/cm, DS. 0,01), mientras que la más baja se presentó en la estación L27 de Quebrada Leoncito (ie. 1,57 mS/cm, DS. 0,02).

A nivel espacial, los valores de conductividad presentaron diferencias significativas ( $F = 162,072$ ,  $p=0,000$ ), donde en función del análisis *a posteriori* se registraron dos grupos de estaciones, una zona compuesta por las estaciones del Río La Ola, y otra con los valores de las estaciones de la Quebrada Leoncito (Figura 5-50).

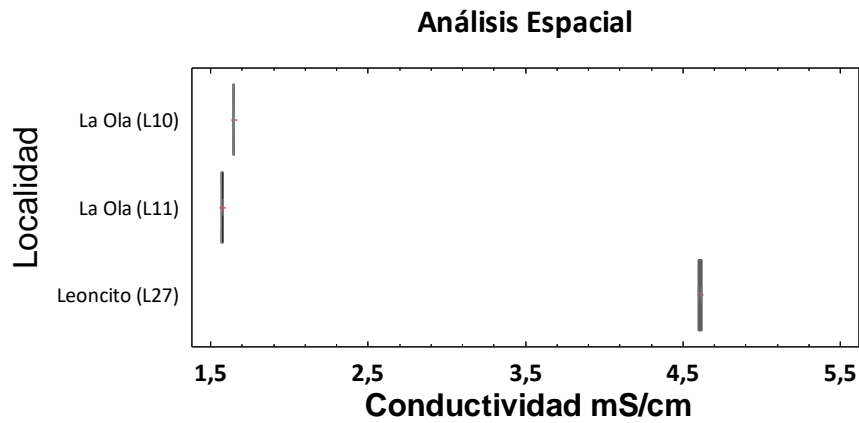
**Figura 5-49. Promedio de la Conductividad (mS/cm) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.**



Fuente: Elaboración propia.



Figura 5-50. Análisis Espacial de los valores de Conductividad registrados en las distintas estaciones de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. (F = 162,072, p=0,000).



Fuente: Elaboración propia.

### 5.4.3. *Composición Química del Agua en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales*

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del agua en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales. Durante la campaña de verano de 2023 en las estaciones asociadas al Río La Ola y la Quebrada Leoncito, se recolectó agua para los análisis químicos de las siguientes 3 estaciones: estación L27, correspondiente a la Quebrada Leoncito, y estaciones L10 y L11, ambas correspondientes al Río La Ola.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se pudo observar que existieron parámetros que presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo (berilio, cadmio, cianuro, cobalto, cromo total, mercurio y selenio, razón RAS y plomo, aceites y grasas, y coliformes fecales). Así mismo, se observó que la mayor parte de los parámetros que pudieron ser cuantificables, presentaron valores por debajo de los límites establecidos en la normativa de referencia. Sin embargo, un total de 10 parámetros presentaron valores sobre los límites de la normativa de referencia en al menos uno de los puntos de muestreo evaluados. A continuación, se describe el comportamiento espacial de los parámetros cuantificados en relación con los límites establecidos en las normas de referencia.

#### **(a). Requisitos del agua para riego. (Tablas 1, 2 y 3 NCh 1.333. Of.78/1987)**

En términos generales, de los 27 metales analizados, 7 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y solo 8 estuvieron por sobre los límites establecidos en la NCh 1.333. Of.78/1987 (Tabla 5-11). El resto de los parámetros analizados se encontraron por valores debajo de los valores límite establecidos en la normativa vigente, relacionada con los requisitos del agua para riego. A continuación, se realiza un análisis al detalle para cada elemento.

#### **(i). *Aluminio***

El aluminio presentó valores que variaron entre un máximo de 0,66 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 0,144 mg/L en la estación L11 del Río La Ola, todos bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 A).

#### **(ii). *Arsénico***

El arsénico presentó valores que variaron entre un máximo de 0,876 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, la cual sobrepasa el límite estipulado en la norma de referencia (ie. 0,10 mg/L), hasta un mínimo de 0,066 mg/L en la estación L11 del Río La Ola. Tanto el valor registrado en la estación L11, como en L10, ambas del Río La Ola, se encuentran por debajo del límite establecido en la norma de referencia (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 B).

(iii). *Bario*

El bario presentó valores que variaron desde un máximo de 0,031 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 0,026 mg/L en la estación L11 del Río La Ola, todos bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 C).

(iv). *Boro*

Respecto al boro, este presentó valores que variaron entre un máximo de 10,25 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 0,844 mg/L en la estación L11 del Río La Ola. Todas las concentraciones registradas presentaron valores por sobre el límite establecido en la norma de referencia (ie. 0,020 mg/L) (Tabla 5-11 y Figura 5-51 D).

(v). *Cloruro*

Respecto al cloruro, este presentó valores que variaron en un máximo de 1233 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 226 mg/L en la estación L11 del Río La Ola, todos valores sobre el límite establecido en la norma de referencia (ie. 200 mg/L) (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 E).

(vi). *Cobre*

El cobre presentó valores que variaron desde un máximo de 0,229 mg/L en la estación L10 en el Río La Ola, el cual se encuentra por sobre el límite establecido en la normativa de referencia (ie. 0,20 mg/L). Por su parte, el valor mínimo se registró en la estación L11 de la misma Quebrada, el cual fue equivalente a de 0,012 mg/L (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 F).

(vii). *Cromo*

El cromo presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,005 mg/L), en todas las estaciones muestreadas en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal (Tabla 5-11).

(viii). *Fluoruro*

El fluoruro presentó valores que variaron entre un máximo de 0,73 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 0,2 mg/L en la estación L11 del Río La Ola, todos bajo el límite establecido en la norma de referencia (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 G).

(ix). *Hierro*

El hierro presentó valores que variaron entre un máximo de 1,68 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 0,247 mg/L en la estación L11 del Río La Ola, todos bajo el límite establecido en la normativa de referencia (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 H).

(x). *Manganeso*

El manganeso presentó mediciones por debajo del límite de detección, en la estación L11 del Río La Ola, y un máximo de 0,128 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, todos bajo el límite establecido en la normativa vigente (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-51 I).

**Tabla 5-11. Parámetros de calidad de agua evaluados en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales (\*).**

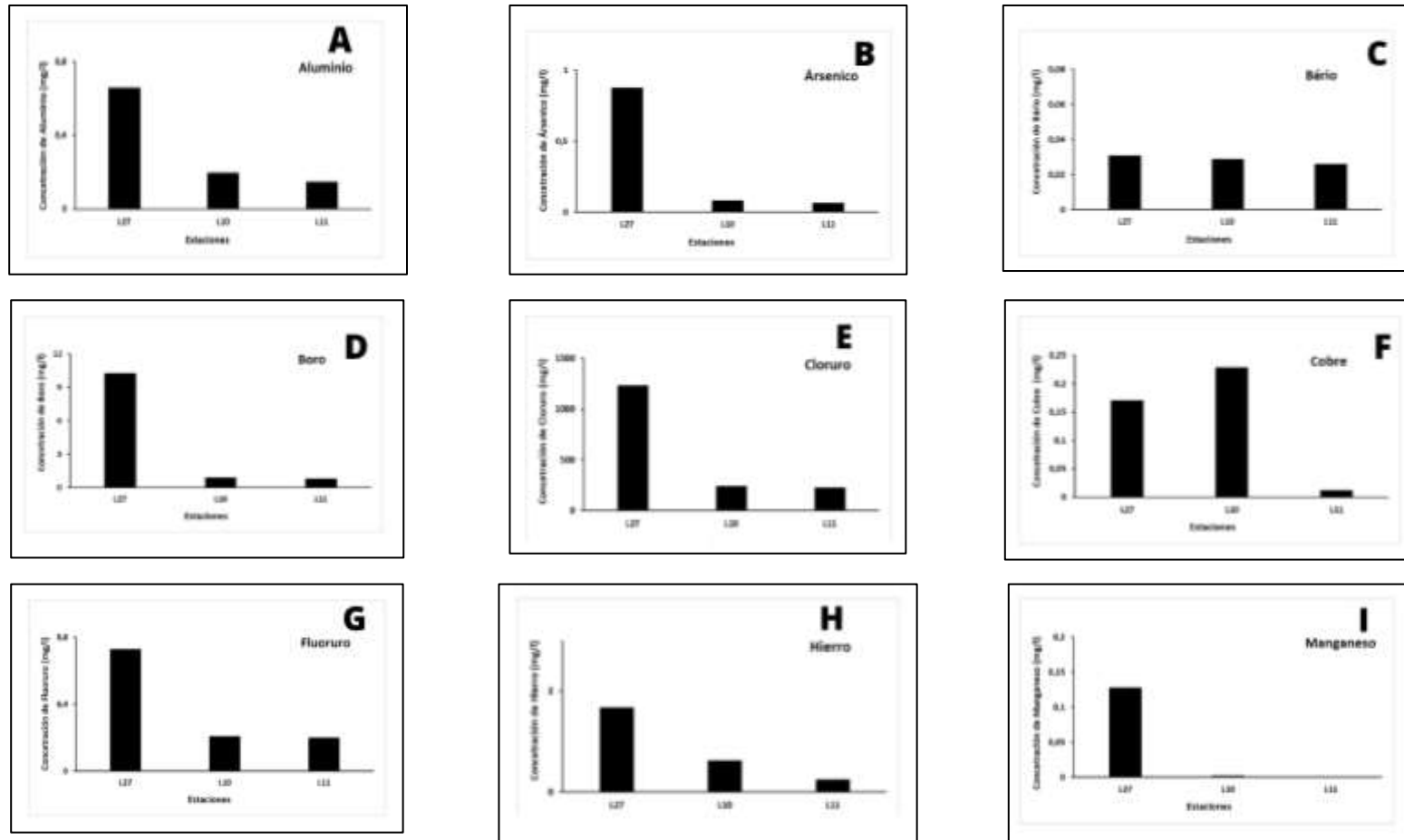
Parámetro	Unidad	L27	L10	L11	Norma Referencia	Límite NCh 1333	Límite detección
Tabla 1							
Aluminio	mg/L	0,656	0,193	0,144	NCh 1333	5,00	0,010
Arsénico	mg/L	0,876	0,084	0,066	NCh 1333	0,10	0,001
Bario	mg/L	0,031	0,029	0,026	NCh 1333	4,00	0,002
Berilio	mg/L	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,10	0,001
Boro	mg/L	10,25	0,916	0,844	NCh 1333	0,75	0,020
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,01	0,001
Cianuro	mg CN/L	0,02	0,02	0,02	NCh 1333	0,20	0,020
Cloruro	mg/L	1233	244	226	NCh 1333	200	3,000
Cobalto	mg/L	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,05	0,005
Cobre	mg/L	0,171	0,229	0,012	NCh 1333	0,20	0,005
Cromo total	mg/L	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,10	0,005
Fluoruro	mg/L	0,073	0,21	0,2	NCh 1333	1,00	0,100
Hierro	mg/L	1,68	0,624	0,247	NCh 1333	5,00	0,020
Litio	mg/L	2,83	0,905	0,801	NCh 1333	2,50	0,003
Litio cítrico	mg/L	2,83	0,905	0,801	NCh 1333	0,08	0,003
Manganeso	mg/L	0,128	0,002	0,001	NCh 1333	0,20	0,001
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,00	0,001
Molibdeno	mg/L	0,01	0,005	0,007	NCh 1333	0,01	0,001
Níquel	mg/L	0,141	0,137	0,005	NCh 1333	0,20	0,001
Plata	mg/L	0,002	0,004	0,004	NCh 1333	0,20	0,001
Plomo	mg/L	0,087	0,068	0,02	NCh 1333	5,00	0,001
RAS	-	10,18	3,69	3,4	NCh 1333	S/L	0,00
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,02	0,005
Sodio porcentual	%	66,7	46,9	45,42	NCh 1333	35,00	0,00
Sulfato	Mg SO <sub>4</sub> /L	432	360	211	NCh 1333	250,00	5,00
Vanadio	mg/L	0,032	0,013	0,016	NCh 1333	0,10	0,008
Zinc	mg/L	1,01	0,452	0,019	NCh 1333	2,00	0,002
Tabla 2							

Parámetro	Unidad	L27	L10	L11	Norma Referencia	Límite NCh 1333	Límite detección
Conductividad (25°C)	µs/cm	4531	1678	1573	NCh 1333	750,00	1,00
Sólidos disueltos T	mg/L	2990	1075	930	NCh 1333	500,00	5,00
Tabla 3							
pH (25°)	unidad	8,34	8,9	9,26	NCh 1333	6,0 – 9,0	5,50

\*Los valores verdes representan muestras con valores bajo el límite de detección, mientras que los valores naranjo representan valores por sobre la Norma de referencia.

Fuente: elaboración propia

Figura 5-51. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) aluminio ; B) arsénico; C) bario, D) boro; E) cloruro, F) cobre, G) fluoruro, H) hierro, I) manganeso.



Fuente: Elaboración propia.

(xi). *Litio y Litio Crítico*

El litio y litio crítico presentaron concentraciones que variaron entre un máximo de 2,83 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, hasta un mínimo de 0,801 mg/L en la estación L11 del Río La Ola. Todas las mediciones resultaron con valores por sobre el límite establecido en la norma de referencia para Litio Crítico de 0,08 mg/L (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-52 A y B).

(xii). *Molibdeno*

El molibdeno presentó valores que fluctuaron entre inferiores al límite de detección de 0,005 mg/L en la estación L10 del Río La Ola, y un máximo de 0,01 mg/L registrado en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, el cual se encuentra por sobre el límite de referencia fijado por la normativa vigente que es de 0,005 mg/L para este elemento (Tabla 5-11 y Figura 5-52 C).

(xiii). *Níquel*

El níquel presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,005 mg/L) en la estación L11 del Río La Ola, mientras que el valor máximo fue de 0,137 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, el cual está por debajo de los límites fijados por la normativa de referencia, equivalente a 0,2 mg/L (Tabla 5-11 y Figura 5-52 D).

(xiv). *Plata*

La plata presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,002 mg/L) en una de las tres estaciones (ie. Estación L11 del Río La Ola), mientras que el valor máximo fue de 0,004 mg/L en las dos estaciones del Río La Ola, el cual está por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional que es de 0,2 mg/L (Tabla 5-11 y Figura 5-52 E).

(xv). *Plomo*

El plomo presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,002 mg/L) en la estación L11 del Río La Ola, mientras que el máximo fue de 0,087 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, valor que está por debajo de los límites fijados por la normativa nacional, correspondiente a 5 mg/L (Tabla 5-11 y Figura 5-52 F).

(xvi). *Sodio Porcentual*

El sodio porcentual presentó valores que variaron entre un máximo de 66,7% en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 45,2% en la estación L11 del Río La Ola, valores que están por sobre el límite establecido en la normativa vigente, estipulado en 35% (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-52 G).

*(xvii). Sulfato*

El sulfato presentó valores que variaron entre un máximo de 430 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 211 mg/L en la estación L11 del Río La Ola (Ver Tabla 5-11 y Figura 5-52 H), siendo este valor, el único que se encuentra por debajo de los límites estipulados en la normativa (ie. 250 mg/L)

*(xviii). Vanadio*

El vanadio presentó concentraciones entre un valor máximo de 0,032 mg/L en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 0,45 en la estación L11 del Río La Ola. Todos los valores registrados, están por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional, correspondiente a 0,10 mg/L (Tabla 5-11 y Figura 5-52 I).

*(xix). Zinc*

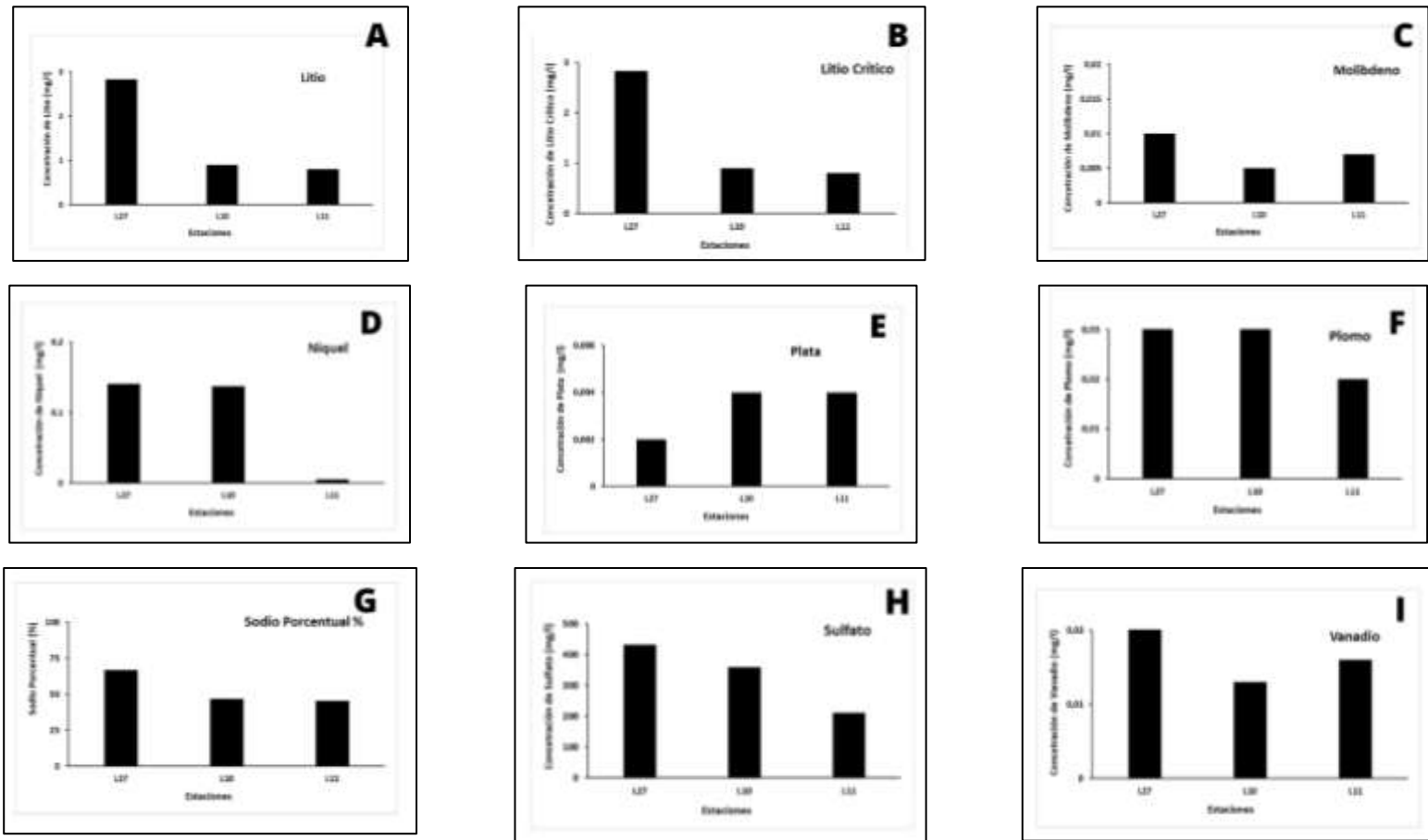
El zinc presentó concentraciones bajo los límites máximos estipulados en la normativa nacional (ie. 2,00 mg/L). La concentración máxima registrada se obtuvo en la estación L27 de la Quebrada Leoncito (ie. 1,01 mg/L), y el mínimo fue de 0,019 mg/L en la estación L11 del Río La Ola (Tabla 5-11).

*(xx). Sólidos Disueltos*

Los sólidos disueltos presentaron concentraciones por sobre lo establecido en la norma de referencia en todas las estaciones (ie. 500 mg/L), cuyos máximos se registraron en la estación L27 de la Quebrada Leoncito con una concentración de 2990 mg/L, y la menor concentraciones se registró en la estación L11 del Río La Ola (ie. 930 mg/L) (Tabla 5-11).



Figura 5-52. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) Litio; B) Litio Crítico; C) Molibdeno, D) Niquel; E) Plata, F) Plomo, G) Sodio Porcentual, H) Sulfato, I) Vanadio.



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Requisitos para agua destinada a recreación (Tabla 3, NCh 1.333. Of.78/1987)**

La turbiedad del agua registró valores que fluctuaron entre un mínimo de 7,82 UNT, en la estación L27 de la Quebrada Leoncito y el mínimo de 0,5 UNT en la estación L11 del Río La Ola. Los coliformes fecales, estuvieron por debajo de los límites de detección (ie. 1,8 NMP/100) en todas las estaciones de la zona, al igual que aceites y grasas.

**(c). Requisitos para vida acuática (Tabla 4 NCh 1.333. Of.78/1987)**

La alcalinidad total varió entre un mínimo de 63,9 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L11 del Río La Ola y un máximo de 128 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L27 de la Quebrada Leoncito. Todas las estaciones presentaron valores por sobre los límites establecidos en la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987 que fija un valor mínimo de 20 mg/L (Figura 5-53 A). El color verdadero presentó valores de 10 unidades en todas las estaciones, por debajo del valor límite establecido en la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987 (100 unidades Pt-Co). Los sólidos sedimentables presentaron valores máximos en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, equivalente a 0,2 mg/L y un mínimo de 0,1 mg/L en las dos estaciones de la Quebrada del Río La Ola (Figura 5-53 B).

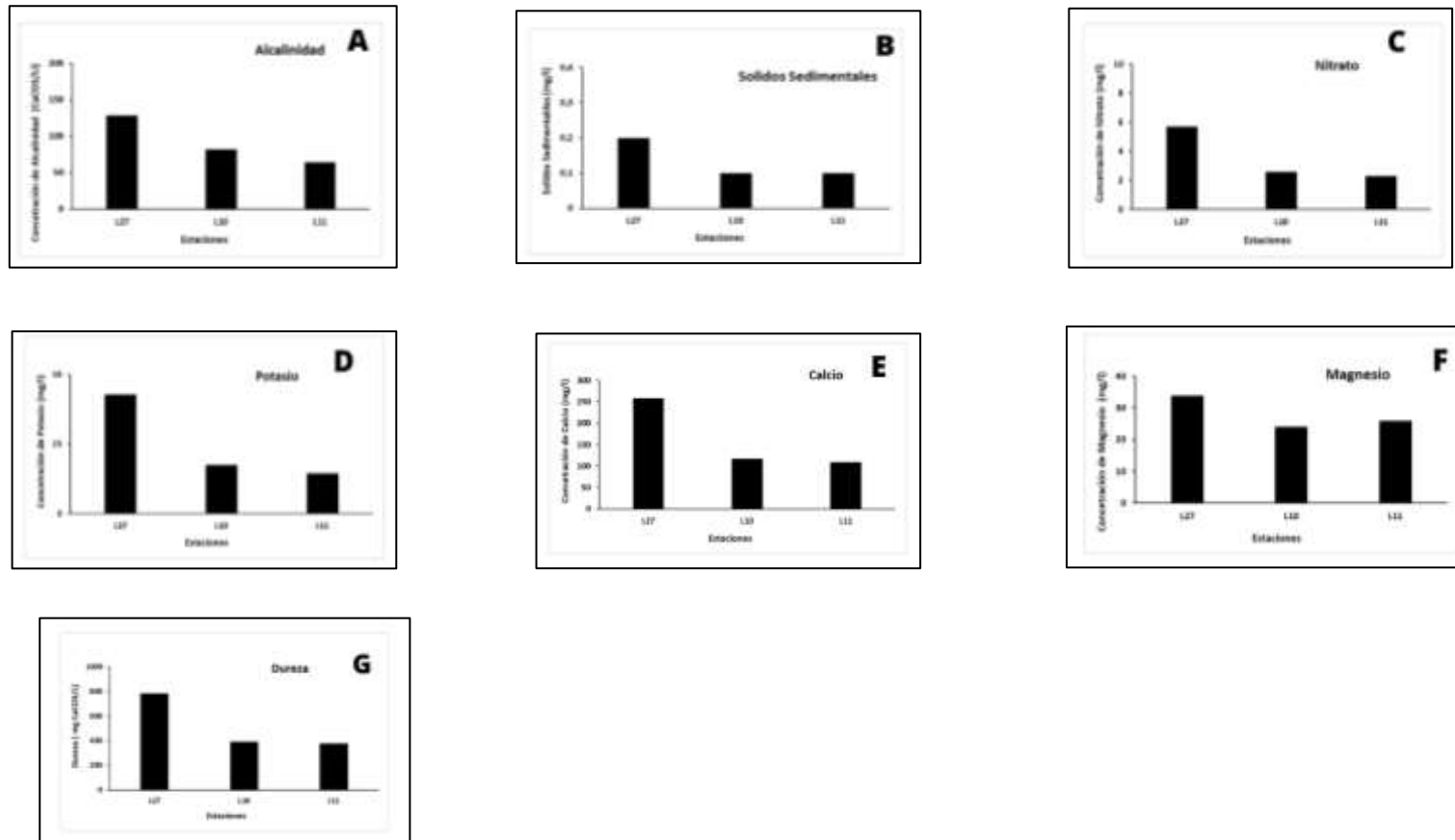
**(d). Nutrientes y Iones Mayoritarios**

El nitrato varió entre un mínimo de 2,3 mg/L en la estación L11 del Río la Ola, y un máximo de 5,7 mg/L, en la estación L27 de La Quebrada Leoncito (Figura 5-53 C), patrón que también se observó para Potasio y calcio, donde los valores máximos fueron 42,9 mg/L y 259 mg/L respectivamente para cada elemento, en la estación L27 de Leoncito (Figura 5-53 D y E). En cuanto a magnesio, el valor máximo se registró en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, equivalente a 33,6 mg/L, mientras que el valor mínimo se registró en la estación L10 del Río La Ola, con un valor de 24,1 mg/L (Figura 5-53 F).

**(e). Otras variables de importancia limnológica**

La dureza total mostró valores relativamente similares entre las estaciones de muestreo, variando entre un máximo de 785,9 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 378,8 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L11 del Río La Ola. (Figura 63G).

Figura 5-53. Concentraciones por estación obtenidas en el sector del Río La Ola y la Quebrada Leoncito de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023. A) Alcalinidad; B) Sólidos Sedimentables; C) Nitrato, D) Potasio; E) Calcio, F) Magnesio, G) Dureza.



Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.4. Sedimentos en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales

##### (a). Características generales de los sedimentos

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del sedimento en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales el área de estudio (Tabla 5-12). El contenido de aceites y grasas vario desde 922 mg/kg en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y 577 mg/kg en la estación L10 del Río La Ola.

En cuanto al contenido de materia orgánica, este fue relativamente homogéneo entre las estaciones, variando entre un máximo de 21673 mg/kg en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, y un mínimo de 16354 mg/kg en la estación L11 del Río La Ola. La humedad presentó valores que fluctuaron entre 35,5% y 41,5% en los puntos de muestreo L27 de la Quebrada Leoncito y L11 del Río La Ola, respectivamente.

El potencial de óxido reducción (Redox) de los sedimentos, se registraron valores de ambientes reductores en la mayoría de las estaciones, que variaron entre un máximo de -172 mV en L10, y un mínimo de -271 mV en L11, ambas estaciones del Río La Ola. Para el caso del sector de la Quebrada Leoncito (estación L27), los valores fueron similares llegando a -244 mV (Tabla 5-12).

En cuanto al análisis granulométrico de las estaciones de muestreo, éste mostró que en la mayoría de las estaciones el sustrato está dominado por grava (tamiz N°10), lo cual bordea el 40% del contenido de partículas de las muestras, seguido del tamiz N°18, de partículas 1 mm con arenas gruesas (Figura 5-54).

Figura 5-54. Porcentaje según tipo de grano de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Metales Pesados contenidos en los sedimentos de las estaciones ubicadas en la zona de bofedales**

Respecto al contenido de metales, el hierro fue el que registró las concentraciones más altas, mientras que berilio y mercurio presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo. A continuación, se presenta un detalle de las concentraciones de cada elemento analizado (Tabla 5-12).

El arsénico presentó concentraciones que fluctuaron entre 577 mg/kg en la estación L11 del Río La Ola y un máximo de 32,2 mg/kg en la estación L27 de la Quebrada Leoncito (Tabla 5-12). En el caso del cadmio, las dos estaciones del Río la Ola presentaron valores por debajo de los límites de detección (ie. 0,025 mg/kg), mientras que en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, el valor registrado fue de 2,15 mg/kg. En cuanto al cobre, este presentó concentraciones que variaron entre un mínimo de 6,59 mg/kg en la estación L10 del Río La Ola, y un máximo de 10,11 mg/kg, en la estación L27 de la Quebrada Leoncito (Tabla 5-12).

El cromo registró valores que fluctuaron entre 2,86 mg/Kg en la estación L10 y 3,99 mg/kg en la estación L11, ambas en el Río La Ola (Tabla 5-12). El hierro, presentó concentraciones que fluctuaron entre un mínimo de 6252 mg/Kg en la estación L27 de la Quebrada Leoncito y un máximo de 8939 mg/kg en la estación L11 del Río La Ola. En cuanto al plomo, se detectaron concentraciones que variaron entre un mínimo de 4,87 mg/kg y un máximo de 7,7 mg/kg, en la estación L27 de la Quebrada Leoncito y L11 del Río La Ola, respectivamente (Tabla 5-12). Por último, el zinc registró un valor mínimo por debajo del límite de detección en la Quebrada Leoncito (ie. 0,05 mg/kg), y una concentración máxima de 20,65 mg/kg en la estación L11 del Río La Ola (Tabla 5-12).

**Tabla 5-12. Valores puntuales de parámetros medidos en los sedimentos para cada estación de muestreo. Los valores celestes representan muestras con valores en el límite de detección de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.**

PARÁMETRO	UNIDAD	L27	L10	L11	"NORMA	Limite de Detección
Aceites y grasas	mg/Kg	922	577	618	EPA 9071 B	500
Arsénico	mg/Kg	32.2	79.2	15.5	EPA 7062	0.025
Berilio	mg/Kg	0.125	0.125	0.125	EPA 6010D	0.125
Cadmio	mg/Kg	2.15	0.025	0.025	EPA 6010D	0.025
Cobre	mg/Kg	10.11	6.59	9.84	EPA 6010D	0.125
Cromo	mg/Kg	3.26	2.86	3.99	EPA 6010D	0.125
Hierro	mg/Kg	6252	8939	8060	EPA 6010D	0.5
Mercurio	mg/Kg	0.025	0.025	0.025	EPA 7471 B	0.025
Plomo	mg/Kg	4.87	6.56	7.7	EPA 6010D	0.5
Zinc	mg/Kg	0.05	15.16	20.65	EPA 6010D	0.05
Hidrocarburos totales	"mg/Kg	500	500	500	PFQ-085	500
Hidrocarburos fijos	mg/Kg	500	500	500	EPA 9071	500
Hidrocarburos volátiles	mg/Kg	1.4	0.5	0.688	EPA-8015A	0.5
Humedad	%	41.5	40.3	35.5	SM 2540 G	0.01
Materia orgánica	mg/Kg	21673	20652	16354	CNA 7.2	5
Potencial-Oxido Reducción	mV	-244	-172	-271	PFQ-085 Rev.0	--- mv
Tamiz N° 010 - 2 mm	%	26.00	32.00	37.30		0
Tamiz N° 018 - 1 mm	%	22.10	30.75	32.12		0
Tamiz N ° 035 - 500 um	%	23.00	20.30	16.30		0
Tamiz N° 070 - 212 um	%	24.00	12.00	10.38		0
Tamiz N°120 - 125 um	%	4.00	2.30	2.51		0
Tamiz N° 230 - 63 um	%	0.01	2.00	0.05		0
Tamiz < N° 230 - 63 um	%	0.89	0.65	1.34		0
Aceites y grasas	mg/Kg	922	577	618	EPA 9071 B	500

\*Los valores verdes representan muestras con valores bajo el límite de detección, mientras que los valores naranja representan valores por sobre la Norma de referencia.

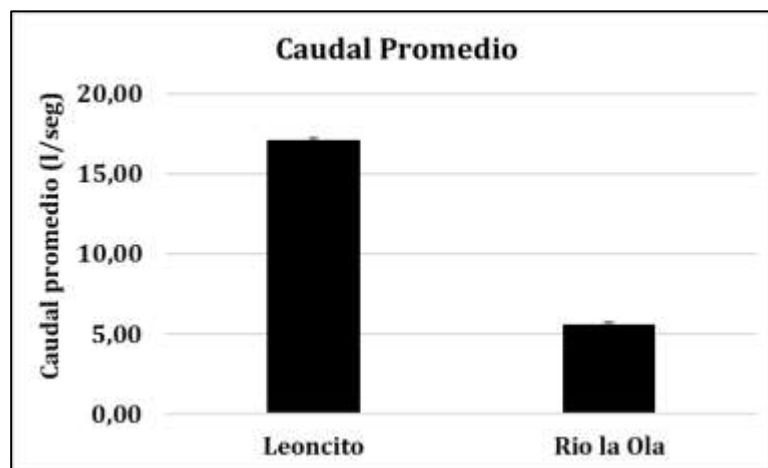
Fuente: elaboración propia

#### 5.4.5. Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales

Para el caso de ambos sectores, el caudal se pudo determinar sólo cambiando la posición de la estación de caudales, debido a que la zona no presentaba agua. Así la estación de caudales C3 fue cambiada a la zona de la estación de limnología L10 en el Río La Ola. En dicha estación (C3), el caudal promedio fue de 5,57 l/s.

En el sector de la Quebrada Leoncito, el valor promedio fue de 17,15 l/s para la estación C4 la cual fue cambiada a L27. En la Figura 5-55 se aprecia los valores promedios para cada localidad y su desviación estándar.

Figura 5-55. Caudal promedio y su respectiva desviación estándar para las distintas localidades con cuerpos de agua definidos de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.6. Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal de origen naturales o artificiales

##### (a). Fitoplancton

La comunidad de microalgas planctónicas presentó un total de 46 taxa, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 13 familias (Tabla 5-13). De las familias de diatomeas, solo 3 representaron un 67,05% de las abundancias, siendo las más recurrentes la familia Bacillariaceae con 27,3% de las abundancias, Catenulaceae con 26%, seguida de Naviculacea con 13% de las abundancias (Tabla 5-13).

A nivel de especies, la familia Bacillariaceae presentó 15 taxa, siendo las más recurrentes *Denticula elegans* y *Denticula valida*, con 4,81% para ambos registros, respectivamente (Figura 66 y 68). Para el caso de la familia Catenulaceae, se registraron 10 especies, siendo la más recurrente *Amphora sp3* con 4,57% de las abundancias (Tabla 5-13 y Figura 5-58). En el caso de la familia Naviculacea, ésta presentó 6 taxa, siendo la más recurrente *Navicula gregaria*, con 4,10% de las abundancias. A nivel espacial, la mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L10 del Río La Ola, con 31 taxa, mientras que la menor riqueza se registró en la estación L11 del Río La Ola, con 21 especies (Tabla 5-13).

En cuanto al promedio por estación del índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 3,12 en la estación L10 del Río La Ola, presentando la mayor biodiversidad en la zona de bofedales. En cuanto al índice de Simpson, éste fue de 0,67 en dicha estación, lo cual no destaca una dominancia clara de algún taxon, mientras que el índice de Pielou fue de 0,92, lo que indica que en dicha estación las taxa presentes son igualmente abundantes (Figura 5-56). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L11 del Río La Ola, con un índice de diversidad de Shannon observado de 2,64. En dicha estación se obtuvo una alta equitatividad, lo que nos señala una buena representatividad de las especies identificadas en dicha estación (ie. Un índice de 0,88), aun cuando el índice de Simpson señala que existiría una dominancia de unas pocas especies (ie. índice de 0,51) (Figura 5-56).



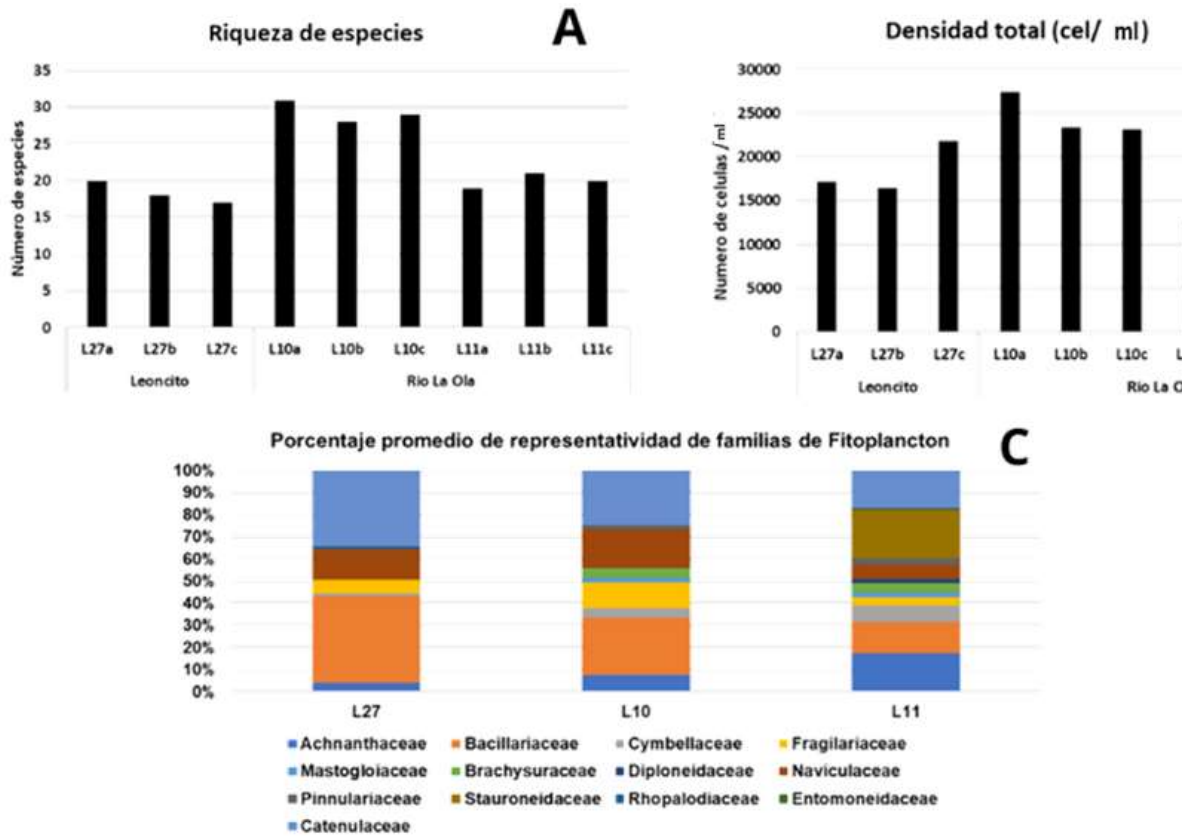
Tabla 5-13. Abundancia relativa y su desviación estándar de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal

Orden	Familia	Taxa	Quebrada Leoncito		Quebrada Rio La Ola			
			L27		L10		L11	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes_sp1</i>	0,00	0,00	0,70	0,60	0,00	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_exiguum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	1,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_helveticum</i>	0,70	0,60	8,00	2,00	9,00	1,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_minutissimum</i>	3,00	2,60	0,70	0,60	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_elegans</i>	8,70	3,20	5,00	1,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp1</i>	0,30	0,60	0,00	0,00	2,30	1,50
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp2</i>	1,70	1,50	0,70	0,60	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_subtilis</i>	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_thermalis</i>	0,30	0,60	10,70	1,50	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_valida</i>	12,30	2,50	1,30	0,60	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_epithemoides</i>	0,00	0,00	5,00	1,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_fonticola</i>	3,70	2,50	1,30	0,60	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_halloyii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_hantzschiana</i>	1,30	1,50	5,00	1,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_latens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_liebetruithii</i>	0,30	0,60	0,70	0,60	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_palea</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_pusilla</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	1,50
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_valdecostata</i>	4,70	2,50	2,00	1,00	0,00	0,00
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella_affinis</i>	1,00	1,00	5,30	1,50	5,00	1,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_capucina</i>	5,70	1,50	9,70	2,10	2,70	1,20
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_vaucheriae</i>	0,00	0,00	5,00	2,00	0,00	0,00
Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia_atacamae</i>	0,00	0,00	2,70	1,50	1,30	0,60

Orden	Familia	Taxa	Quebrada Leoncito		Quebrada Río La Ola			
			L27		L10		L11	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Naviculales	Brachysuraceae	<i>Brachysira_atacamae</i>	0,00	0,00	5,30	1,50	3,00	1,70
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis_smithii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,60
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_cryptotenella</i>	2,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_gregaria</i>	11,00	4,60	0,70	0,60	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_parinacota</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_radiosa</i>	0,00	0,00	10,00	2,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_salinicola</i>	0,00	0,00	5,00	1,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_veneta</i>	0,00	0,00	4,00	0,00	3,30	0,60
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia_major</i>	0,00	0,00	2,00	1,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia_viridis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00
Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis_atacamae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	3,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia_wetzelli</i>	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis_alata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,60
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_copulata</i>	5,70	1,50	2,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_lineolata</i>	6,70	1,50	2,70	1,50	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_ovalis</i>	0,00	0,00	3,30	1,50	6,70	1,50
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._1_</i>	0,00	0,00	2,00	1,00	1,70	1,50
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._10</i>	0,00	0,00	6,30	0,60	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._11</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	1,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._3</i>	6,00	0,00	7,00	1,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._5</i>	5,70	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._7</i>	7,70	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._8</i>	0,00	0,00	6,30	1,20	1,30	0,60
<b>Total</b>			<b>92,5</b>	<b>34,9</b>	<b>123,4</b>	<b>32,1</b>	<b>68,6</b>	<b>20,9</b>

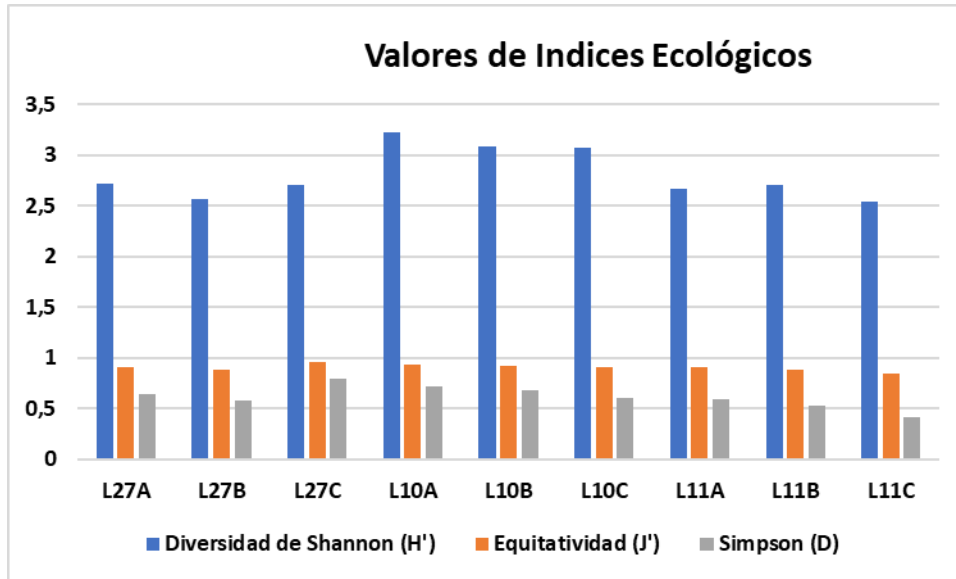
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-56. Composición y estructura de las comunidades de microalgas planctónicas de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



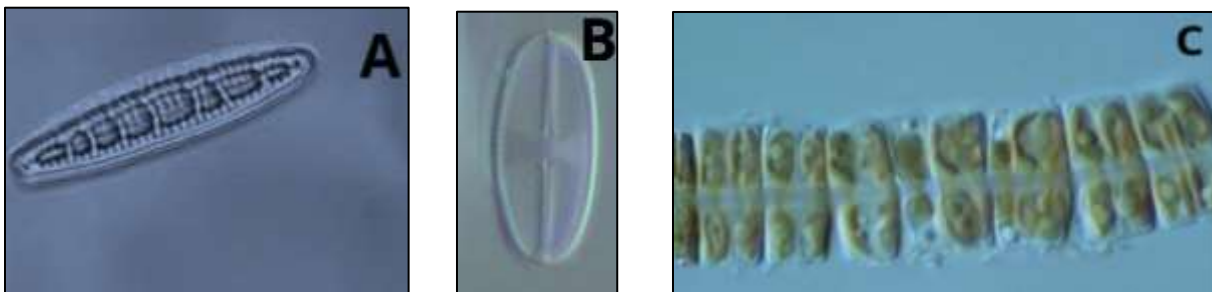
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-57. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson para el Fitoplancton de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-58. Microalgas planctónicas registradas de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



A) *Denticula elegans* B). *Achnantheidium helveticum* y C). *Fragilaria capucina*.

Fuente: Elaboración propia.

**(b). Fitobentos**

La comunidad de microalgas bentónicas presenta un total de 31 taxa, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 8 familias (Tabla 5-14).

De las familias de diatomeas, solo 3 representan un 80,8% de las abundancias, siendo las más recurrente Bacillariaceae con 32% de las abundancias, seguida de las familias Naviculaceae con 26,8% y Catenulaceae con 21,3% de las abundancias (Tabla 5-14).

A nivel de especies, la familia Bacillariaceae presentó 10 taxa, siendo las especies más recurrentes *Nitzschia hantzschiana* y *Nitzschia fonticola*, con 8,78% y 6,45% de los registros, respectivamente.

En el caso de las especies de la familia Naviculaceae, ésta presentó 9 taxa, siendo las más recurrentes *Navicula veneta* con 7,89% y *Navicula cryptotenella* con 6,63% de las abundancias. Para el caso de la familia Catenulaceae, se registraron 10 especies, siendo la más recurrente *Amphora ovalis* con 7,53% de las abundancias (Tabla 5-14 y Figura 5-58).

A nivel espacial, la mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L27 de la Quebrada Leoncito, con 20 taxa, mientras que la menor riqueza se registró en la estación L10 del Río La Ola, con 14 especies (Ver Tabla 5-14).

En cuanto al promedio por estación del índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 2,55 en la estación L27 de la Quebrada Leoncito. En cuanto al índice de Simpson, éste fue de 0,65 en dicha estación, no presentándose una dominancia clara, mientras que en función de la equitatividad de Pielou abreviada, equivalente a 0,90, sinónimo de que las especies presentes serían igualmente abundantes (Figura 5-60). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L10 del Río La Ola, con un índice de diversidad de Shannon observado de 2,59, lo que sugiere una baja representatividad de las especies presentes en el área. En dicha estación se obtuvo una alta equitatividad, lo que señala una buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación (ie. un índice de 0,89). Por su parte, el índice de Simpson indicaría una dominancia de unas pocas especies (ie. un índice de 0,60) (Figura 5-60).

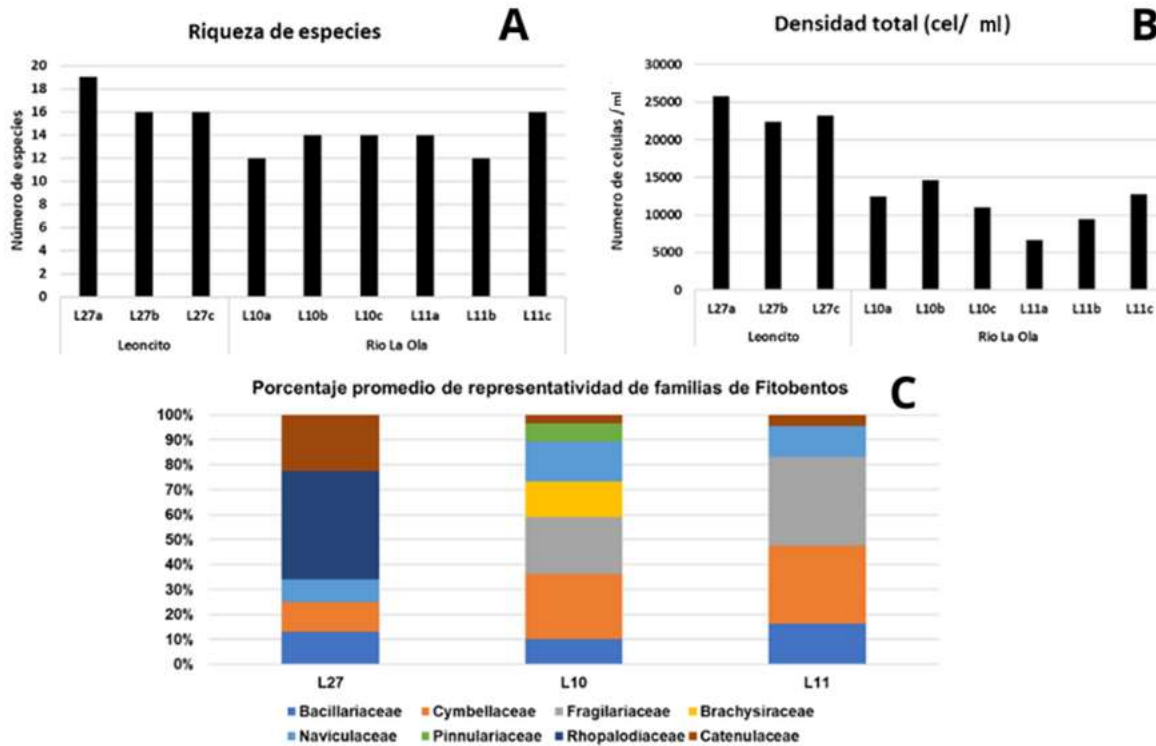
**Tabla 5-14. Abundancia relativa promedio y su respectiva desviación estándar de los taxa de fitobentos (cel/ml) identificados de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en la temporada 2023.**

Orden	Familia	Taxa	Quebrada Leoncito		Quebrada Rio La Ola			
			L27		L10		L11	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula elegans</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	1,700	2,100
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula valida</i>	0,000	0,000	3,700	1,500	5,300	3,800
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia acicularis</i>	0,700	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia commutata</i>	4,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia epithemoides</i>	0,300	0,600	0,000	0,000	2,700	1,500
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia fonticola</i>	12,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia hantzschiana</i>	11,700	1,500	4,700	1,500	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia latens</i>	1,300	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia palea</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	3,000	2,000
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia pusilla</i>	3,000	2,000	5,700	2,500	0,000	0,000
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella affinis</i>	3,000	2,600	3,700	2,300	2,700	1,500
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria capucina</i>	0,000	0,000	3,700	2,900	4,000	2,600
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	0,000	0,000	2,700	2,100	2,000	0,000
Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira atacamae</i>	0,000	0,000	2,000	1,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula capitatoradiata</i>	0,000	0,000	2,000	1,000	1,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cincta</i>	3,300	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cryptotenella</i>	0,000	0,000	1,000	1,000	3,300	2,100
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula gregaria</i>	11,300	0,600	0,000	0,000	1,000	0,000

Orden	Familia	Taxa	Quebrada Leoncito		Quebrada Rio La Ola			
			L27		L10		L11	
			Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula lanceolata</i>	0,000	0,000	3,300	3,200	0,300	0,600
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula parinacota</i>	2,300	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula radiosa</i>	0,000	0,000	1,700	2,100	0,000	0,000
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula salinicola</i>	1,300	2,300	0,000	0,000	3,300	2,100
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula veneta</i>	2,300	2,100	12,000	1,000	0,300	0,600
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp2</i>	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia wetzelli</i>	11,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>	9,000	2,600	3,000	2,000	1,300	0,600
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora ovalis</i>	14,000	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp, 10</i>	4,300	3,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp, 11</i>	2,300	1,500	0,000	0,000	0,700	0,600
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp, 4</i>	3,000	2,600	0,000	0,000	0,300	0,600
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp, 5</i>	1,700	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000
Total			<b>101,80</b>	<b>31,30</b>	<b>50,20</b>	<b>24,10</b>	<b>33,90</b>	<b>21,70</b>

Fuente: Elaboración propia.

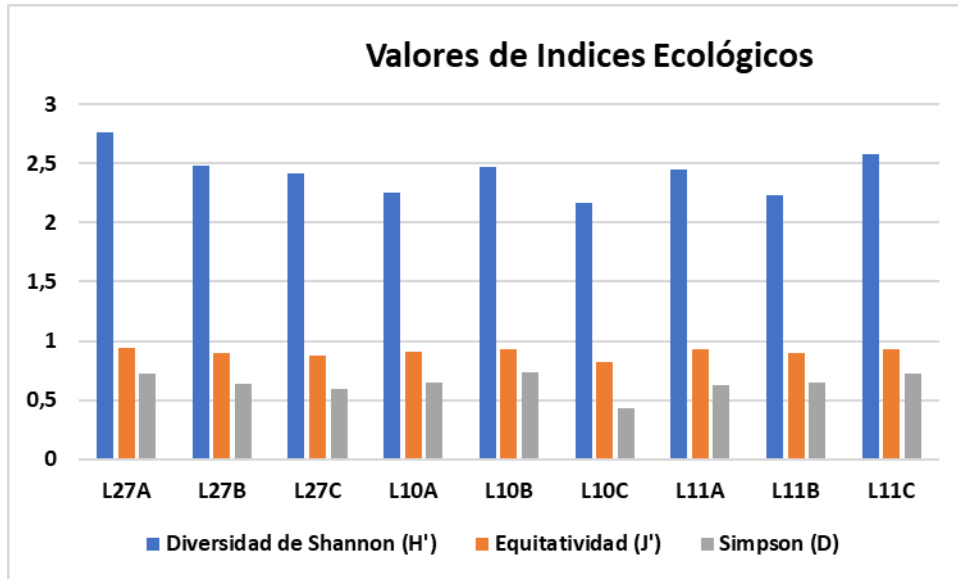
Figura 5-59. Composición y estructura de las comunidades de microalgas bentónicas en la de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal



Fuente: Elaboración propia.

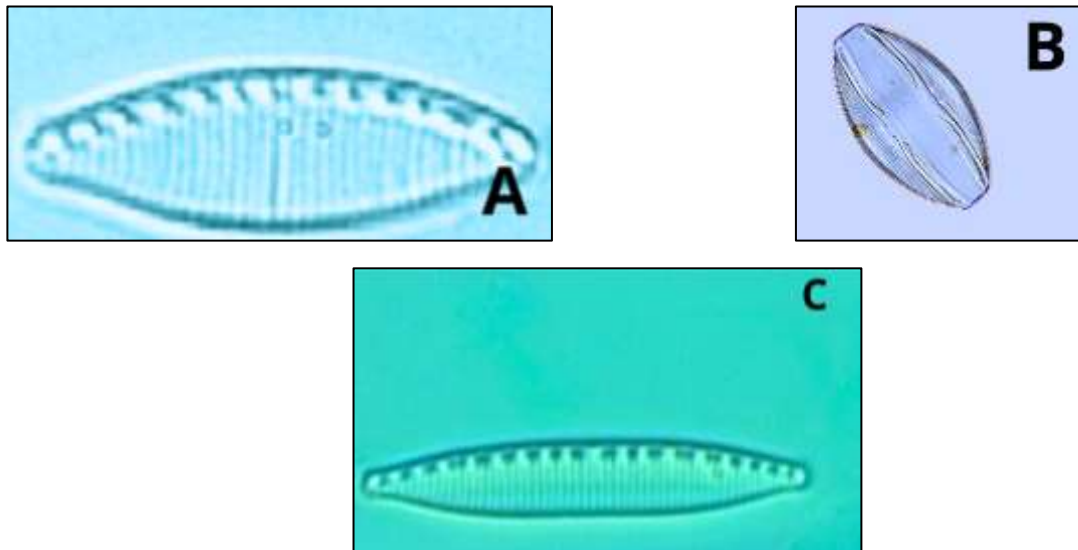


Figura 5-60. Índices de Diversidad de Shannon, Equitatividad de Pielou y de Dominancia de Simpson de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-61 Microalgas bentónicas registradas en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.



A) *Nitzschia hatzchiana*. B) *Amphora ovalis*; C) *Nitzschia fonticola*.

Fuente: Elaboración propia.

**(c). Zooplancton e invertebrados en la columna de agua.**

En general, el zooplancton fue pobre en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal, y la composición de la muestra estuvo representada principalmente por la presencia de especímenes de crustáceos la clase de Branchiopoda, Malacostraca, Ostracoda y Copepoda, así como de insectos de la familia Chironomidae y Pseudococcidae (Tabla 5-15). Estos últimos fueron eliminados del análisis debido a que su presencia pudo deberse a un efecto mecánico del muestreo.

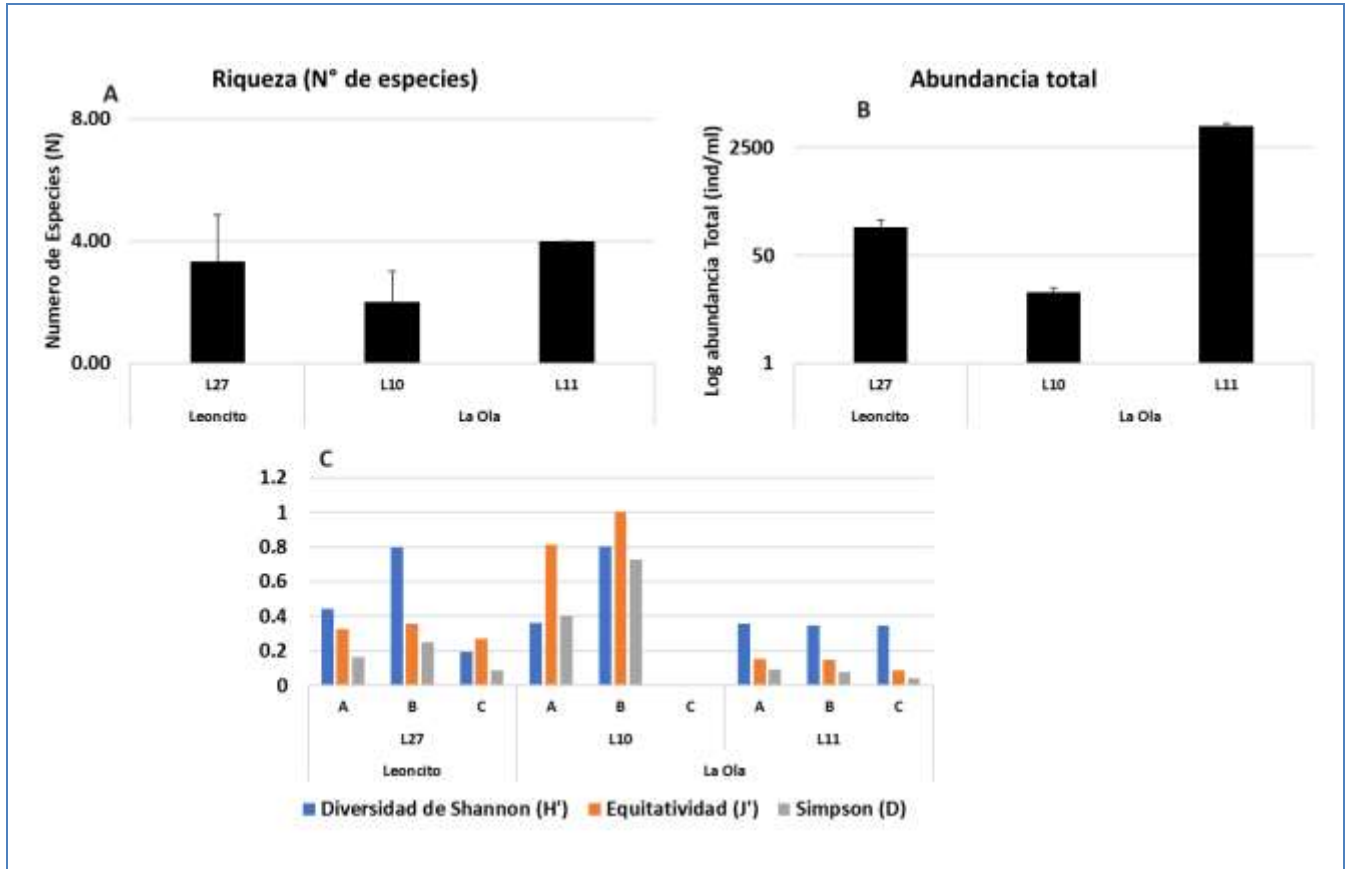
Por consiguiente y considerando solo grupos pertenecientes al zooplancton, podemos señalar que la riqueza de especies promedió un máximo de 4 taxa en la estación L11 del Río La Ola, donde se detectó una gran abundancia de especímenes de *Chydorus sp.*, con valores promedio total de 5369 ind/ml, con un máximo de 5932 ind/ml en una de las replicas, y un mínimo de 4712 ind/ml. La menos diversa de las estaciones fue L10 del Río La Ola, con un promedio de 2 especies, la cual además presentó una baja abundancia promedio, calculada en 13,33 ind/ml (Ver Tabla 5-15 y Figura 5-62). Además, se registró que, en el caso del índice de diversidad de Shannon, el indicador más alto fue de 0,8049 en una de las réplicas de la estación L10 del Río La Ola, y el índice de Simpson fue de 0,7273, lo que se relaciona a la dominancia de unos pocos individuos en el área. Por otro lado, la diversidad de especies fue baja en la estación L11 del Río La Ola, donde se detectó una alta abundancia de *Chydorus sp.* (Figura 5-62). Esta especie representó por sí sola el 93,5% de la abundancia, siendo el grupo más abundante, seguido por las familias Hyalella y Cyclopoidea, ambas con 0,2% de representatividad (Tabla 5-15 y Figura 5-62 C),

**Tabla 5-15. Composición y estructura de las comunidades del zooplancton e invertebrados de la columna de agua de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. Valores expresados en ind/ml.**

Clase	Familia	Género	Especie	Leoncito			La Ola					
				L27			L10			L11		
				A	B	C	A	B	C	A	B	C
Branchiopoda	Chydoridae	Chydoridae	<i>Chydorus sp.</i>	4,0	8,0	8,0	4,0	4,0	0,0	4484,0	5240,0	5808,0
Branchiopoda	Macrothricidae	Macrothricidae	<i>Macrothricidae indeterminado</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	48,0	16,0
Copepoda	Cyclopidae	Cyclopidae	<i>Cyclopidae indeterminado</i>	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	204,0	148,0	84,0
Copepoda		Harpacticoida	<i>Harpacticoida indeterminado</i>	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Malacostraca	Hyaellidae	Hyaella	<i>Hyaella sp.</i>	84,0	128,0	164,0	0,0	4,0	12,0	4,0	28,0	24,0
Ostracoda	Cyprididae	Herpetocypris	<i>Herpetocypris sp.</i>	0,0	4,0	0,0	12,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Total</i>				92	148	172	16	12	12	4712	5464	5932

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-62. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton e invertebrados de la columna de agua en de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-63. Composición y estructura de las comunidades del zooplancton e invertebrados de la columna de agua de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal.**



A) *Chydorus*; B) *Hyaella*; y C) *Cyclopoidea*.

Fuente: Elaboración propia.

#### (d). Zoobentos o Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados presentaron baja presencia en la de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. La comunidad estuvo representada principalmente por tres familias de insectos, Chironomidae, Dolichopodidae y Elmidae. Todos estos grupos representan el 76,8% de las abundancias (Ver Tabla 5-16). Otros grupos presentes fueron Anélidos oligoquetos de la familia Naididae y Glossiphonidae, así como también representantes del grupo de los Platyhelminthes.

La mayor riqueza de especies fue registrada en la estación L10 del Río La Ola, con un promedio de 7 especies aproximadamente, y una abundancia promedio total de 182 ind/m<sup>2</sup>. La estación con el menor número de registros, tanto para riqueza como abundancia, fue la estación L27 de la Quebrada Leoncito, la cual presentó un promedio de 2,3 especies, con 12,67 ind/m<sup>2</sup>. Los grupos más abundantes fueron el género *Hyaella* y el género *Naididae* sp. ambas con 20,7% de representatividad (Ver Tabla 5-16 y Figura 5-64).

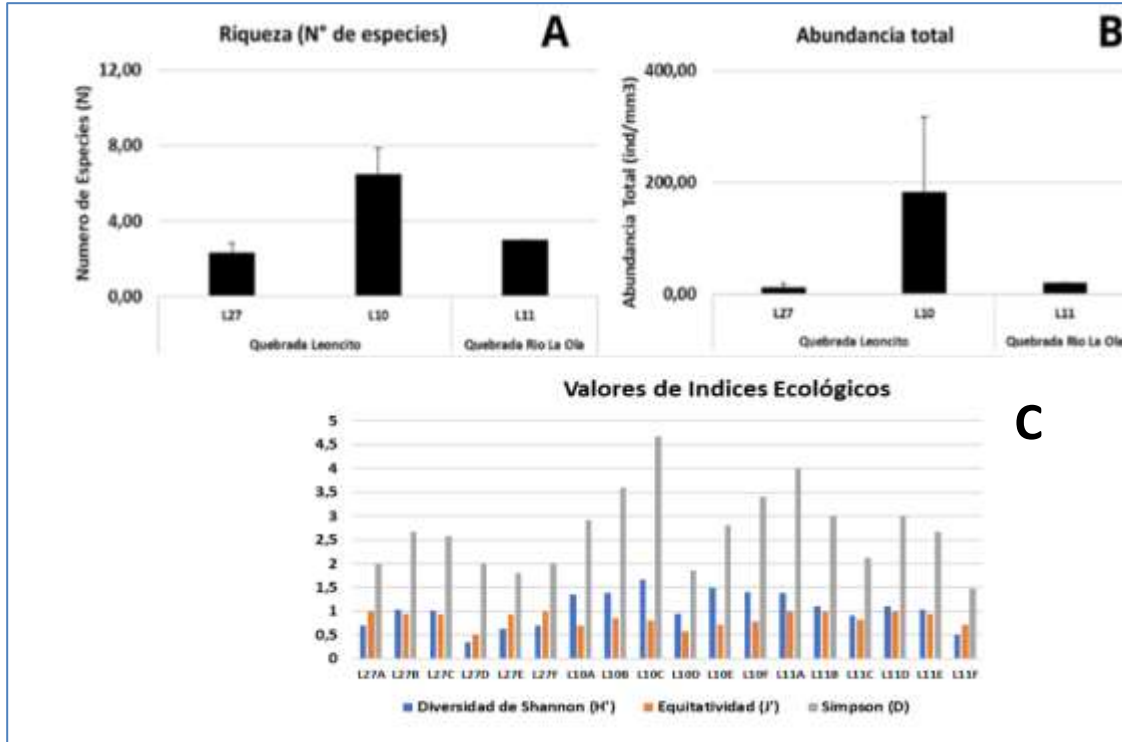
En cuanto al índice de diversidad de Shannon, el indicador promedio más alto se registró en la estación L10 del Río La Ola, con un valor de 1,37 sin embargo, el índice de Simpson fue de 3,2 en dicha estación, lo que determinaría una alta dominancia de unos pocos individuos, lo cual se ve reflejado en el bajo valor promedio obtenido por el índice de equitatividad de Pielou (ie: 0,76) (Figura 5-64 C).

**Tabla 5-16. Composición y estructura de las comunidades del zoobentos de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal. Valores expresados en ind/m<sup>2</sup>.**

Clase	Familia	Especie	Leoncito						Rio La Ola											
			L27						L10						L11					
			A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Clitellata	Glossiphoniidae	Glossiphoniidae indeterminado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	8,00	0,00	4,00	8,00	4,00	4,00	0,00	4,00	0,00	0,00
Clitellata	Naididae	Naididae indeterminado sp1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	28,00	48,00	8,00	0,00	4,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clitellata	Oligoqueto	Oligoqueto indeterminado sp1.	4,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	28,00	4,00	8,00	16,00
Insecta	Chironomidae	Chironomidae indeterminado sp1.	0,00	4,00	12,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insecta	Dolichopodidae	Dolichopodidae indeterminado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	8,00	0,00	4,00	0,00
Insecta	Elmidae	Elmidae indeterminado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	44,00	100,00	20,00	4,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Insecta	Empididae	Empididae indeterminado	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	4,00	0,00	4,00	4,00	8,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Malacostraca	Hyalellidae	Hyalella sp.	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	84,00	48,00	144,00	4,00	8,00	48,00	4,00	0,00	8,00	4,00	0,00	4,00
Platyhelminthes	Platyhelminthes	Platyhelminthes indeterminado	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	4,00	8,00	60,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>Total</b>	<b>4,00</b>	<b>16,00</b>	<b>24,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>4,00</b>	<b>156,00</b>	<b>128,00</b>	<b>364,00</b>	<b>36,00</b>	<b>32,00</b>	<b>112,00</b>	<b>16,00</b>	<b>12,00</b>	<b>44,00</b>	<b>12,00</b>	<b>16,00</b>	<b>20,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-64. Composición y estructura de las comunidades de zoobentos y de invertebrados de la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.



Fuente: Elaboración propia.

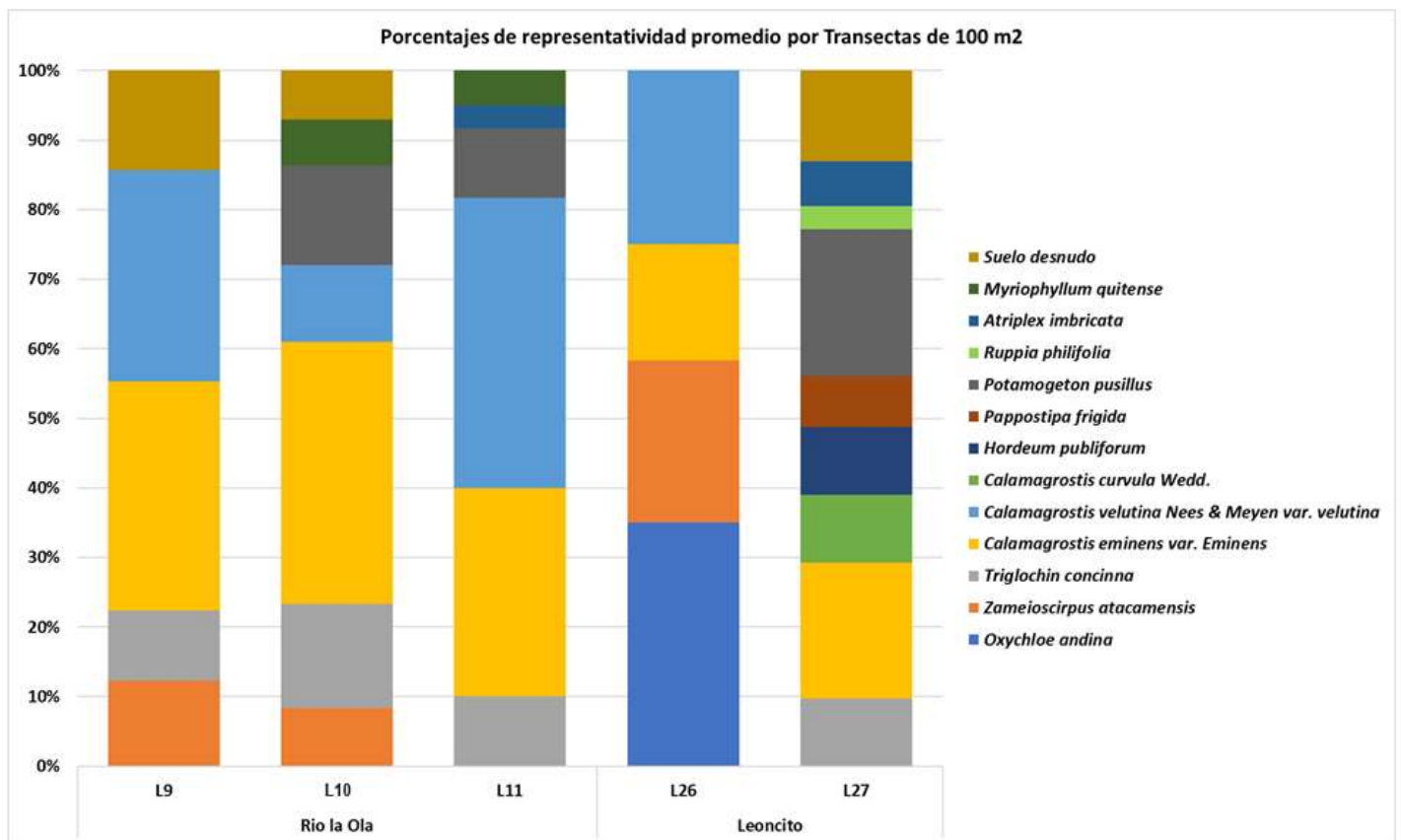
Figura 5-65. Imagen general de representantes de la clase Clitellata del género *Naididae sp.* presentes en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.



(e). Flora Acuática

En términos generales los diferentes cuerpos de agua analizados presentaron 3 especies de flora acuática (*Potamogeton pusillus*, *Ruppia philifolia* y *Chara sp*). Las estaciones analizadas estaban dominadas principalmente por especies de la familia Poaceae, que representaban por sí solas el 54% de las coberturas a nivel de transectos. Dentro de este grupo, *Calamagrostis eminens var. Eminens* fue la especie que, en términos generales, presentó mayores coberturas con un 27% del total registrado para las 5 estaciones analizadas, seguida de *Calamagrostis velutina* con un 22 % (Ver Figura 5-66 y Tabla 5-17).

Figura 5-66. Coberturas de las especies presentes en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.

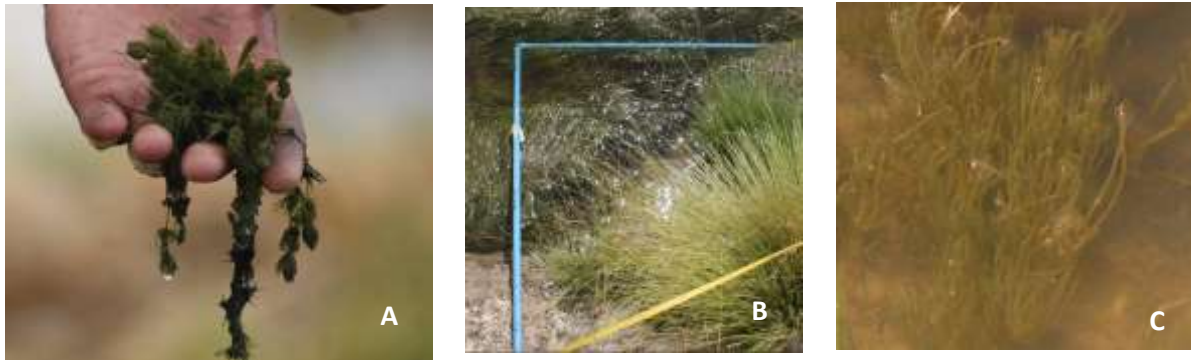


Fuente: Elaboración propia.



A nivel de especies acuáticas, *Potamogeton pusillus* representó el 73% de las coberturas en aquellas estaciones donde se encontró, las cuales fueron 3, las estaciones L10 y L11 del Río La Ola, y la estación L27 de la Quebrada Leoncito. En el caso de *Chara sp.* esta estuvo en 2 estaciones, con un 23% de cobertura donde se encontraba y en el caso de *Ruppia philifolia*, esta no presentó valores de cobertura sobre el 10% en las tres estaciones donde estuvo presente (Figura 5-67).

**Figura 5-67. Principales especies identificadas en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.**



A) *Myriophyllum quitense*, B) *Potamogeton pusillus* y C) *Ruppia philifolia*.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-17 se presenta la riqueza de especies por cada estación. Las estaciones con mayor número de especies fue la estación L27 de la Quebrada Leoncito, ambas con 8 especies. Mientras que en las estaciones L9 del Río La Ola, y estación L26 de la Quebrada Leoncito, respectivamente, se registraron 4 especies, las cuales correspondieron a ambientes sin cursos de agua definidos, y con evidentes signos de desecación de los bofedales, lo que podría explicar la baja riqueza de especies y la dominancia de *Zaemioscirpus atacamensis* en dichas estaciones.

#### (f). Fauna íctica

Como resultado de las prospecciones de peces ejecutadas en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal no se registraron especímenes de la Ictiofauna en ninguna de las estaciones analizadas.

**Tabla 5-17. Composición y estructura de las comunidades de la flora en la zona de bofedales y cuerpos de agua tipo canal en verano 2023.**

Clase	Familia	Genero	Especie	Quebrada Río La Ola			Quebrada Leoncito	
				L9	L10	L11	L26	L27
Liliopsidia	Juncaceae	Oxychloe	<i>Oxychloe andina</i>				X	
Liliopsidia	Cyperaceae	Zameioscirpus	<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	X	X		X	
Liliopsidia	Juncaginaceae	Triglochin	<i>Triglochin concinna</i>	X	X	X		X
Liliopsidia	Poacea	Calamagrostis	<i>Calamagrostis eminens var eminens</i>	X	X	X	X	X
Liliopsidia	Poacea	Calamagrostis	<i>Calamagrostis velutina var velutina</i>	X	X	X	X	
Liliopsidia	Poacea	Calamagrostis	<i>Calamagrostis curvula wedd</i>					X
Liliopsidia	Poacea	Hordeum	<i>Hordeum publiform</i>					X
Liliopsidia	Poacea	Pappostica	<i>Pappostica frigida</i>					X
Liliopsidia	Potamogetonaceae	Potamogeton	<i>Potamogeton pusillus</i>		X			X
Liliopsidia	Ruppiaceae	Ruppia	<i>Ruppia phillifolia</i>		X	X		X
Magnoliopsida	Amaranthaceae	Atriplex	<i>Atriplex imbricata</i>			X		X
Magnoliopsida	Haloragaceae	Myriophyllum	<i>Myriophyllum quitense</i>		X	X		
<b>Total</b>				<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.5. Zona de Sistemas de Lagunas y Salares

La zona del sistema de Lagunas y Salares está ubicada en la zona norte de la cuenca de Pedernales, además de estar compuesta por dos cuencas de menor tamaño hacia el este del Salar de Pedernales. Esta comprende las estaciones del sector suroeste del Salar de Pedernales, las estaciones del sector nor este del Salar de Pedernales, además de las estaciones del Salar La Laguna y Piedra Parada.

**Figura 5-68. Ubicación cursos de agua vinculados la zona de Sistemas de Lagunas y Salares.**



Fuente: Elaboración Propia.

En términos generales, la mayoría de las lagunas y salares carecían de vegetación en sus bordes, y solo esta proliferaba fuera de la influencia de la costra salina. En estos casos, las especies que se registraron fueron *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, en asociación con ejemplares de *Calamagrostis velutina*.

A continuación, en la Tabla 5-18 se muestran las características generales de los ecosistemas acuáticos presentes en la zona de Lagunas y Salares.

Tabla 5-18. Caracterización del hábitat en las estaciones de muestreo de la zona de sistemas de salares.

Características	Puntos de Muestreo								Puntos de Muestreo								
	Salar Pedernales Sur						Salar La Laguna		Salar Piedra Parada			Salar Pedernales Norte					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L12	L13	L14	L30	L31	L32	L33	L34	L35
Tipo de Sistema	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar	Salar
Origen	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura	Natura
Patron	Canal	Canal	Canal	Pozas	Sin Agua	Canal	Poza	Sin Agua	Canal	Canal	Canal	Poza	Poza	Poza	Poza	Poza	Poza
Tipo de fondo	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango	Fango
Condición de flujo	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Vel. corriente (m/s)	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Ancho total (m)	12,5	6	15	12	13	15	15	14	15	15	14	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Profundidad Maxima (m)	0,12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	3	3	2	2	2	2
Profundidad Media (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1,5	1	1	1	1
Vegetacion acuatica	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vegetacion de rivera	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Detritus Vegetal	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cobertura docel	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Luminocidad (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Uso de suelo adyacente	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso	Sin Uso
Hábitat de peces	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

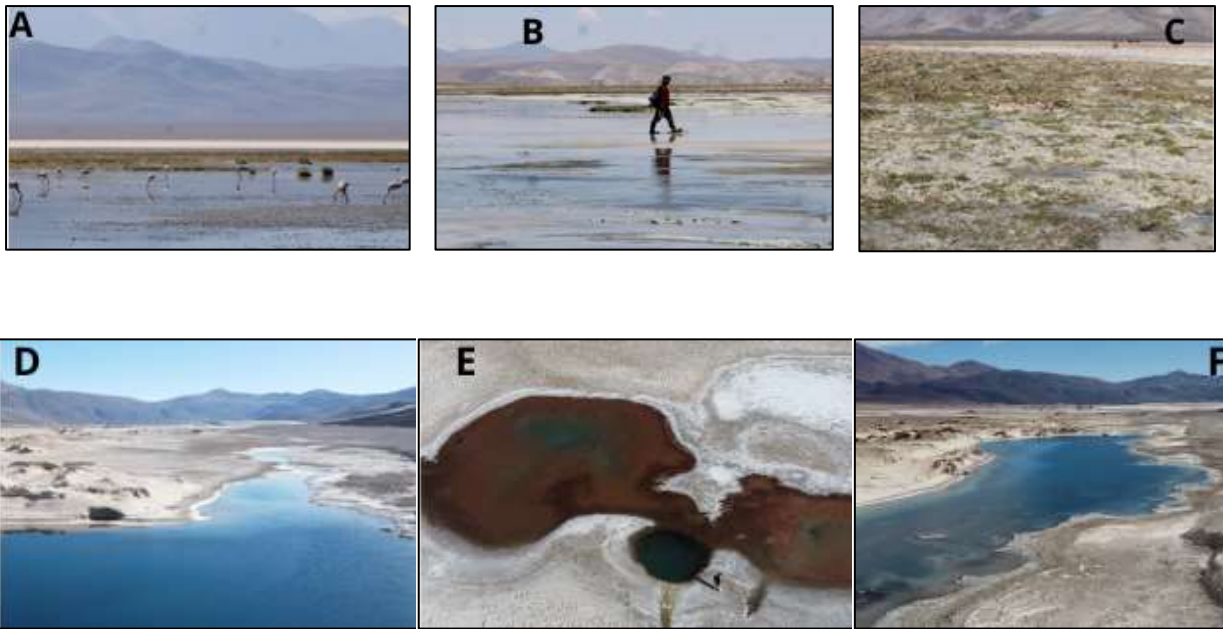
Fuente: Elaboración propia

### 5.5.1. Caracterización de los Sistemas de Lagunas y Salares

#### (a). Salar de Pedernales Sur

En el Salar de Pedernales Sur incluyó la realización de muestras en 6 estaciones cuyos códigos fueron L1, L2, L3, L4, L5 y L6. Este sector se caracterizó por ser un curso de agua somero, de no más de 10 cm de profundidad, el cual corre mayoritariamente de Sur a Norte hacia la zona del depocentro del salar. Sus bordes se caracterizan por presentar una costra salina, que impide la proliferación masiva de vegetación, aunque se presentaban zonas con especímenes de *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxichloe andina*, y en el límite, con zonas más terrestres, se registró la presencia de *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Calamagrostis velutina*, *Calamagrostis curvula* y *Ruppia philifolia* en menor escala (Figura 5-69 A, B y C).

Figura 5-69. Imagen general de la zona Salar Pedernales Sur (A, B y C) y Salar de Pedernales Norte (D, E y F).



Estaciones L6 (A), L3 (B) y L1 (C).

Estaciones L31 (D), L34 (E) y L35 (F).

Fuente: Elaboración propia.

**(b). Salar de Pedernales Norte**

La segunda zona, corresponde a una serie de lagunas en la zona Noreste del Salar de Pedernales. En esta zona se realizaron 6 estaciones de monitoreo cuyos códigos fueron L30, L31, L32, L33, L34 y L35, las cuales, en su conjunto, se caracterizaban por ser lagunas desconectadas de un curso de agua visible, las cuales presentaban una profundidad no superior a dos metros en su zona más profunda. Al igual que en la zona sur, se observó una costra salina, pero que, en este caso, impedía la proliferación de vegetación en su ribera (Figura 5-69 D, E y F).

**(c). Salares Piedra Parada**

En el Salar Piedra Parada, se evaluaron las condiciones ambientales en 3 estaciones, cuyos códigos fueron L12, L13 y L14. Esta laguna se encuentra a 40 km al este del Salar de Pedernales, el cual es parte de una cuenca independiente de carácter endorreico. Esta zona se caracteriza por estar conformada por una gran laguna somera, de no más de 50 cm de profundidad, la cual se caracterizó por tener sedimentos de características finas, con una capa de sal sobre los sedimentos, con escasa vegetación. En sus bordes se pudo observar la presencia de la especie *Oxychloë andina* y en menor cantidad de la especie *Zameioscirpus atacamensi* (Figura 5-71 A y B).

**Figura 5-70. Imagen general del Salar Piedra Parada**



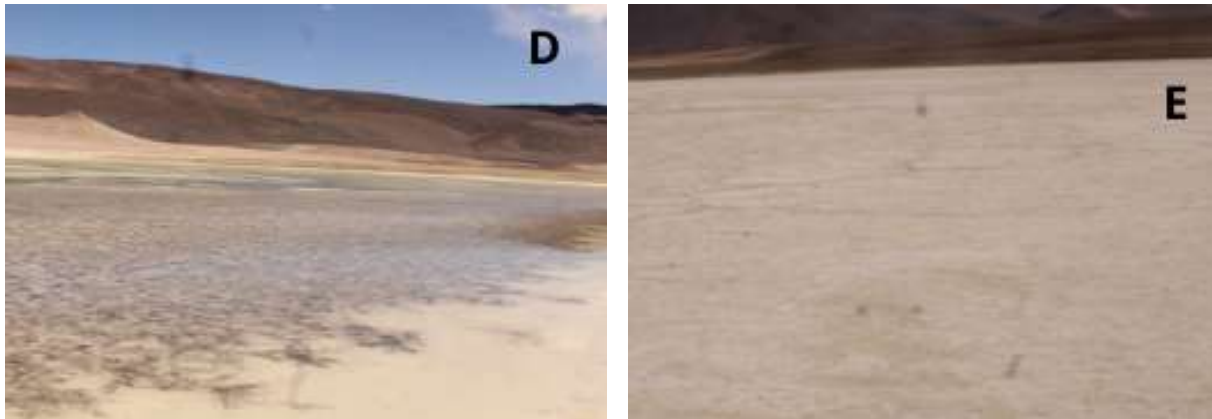
Estaciones L12 (A), L13(B), L14(C)

Fuente: Elaboración Propia

(d). **Salar La Laguna**

En cuanto al Salar La Laguna, cuyas estaciones tuvieron los códigos L7 y L8, se encuentra ubicada a 20 km al noreste del Salar de Pedernales, donde se forma una laguna somera de no más de 50 cm de profundidad, y de la cual, en su extremo sur en la zona de la estación L8 se encontraba seca al momento de realizar el muestreo (Figura 5-71). Las especies más recurrentes en los bordes del salar fueron las especies *Zameioscirpus atacamensis*, *Oxychloe andina*, y *Calamagrostis velutina*.

**Figura 5-71. Imagen general del Salar La Laguna.**



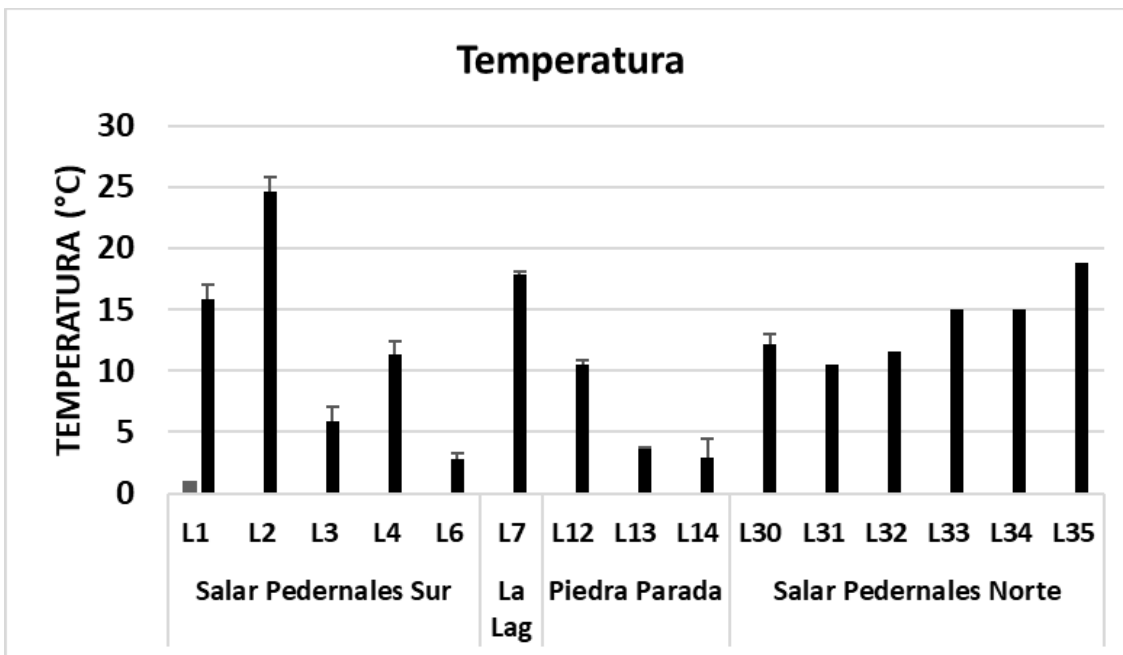
Estaciones L7 (D), y L8 (E).  
Fuente: Registro campaña en terreno

### 5.5.2. Calidad del Agua en la Sistemas de Lagunas y Salares

#### (a). Temperatura superficial

En la Figura 5-72 se presentan valores promedio de la temperatura (°C) del cuerpo de agua, en cada una de las estaciones analizadas para la zona de los salares y su respectiva desviación estándar. En este sentido, el valor promedio de temperatura más alto se registró en la estación L2, correspondiente a una de las estaciones del Salar Pedernales Sur (ie. 24,7°C, DS. 1,2°C), mientras que la más baja se presentó en la estación L14 del Salar Piedra Parada (ie. 2,9°C, DS. 1,6°C).

Figura 5-72. Temperatura (°C) en cada una de las estaciones de monitoreo que presentaban cursos de agua al momento del muestreo Sistemas de Salares.



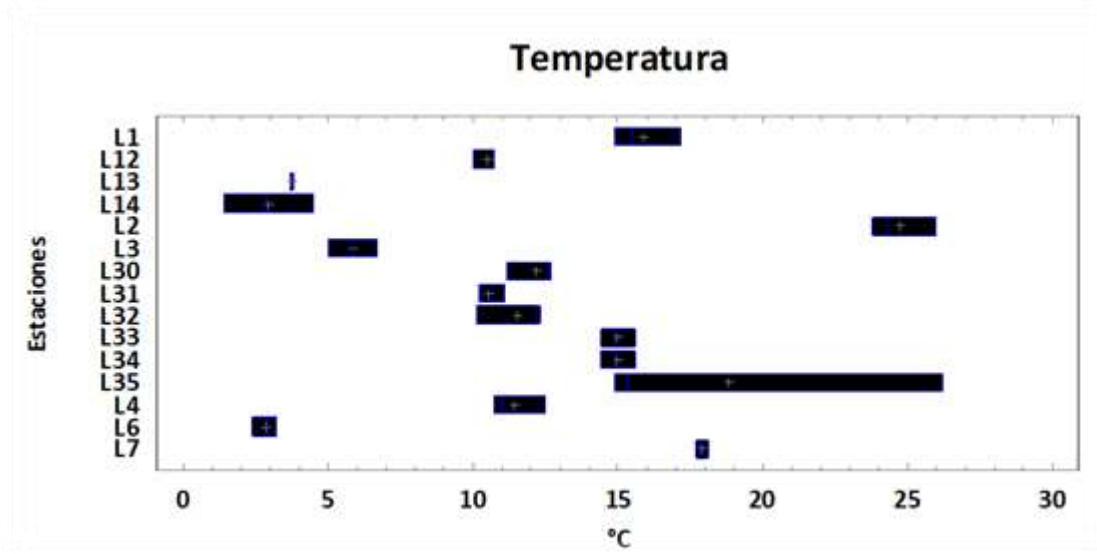
Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

A nivel espacial, los valores de temperatura presentaron diferencias significativas ( $F = 32,54$ ;  $p=0,000$ ), donde, en función del análisis *a posteriori*, se registraron distintos grupos de estaciones debido a la alta variabilidad encontrada en este parámetro de forma *in situ* (Figura 5-73).



Figura 5-73. Análisis espacial de los valores de temperatura registrados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ( $F = 32,54$ ;  $p=0,000$ ),



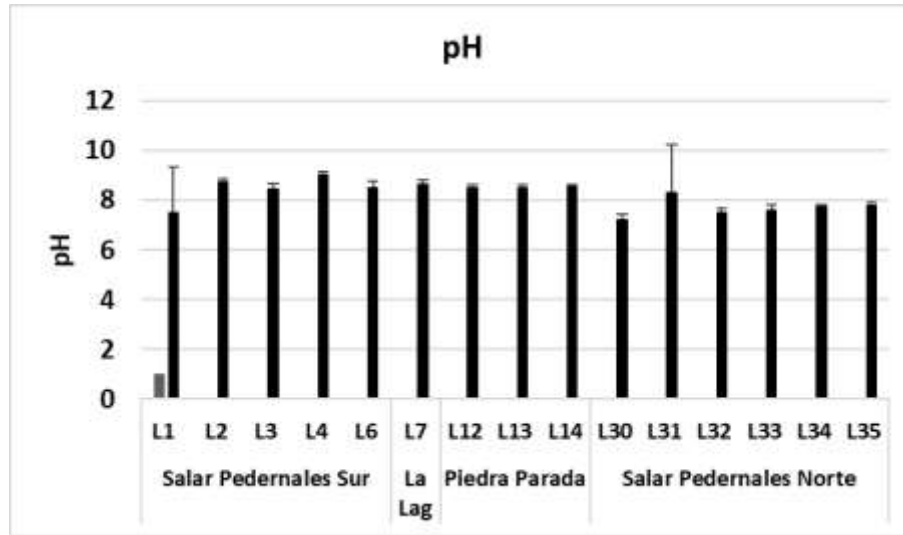
Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

### (b). pH del agua

En la siguiente figura (Figura 5-74) se presentan valores promedio del pH de los cuerpos de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. En ella se aprecia que el valor promedio de pH más alto se registró en la estación L4 del sector Sur del Salar de Pedernales, (ie. 9,1 pH), mientras que el valor más bajo se presentó en la estación L30 del sector Norte del Salar de Pedernales (ie. 7,3 pH, DS. 0,2). Al contrastar los valores medios, los resultados muestran que los valores de pH no presentan diferencias significativas entre las estaciones ( $F=1,88$ ;  $p=0,0736$ ) (Figura 5-75).

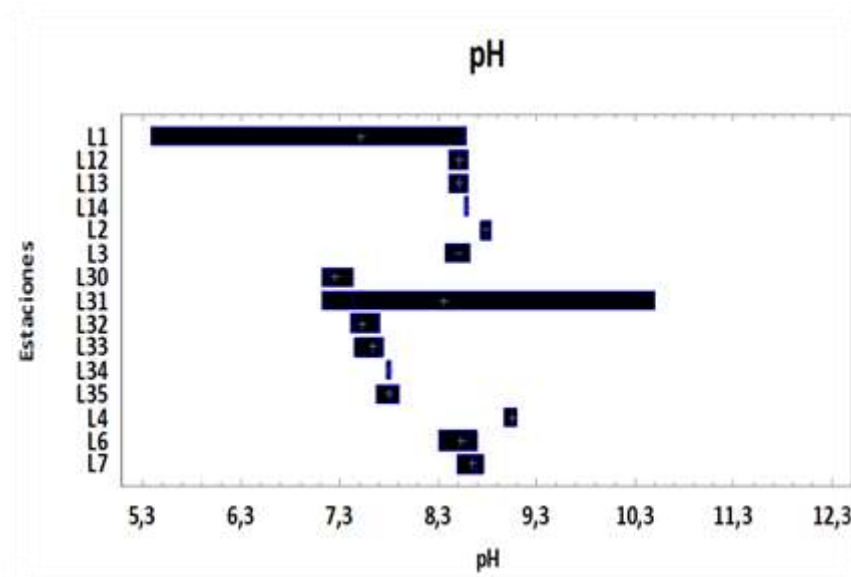
Figura 5-74. Variabilidad de los valores promedio de la pH en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-75. Variabilidad de los valores promedio del pH en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares (F=1,88; p=0,0736).



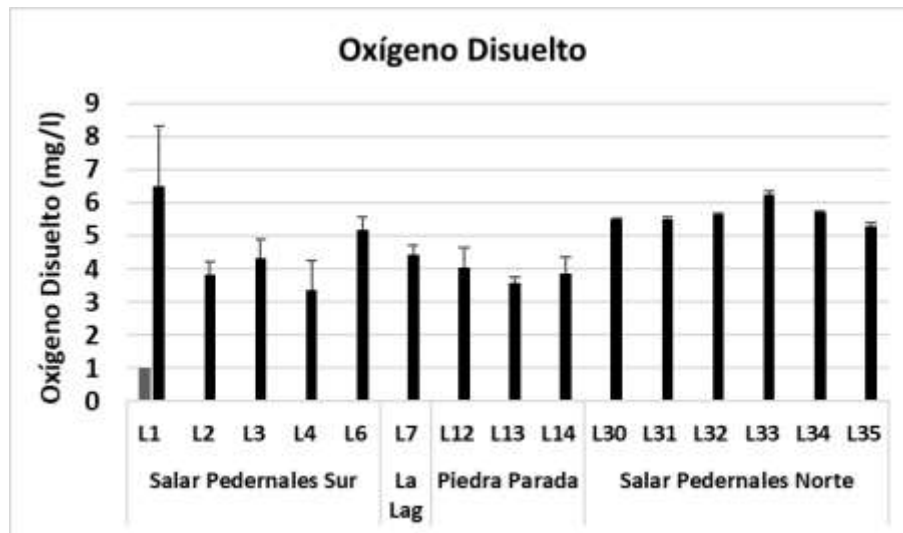
Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

**(c). Oxígeno Disuelto (mg/L)**

En la Figura 5-76 se presentan valores promedio del Oxígeno Disuelto (mg/L) del cuerpo de agua, y su respectiva desviación estándar, para las distintas estaciones presentes en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. En este sentido, el valor promedio de oxígeno disuelto más alto se registró en la estación L1 del sector Salar de Pedernales Sur (ie. 6,5 mg/L, DS. 1,8 mg/L), mientras que la más baja se presentó en la estación L4 (ie. 3,4 mg/L, DS. 0,9 mg/L), también del mismo sector. Al contrastar los valores medios, los resultados muestran que los valores de Oxígeno Disuelto presentaron diferencias significativas (8,31;  $p=0,00$ ), con varios grupos de estaciones, lo que sugiere una fuerte heterogeneidad espacial de este parámetro (Figura 5-79).

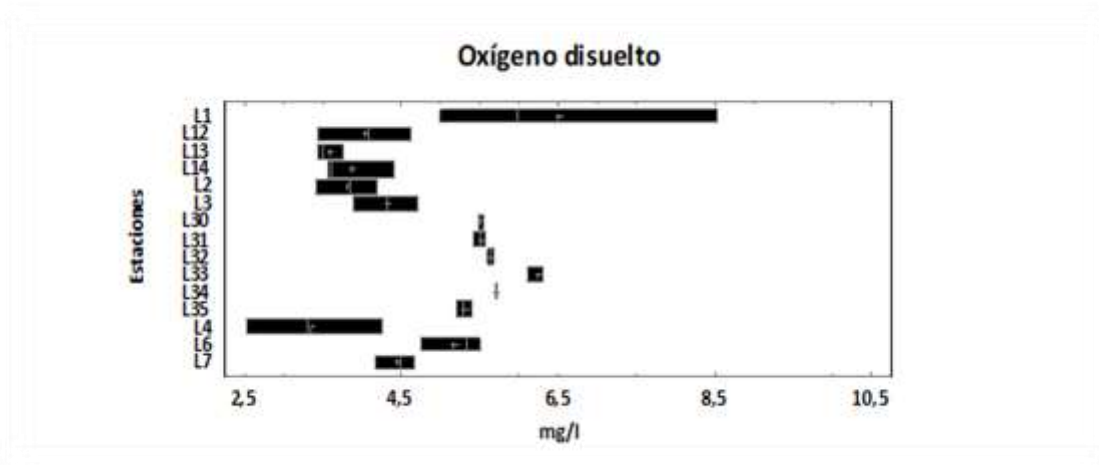
**Figura 5-76. Oxígeno Disuelto (mg/L) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.**



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-77. Variabilidad de los valores promedio del Oxígeno Disuelto en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.: (27,75;  $p=0,009$ ).



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

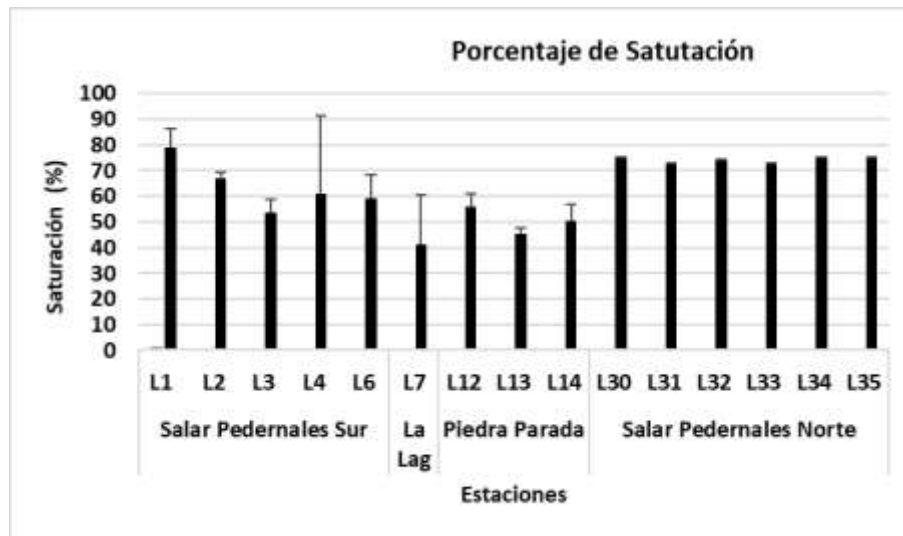
Fuente: Elaboración propia.

#### (d). Porcentaje de saturación del Oxígeno (%)

En la Figura 5-78 se presentan valores promedio de los porcentajes de saturación de Oxígeno (%) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares., para cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. El valor promedio de saturación de oxígeno más alto se registró en la estación L1, correspondiente al sector Salar de Pedernales Sur (ie. 79 %, DS. 7,5), mientras que la más baja se presentó en la estación L7 en el sector Salar La Laguna (ie. 41,2 %, DS. 20,0).

A nivel espacial, los valores la saturación de oxígeno promedio entre estaciones presentaron diferencias significativas (4,11;  $p=0,0006$ ), donde todas las estaciones son diferentes entre sí (Figura 5-79).

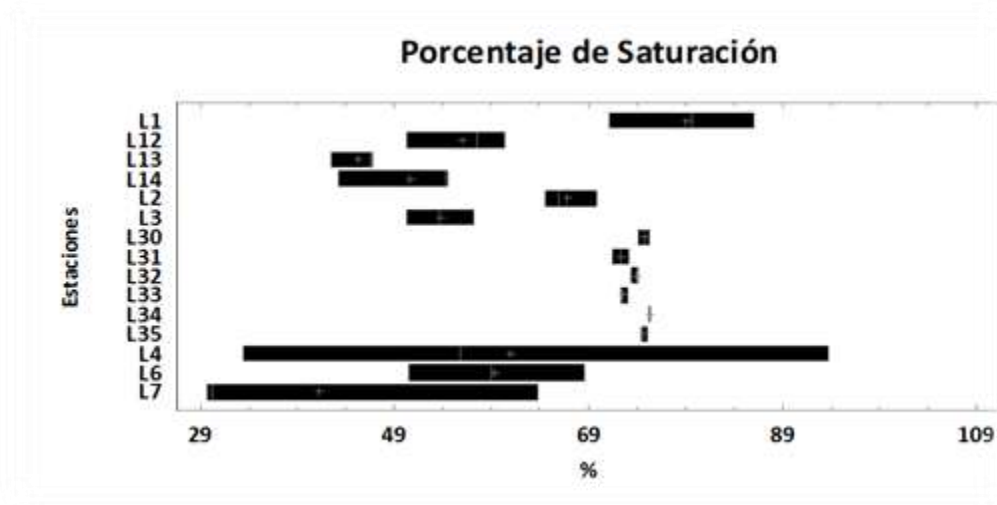
Figura 5-78. Porcentaje de Saturación del Oxígeno (%) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-79. Variabilidad de los valores promedio del porcentaje de saturación entre las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. (4,11;  $p=0,0006$ ).



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

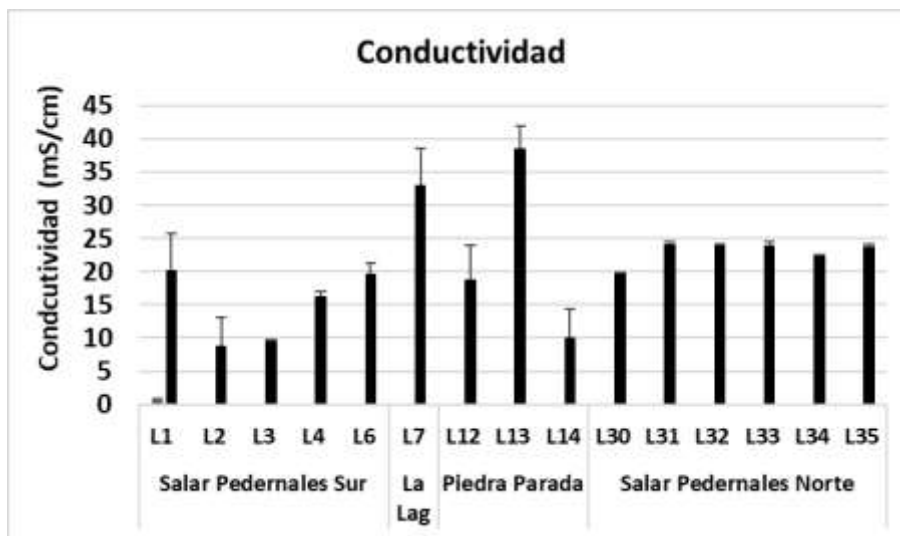
Fuente: Elaboración propia.

**(e). Conductividad Eléctrica (mS/cm)**

En la Figura 5-80 se presentan valores promedio de la Conductividad (mS/cm) de los cuerpos de agua, en cada una de las estaciones analizadas y su respectiva desviación estándar. Cabe destacar que la unidad de medida es mS/cm, lo que significa un orden de magnitud superior al registrado en la zona de Quebradas Adyacentes, al igual que en los Bofedales. El valor promedio de conductividad eléctrica más alto se registró en la estación L13, correspondiente al sector del Salar Piedra Parada (ie. 38,5 mS/cm promedio, DS 3,5), mientras que la conductividad más baja se presentó en la estación L2 del sector del Salar de Pedernales Sur (ie. 8,9 mS/cm promedio, DS. 4,2).

A nivel espacial, los valores de conductividad presentaron diferencias significativas ( $F = 19,41$ ,  $p=0,000$ ), donde, en función del análisis *a posteriori*, se registraron varios grupos de estaciones, lo que expresa la alta variabilidad espacial de este parámetro (Figura 5-81).

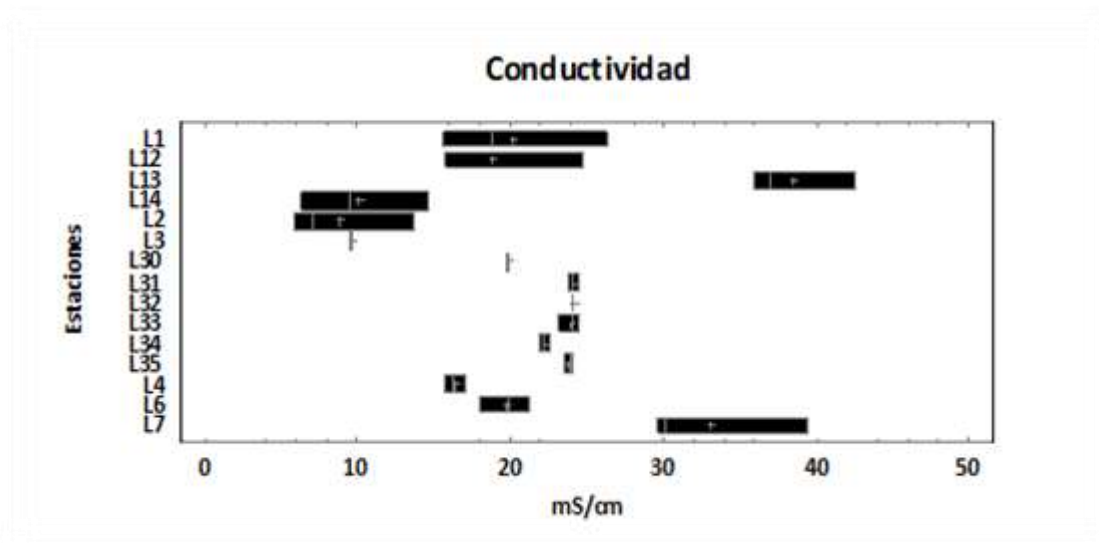
**Figura 5-80. Conductividad (mS/cm) en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares.**



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-81. Análisis Espacial de los valores de Conductividad registrados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares. ( $F = 19,41$ ,  $p=0,000$ ).



Estaciones sin agua Salar de Pedernales Sur (L5) y Salar La Laguna (L8)

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.3. Composición Química del Agua en la zona de Lagunas y Salares

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del agua durante la campaña de verano de 2023 en los sectores del Salar de Pedernales Norte y Sur, Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.

Al analizar los valores obtenidos, se pudo observar que existen parámetros que presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo (berilio, cianuro, cobalto, Cromo total, mercurio, níquel y selenio, Razón RAS y Selenio, aceites y grasas, y coliformes fecales). Así mismo, se observó que 9 parámetros presentaron valores cuantificables que no superaron los valores límite de sus respectivas normas de referencia. Sin embargo, un total de 12 parámetros presentaron valores que superaron los límites establecidos en las normas de referencia en al menos uno de los puntos de muestreo evaluados.

A continuación, se describe el comportamiento espacial de los parámetros cuantificados, y su relación respecto a los valores límite establecidos en las normas de referencia.

#### (a). Requisitos del agua para riego (Tablas 1 y 2 NCh 1.333. Of.78/1987).

En términos generales, de los 27 metales analizados, 8 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y 9 estuvieron por sobre los límites de la norma de referencia NCh 1.333.

Of.78/1987 (Tabla 5-19), que correspondieron a arsénico, boro, cloruro, litio, y sodio, en todas las estaciones.

El resto de los elementos analizados presentaron valores por debajo de los límites establecidos en la normativa de referencia, relacionada con los requisitos del agua para riego. A continuación, se realiza un análisis al detalle para cada elemento.

(i). *Aluminio*

El aluminio presentó valores que variaron desde un máximo de 0,678 mg/L en la estación L3 del sector Salar de Pedernales Sur, hasta un mínimo por debajo del límite de detección de 0,001 mg/L en todas las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte (L30-L35)(Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 A).

(ii). *Arsénico*

El arsénico presentó valores que variaron entre un máximo de 21,2 mg/L en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte, hasta un mínimo de 1,06 mg/L en la estación L7 del sector Salar La Laguna, donde todas las mediciones realizadas superaron el valor límite de la normativa de referencia (ie. 0,10 mg/L) (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** B).

(iii). *Bario*

El bario presentó valores que variaron entre un máximo de 0,054 mg/L en la estación L3 del sector Salar Piedra Parada y un mínimo de 0,021 mg/L en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur, todas bajo el límite de la norma de referencia (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 C).

(iv). *Boro*

Respecto al boro, este presentó valores que variaron entre un máximo de 174.6 mg/L en la estación L7 del sector Salar La Laguna hasta un mínimo de 12,36 mg/L en la estación L4 en el sector Salar de Pedernales Sur. Todas las concentraciones registradas estuvieron por sobre los límites establecidos en la norma de referencia (ie. 0,020 mg/L) (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 D).

(v). *Cadmio*

El cadmio presentó valores que variaron entre un máximo de 0,006 mg/L en la estación L34 del sector Salar de Pedernales Sur, mientras que el mínimo fue de 0,001 mg/L que correspondió al límite de detección y ocurrió en todas las estaciones del Salar de Pedernales Norte, como del Salar La Laguna y del Salar Piedra Parada. Cabe señalar que todas las concentraciones registradas superaron los valores límite de la norma de referencia (ie. 0,01 mg/L) (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 E).



(vi). *Cloruro*

Respecto al cloruro, este presentó valores que variaron desde un máximo de 151203 mg/L en la estación L31 del sector Salar de Pedernales Norte, hasta un mínimo de 1912 mg/L en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur. Este parámetro se encontró sobre el valor límite establecido en la norma de referencia en todas las estaciones (ie. 200 mg/L) (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 F).

(vii). *Cobre*

El cobre presentó valores que variaron en un máximo de 0,048 mg/L en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte, y un valor que estuvo por debajo del límite de detección de 0,005 mg/L en varias estaciones, como L6 del Salar de Pedernales Sur, así como L14 del Salar Piedra Parada y en la mayoría de las estaciones del Salar Pedernales Norte (L30-L35). En resumen, ninguna de las estaciones sobrepasó el límite estipulado en la normativa de referencia (ie. 0,20 mg/L). (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 G).

(viii). *Fluoruro*

El fluoruro presentó valores que variaron entre un máximo de 4,98 mg/L en la estación L13 del sector Salar Piedra Parada, y un mínimo de 0,26 mg/L en la estación L30 del sector Salar de Pedernales Norte. Cabe indicar que, 5 estaciones presentaron registros por sobre el límite establecido en la norma de referencia equivalente a 1 mg/L (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 H).

(ix). *Hierro*

El hierro presentó valores que variaron entre un máximo de 0,747 mg/L en la estación L3 del sector Salar de Pedernales Sur y un mínimo por debajo del límite de detección de 0,02 mg/L en dos estaciones, L14 del sector Salar Piedra Parada, y L31 del Sector Salar de Pedernales Norte, todos bajo el límite establecido en la normativa de referencia (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-82 I).

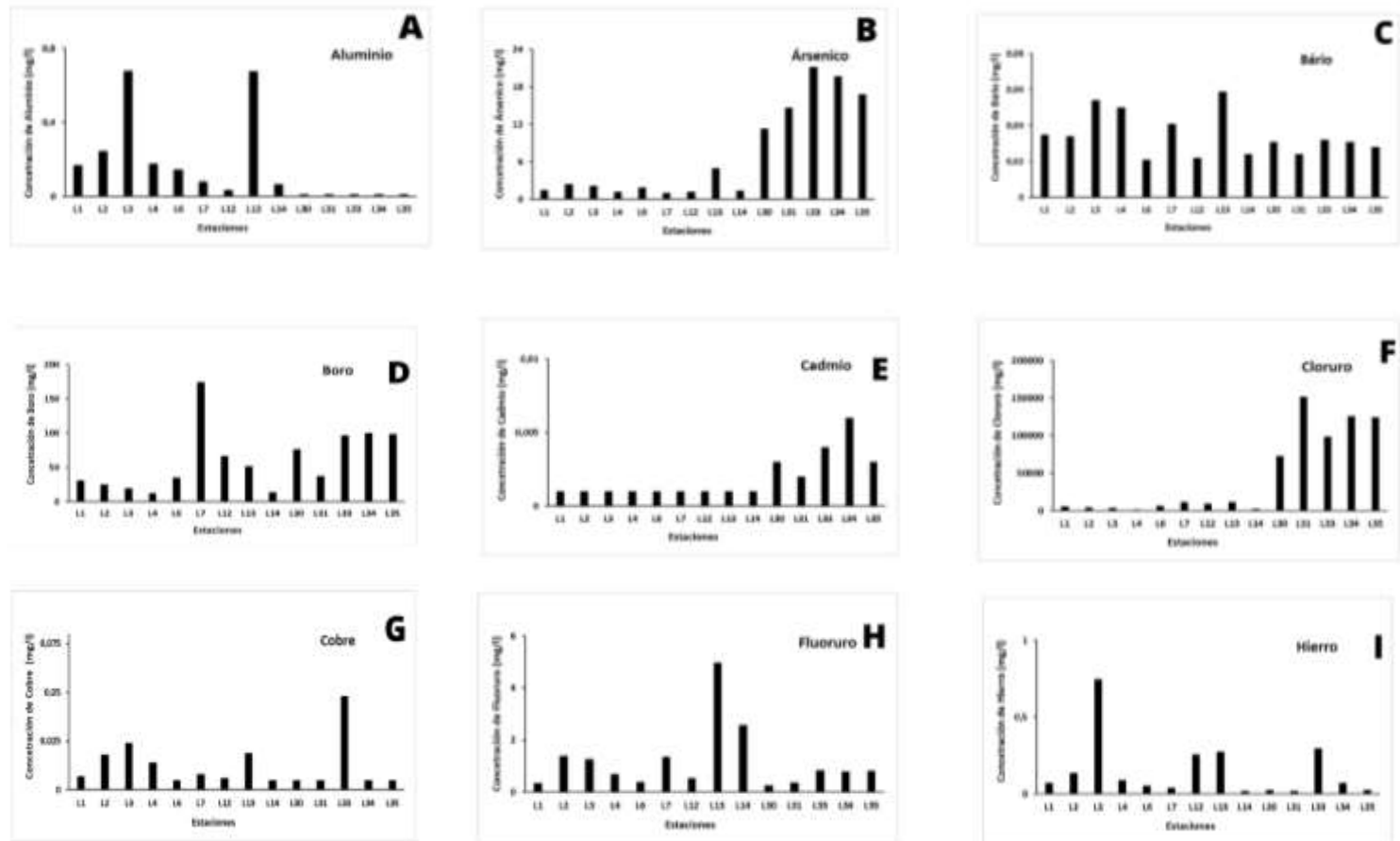
Tabla 5-19. Parámetros de calidad de agua evaluados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Lagunas y Salares. (\*).

Parámetro	Unid	Salar Pedernales Sur					Salar La Laguna	Salar Piedra Parada			Salar Pedernales Norte					Norma Referencia	Límite NCh 1333	Límite detección
		L1	L2	L3	L4	L6	L7	L12	L13	L14	L30	L31	L33	L34	L35			
<b>TABLA 1</b>																		
Aluminio	mg/L	0,166	0,245	0,678	0,175	0,144	0,078	0,032	0,674	0,064	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	NCh 1333	5,000	0,010
Arsénico	mg/L	1,5	2,41	2,19	1,26	1,89	1,06	1,24	4,98	1,37	11,3	14,7	21,2	19,7	16,8	NCh 1333	0,100	0,001
Bario	mg/L	0,035	0,034	0,054	0,05	0,021	0,041	0,022	0,059	0,024	0,031	0,024	0,032	0,031	0,028	NCh 1333	4,000	0,002
Berilio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,100	0,001
Boro	mg/L	31,07	25,47	19,79	12,36	35,29	174,6	66,36	51,37	14,02	76,87	37,5	96,63	100,4	98,65	NCh 1333	0,750	0,020
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,006	0,003	NCh 1333	0,010	0,001
Cianuro	mg CN/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NCh 1333	0,200	0,020
Cloruro	mg/L	5641	4310	3519	1912	6947	11378	9112	11330	2365	73102	151203	98719	125773	124524	NCh 1333	200,000	3,000
Cobalto	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,050	0,005
Cobre	mg/L	0,007	0,018	0,024	0,014	0,005	0,008	0,006	0,019	0,005	0,005	0,005	0,048	0,005	0,005	NCh 1333	0,200	0,005
Cromo total	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,100	0,005
Fluoruro	mg/L	0,35	1,4	1,26	0,7	0,4	1,36	0,55	4,98	2,58	0,26	0,36	0,84	0,79	0,81	NCh 1333	1,000	0,100
Hierro	mg/L	0,072	0,135	0,747	0,089	0,053	0,04	0,259	0,276	0,02	0,026	0,02	0,297	0,073	0,026	NCh 1333	5,000	0,020
Litio	mg/L	26,05	10,36	8,35	5,19	27,33	24,76	15,03	15,53	3,73	9,46	4,08	6,96	17,08	13,83	NCh 1333	2,500	0,003
Litio cítrico	mg/L	26,05	10,36	8,35	5,19	27,33	24,76	15,03	15,53	3,73	9,46	4,08	6,96	17,08	13,83	NCh 1333	0,080	0,003
Manganeso	mg/L	0,018	0,005	0,048	0,011	0,026	0,004	0,874	0,042	0,005	0,017	0,001	0,002	0,004	0,004	NCh 1333	0,200	0,001
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,000	0,001
Molibdeno	mg/L	0,079	0,012	0,193	0,005	0,069	0,005	0,005	0,012	0,006	0,102	0,076	0,132	0,131	0,119	NCh 1333	0,010	0,001
Níquel	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,200	0,001
Plata	mg/L	0,002	0,003	0,006	0,005	0,002	0,004	0,005	0,01	0,005	0,009	0,006	0,018	0,013	0,017	NCh 1333	0,200	0,001
Plomo	mg/L	0,02	0,028	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NCh 1333	5,000	0,001
RAS	-	43,87	11,99	20,54	16,26	52,47	43,63	41,32	8,2	11,54	314,2	355,6	346,1	363,4	337,6	NCh 1333	S/L	0,000
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,02	0,005
Sodio porcentual	%	84,33	76,9	67,81	68,48	85,86	73,18	76,1	68,98	59,58	92,06	92,92	93,23	93,6	92,79	NCh 1333	35,00	0,000
Sulfato	Mg SO <sub>4</sub> /L	144	568	1099	893	222	4643	1243	2651	980	6009	6462	6833	6503	6627	NCh 1333	250,00	5,000
Vanadio	mg/L	0,013	0,019	0,017	0,026	0,014	0,03	0,017	0,042	0,016	0,031	0,028	0,097	0,097	0,089	NCh 1333	0,10	0,008
Zinc	mg/L	0,011	0,015	0,033	0,01	0,005	0,002	0,004	0,01	0,003	0,002	0,002	0,022	0,005	0,023	NCh 1333	2,00	0,002
<b>TABLA 2</b>																		
Conductividad(25°C)	μs/cm	17509	14553	12880	7803	22139	42249	28809	36873	9415	204860	206859	199862	197363	196964	NCh 1333	750,00	1,000
Sólidos disueltos T	mg/L	9630	8880	7860	4450	12620	23660	15840	23970	5930	129060	142730	123910	118420	137870	NCh 1333	500,00	5,000
<b>TABLA 3</b>																		
pH (25°)	unidad	8,06	8,55	8,06	8,55	8,35	8,29	8,07	8,13	8,07	7,33	7,26	7,6	7,63	7,63	NCh 1333	6,0 – 9,0	5,500

\*Los valores verdes representan muestras con valores bajo en el límite de detección, mientras que los valores rojos representan valores por sobre la Norma de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-82. Concentraciones de A) aluminio; B) arsénico; C) bario; D) Boro; E) cadmio; F) cloruro; G) cobre, H) fluoruro, I) hierro, por estación obtenidas en las estaciones de los Sistemas de Salares en verano 2023.



Fuente: Elaboración propia.

(x). *Manganeso*

El manganeso presentó valores que fluctuaron entre valores por debajo del límite de detección de 0,001 mg/L, en la estación L11 del sector Salar Piedra Parada, y un máximo de 0,874 mg/L en la estación L12 del mismo sector, el cual se encuentra por sobre el valor límite de la norma de referencia, correspondiente a 0,20 mg/L. En el resto de las estaciones este parámetro se encontró por debajo de dicho valor límite (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-83 A).

(xi). *Litio y Litio Crítico*

El litio y litio crítico presentaron concentraciones que variaron entre un máximo de 27,33 mg/L en la estación L6, en el sector Salar de Pedernales Sur, hasta un mínimo de 3,73 mg/L en la estación L14 en el sector del Salar Piedra Parada. Todas las estaciones muestreadas registraron valores por sobre el límite de la norma de referencia para Litio (2,50 mg/L) y Litio Crítico (0,08 mg/L) (Tabla 5-19 y Figura 5-83 B y C).

(xii). *Molibdeno*

El molibdeno presentó valores que fluctuaron entre inferiores al límite de detección de 0,005 mg/L en las estaciones L4 del sector Salar de Pedernales Sur, L7 del Salar La Laguna, y L12 del Salar Piedra Parada siendo el límite de detección 0,005 mg/L. El valor máximo fue de 0,193 mg/L, y se registró en la estación L3 del Sector Salar de Pedernales Sur, el cual está sobre el límite de referencia establecido en la normativa de referencia, equivalente a 0,005 mg/L para este elemento (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-83 D).

(xiii). *Plata*

La plata presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,002 mg/L) en dos estaciones (ie. L1 y L6, ambas del sector Salar de Pedernales Sur), mientras que el valor máximo fue de 0,018 mg/L en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte, el cual está por debajo del límite establecido por la normativa de referencia, equivalente a 0,2 mg/L (Tabla 5-19 y Figura 5-83 E).

(xiv). *Plomo*

El plomo presentó concentraciones bajo los límites de detección (ie. 0,002 mg/L) en la mayoría de las estaciones, salvo en la estación L2 del sector Salar de Pedernales Sur con un valor de 0,028 mg/L. Este valor está por debajo del límite establecido en la norma de referencia, correspondiente a 5 mg/L (Tabla 5-19 y Figura 5-83 F).

(xv). *Sodio Porcentual*

El sodio porcentual presentó valores que variaron entre un máximo de 93,6% en la estación L34 del sector Salar de Pedernales Norte, y un mínimo de 59,6% en la estación L14 del sector Salar Piedra Parada.

Cabe señalar que todos los valores están por sobre el valor límite establecido en la normativa de referencia, correspondiente a 35%, (Tabla 5-19 y Figura 5-83 G).

*(xvi). Sulfato*

El sulfato presentó valores que variaron entre un máximo de 6833 mg/L en L33 del Salar de Pedernales Norte y un mínimo de 144 mg/L en la estación L1 del Salar de Pedernales Sur de (Ver Tabla 5-19 y Figura 5-83 H), siendo este valor el único que se encuentra por debajo de los límites estipulados en la normativa (ie. 250 mg/L).

*(xvii). Vanadio*

El vanadio presentó concentraciones un valor máximo de 6833 mg/L en la estación L33 en el sector Salar de Pedernales Norte y un mínimo de 144 mg/L en la estación L1 del sector Salar de Pedernales Sur. La mayoría de los valores registrados, estuvieron por sobre el límite fijado por la norma de referencia de 0,10 mg/L (Tabla 5-19 y Figura 5-83 I).

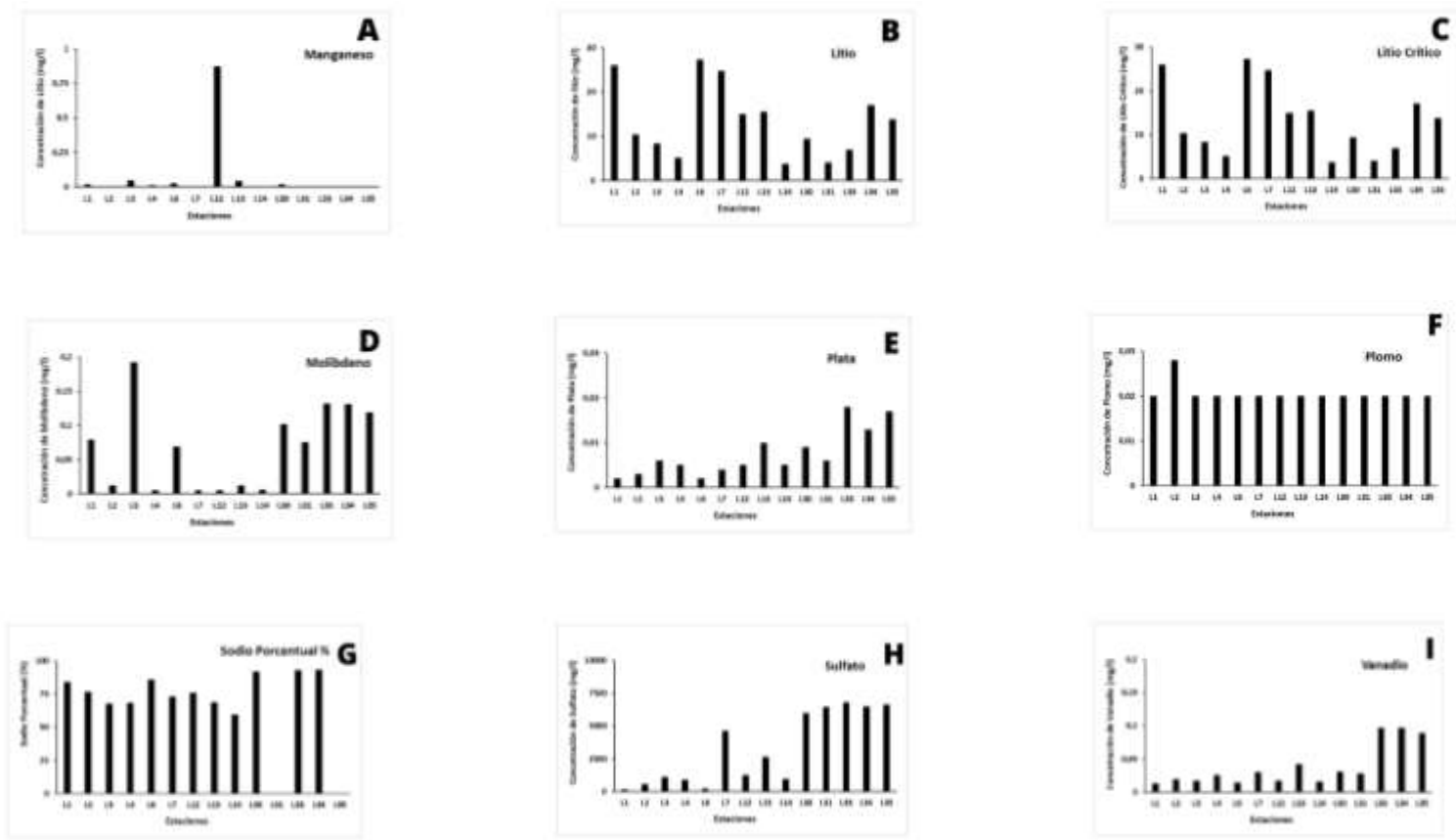
*(xviii). Zinc*

El zinc presentó concentraciones bajo los límites máximos estipulados en la normativa nacional (ie. 2,00 mg/L) en todas las estaciones de muestreo en la zona de lagunas y salares. La concentración máxima registrada se obtuvo en la estación L3 del sector Salar de Pedernales Sur (ie. = 0,033 mg/L) y el mínimo fue por debajo del límite de detección de 0,0002 mg/L en 3 estaciones (L7 del sector Salar La Laguna, y estaciones L30 y L31 del sector Salar de Pedernales Norte) (Tabla 5-19).

*(xix). Sólidos Disueltos*

Los sólidos disueltos presentaron concentraciones por sobre el límite establecido en la norma de referencia en todas las estaciones (ie 500 mg/L), cuyos máximos se registraron en la estación L31 del sector Salar de Pedernales Norte, con una concentración de 142730 mg/L, y una concentración mínima de 4450 mg/L en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur (Tabla 5-19).

Figura 5-83. Concentraciones de A) Manganeso, B) Litio; C) Litio Crítico; D) Molibdeno, E) Plata, F) Plomo; G) Sodio Porcentual, H) Sulfato e I) Vanadio, por estación obtenidas en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares en verano 2023



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Requisitos para agua destinada a recreación (Tabla 3, NCh 1.333. Of.78/1987)**

La turbiedad del agua registró valores que fluctuaron entre un mínimo de 6,5 UNT, en la estación L7 del sector Salar La Laguna, y un mínimo de 0,5 en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte. En cuanto a los coliformes fecales, todas las muestras estuvieron por debajo de los límites de detección (ie. 1,8 NMP/100).

**(c). Requisitos para vida acuática (Tabla 4 NCh 1.333. Of.78/1987)**

La alcalinidad total varió entre un mínimo de 96,7 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur y un máximo de 514 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte. Todas las estaciones presentaron valores por sobre la concentración límite establecida en la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987, que fija un valor mínimo de 20 mg/L (Figura 5-84 A).

El color verdadero presentó valores de 5 unidades Pt-Co en todas las estaciones, lo cual es bajo los valores de la norma de referencia NCh 1333.Of78/1987 (100 unidades Pt-Co). Los sólidos sedimentables presentaron valores máximos en las estaciones L12 y L13 del sector Salar de Piedra Parada, con un valor de 0,3 mg/L y un mínimo fue de 0,1 mg/L en las estaciones L1, L2 y L6 del Salar de Pedernales Sur, L7 del Salar la Laguna y en todas las del Salar Pedernales Zona Norte (Figura 5-84 B).

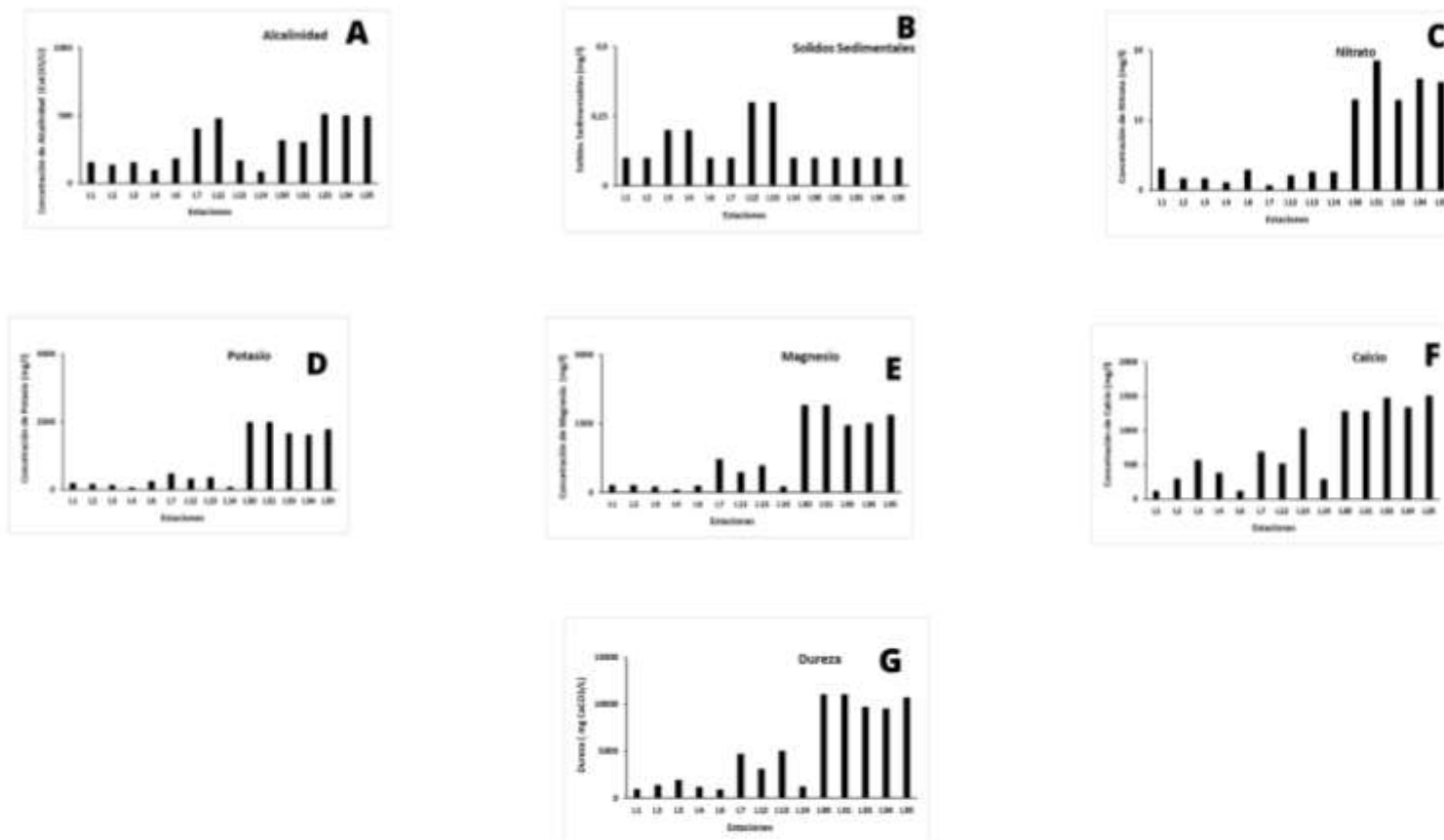
**(d). Nutrientes y Iones Mayoritarios**

El nitrato varió entre un mínimo de 0,7 mg/L en la estación L7 del sector Salar La Laguna, y un máximo de 18,5 mg/L, en la estación L31 del sector Salar de Pedernales Norte (Figura 5-84 C). En cuanto al Potasio y al Magnesio, los máximos también se registraron en la estación L31 (ie. 2503 y 1906 mg/L, respectivamente), en cambio, los mínimos se registraron en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur (ie. 1,1 y 74 mg/L) (Figura 5-84 D y E). En cuanto al Calcio, el valor máximo se registró en la estación L35 del sector Salar de Pedernales Norte (ie. 1514 mg/L), por el contrario, el mínimo se registró en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur, con un valor de 120 mg/L (Figura 5-84 F).

**(e). Otras variables de importancia en limnología**

La dureza varió entre un máximo de 11047 mg CaCO<sub>3</sub>/l en las estaciones L30 y L31, ambas del sector Salar de Pedernales Norte, y un mínimo de 909,1 mg CaCO<sub>3</sub>/l en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur (Figura 5-84 G).

Figura 5-84. Concentraciones de A) alcalinidad; B) solidos sedimentables; C) nitrato; D) potasio; E) magnesio; F) calcio; y G) dureza por estación obtenidas estaciones de muestreo del Sistemas de Salares en verano 2023



Fuente: Elaboración propia.



#### **5.5.4. Sedimentos en la zona del Sistemas de Lagunas y Salares**

##### **(a). Características generales de los sedimentos**

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del sedimento en el área de estudio (Tabla 5-20). El contenido de Aceites y grasas varió entre 40512 mg/kg en la estación L2 del sector Salar de Pedernales Sur, y 745 mg/kg en la estación L31 del sector Salar de Pedernales Norte.

En cuanto al contenido de materia orgánica, éste varió entre un máximo de 129460 mg/kg en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur, y un mínimo de 18335 mg/kg en la estación L13 del sector Salar Piedra Parada.

La humedad presentó valores que fluctuaron entre 61,46 % y 17,44 % en los puntos de muestreo L3 del sector Salar de Pedernales Sur, y L13 del sector Salar Piedra Parada, respectivamente. En cuanto al potencial de óxido reducción (Redox) de los sedimentos, se registraron valores de ambientes reductores en la mayoría de las estaciones, salvo en las estaciones L1 y L33, de los sectores Salar de Pedernales Sur y Norte, respectivamente, las cuales presentaron valores Positivos. Los valores variaron entre un máximo de 92,3 mV en la estación L1 y un mínimo de -354 mV en la estación L2, ambas del sector Salar de Pedernales Sur (Tabla 5-20).

El análisis granulométrico de los puntos de muestreo mostró que en la mayoría de las estaciones el sustrato está dominado por limos y arcillas, lo cual bordea el 60% del contenido de partículas de las muestras en la mayoría de las estaciones (Figura 5-85).

Figura 5-85. Porcentaje según tipo de grano.



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Metales Pesados contenidos en sedimentos de las estaciones en la zona del Sistema de Salares.**

Respecto al contenido de metales en los sedimentos, el Hierro fue el que registró las concentraciones más altas. El Arsénico presentó concentraciones que fluctuaron entre 1380 mg/kg en la estación L12 del sector Salar Piedra Parada y un mínimo de 0,137 mg/kg en la estación L31 del sector Salar de Pedernales Norte (Tabla 5-20). En el caso de Cadmio, los valores máximos fueron de 2,49 mg/kg en la estación L7 del sector Salar La Laguna, mientras que el mínimo fue de 0,24 mg/kg en la estación L14 del sector Salar Piedra Parada. En cuanto al Cobre, este presentó concentraciones que variaron entre un mínimo de 6,45 mg/kg en la estación L13, y un máximo de 35,36 mg/kg, en la estación L12, ambas del sector Salar Piedra Parada (Tabla 5-20).

El Cromo registró valores que fluctuaron entre 0,125 mg/kg en la estación L12 del sector Salar Piedra Parada y 7,11 mg/kg, en la estación L7 del sector Salar La Laguna (Tabla 5-20). El Hierro, presentó concentraciones que fluctuaron entre un mínimo de 441,7 mg/kg en la estación L14 del Salar Piedra Parada y un máximo de 10110 mg/kg, en la estación L7 del sector Salar La Laguna. En cuanto al Plomo se detectaron concentraciones que variaron entre un mínimo de 0,5 mg/kg y un máximo de 23,87 mg/kg, en las estaciones L14 del sector Salar Piedra Parada y L34 del sector Salar de Pedernales Norte, respectivamente (Tabla 5-20). Por último, el Zinc registró un valor mínimo de 4,75 mg/kg en la estación L13 del sector Salar Piedra Parada, y una concentración máxima de 54,87 mg/kg en la estación L34 del sector Salar de Pedernales Norte (Tabla 5-20).

A continuación, en la Tabla 5-20, se presenta un detalle de las concentraciones de cada elemento analizado en los sedimentos.

Tabla 5-20. Parámetros de calidad de agua evaluados en las distintas estaciones de muestreo del Sistemas de Lagunas y salares. (\*).

PARÁMETRO	UNIDAD	Salar Pedernales Sur Oeste					Salar la Laguna	Salar Piedra Parada			Salar Pedernales Norte					"NORMA	Límite NCh 1333	Limite detección
		L1	L2	L3	L4	L6	L7	L12	L13	L14	L30	L31	L33	L34	L35			
<b>Tabla 1</b>																		
Aluminio	mg/L	0,166	0,245	0,678	0,175	0,144	0,078	0,032	0,674	0,064	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	NCh 1333	5,00	0,010
Arsénico	mg/L	1,5	2,41	2,19	1,26	1,89	1,06	1,24	4,98	1,37	11,3	14,7	21,2	19,7	16,8	NCh 1333	0,10	0,001
Bario	mg/L	0,035	0,034	0,054	0,05	0,021	0,041	0,022	0,059	0,024	0,031	0,024	0,032	0,031	0,028	NCh 1333	4,00	0,002
Berilio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,10	0,001
Boro	mg/L	31,07	25,47	19,79	12,36	35,29	174,6	66,36	51,37	14,02	76,87	37,5	96,63	100,4	98,65	NCh 1333	0,75	0,020
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,006	0,003	NCh 1333	0,01	0,001
Cianuro	mg CN/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NCh 1333	0,20	0,020
Cloruro	mg/L	5641	4310	3519	1912	6947	11378	9112	11330	2365	73102	151203	98719	125773	124524	NCh 1333	200,00	3,000
Cobalto	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,05	0,005
Cobre	mg/L	0,007	0,018	0,024	0,014	0,005	0,008	0,006	0,019	0,005	0,005	0,005	0,048	0,005	0,005	NCh 1333	0,20	0,005
Cromo total	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,10	0,005
Fluoruro	mg/L	0,35	1,4	1,26	0,7	0,4	1,36	0,55	4,98	2,58	0,26	0,36	0,84	0,79	0,81	NCh 1333	1,00	0,100
Hierro	mg/L	0,072	0,135	0,747	0,089	0,053	0,04	0,259	0,276	0,02	0,026	0,02	0,297	0,073	0,026	NCh 1333	5,00	0,020
Litio	mg/L	26,05	10,36	8,35	5,19	27,33	24,76	15,03	15,53	3,73	9,46	4,08	6,96	17,08	13,83	NCh 1333	2,50	0,003
Litio cítrico	mg/L	26,05	10,36	8,35	5,19	27,33	24,76	15,03	15,53	3,73	9,46	4,08	6,96	17,08	13,83	NCh 1333	0,08	0,003
Manganeso	mg/L	0,018	0,005	0,048	0,011	0,026	0,004	0,874	0,042	0,005	0,017	0,001	0,002	0,004	0,004	NCh 1333	0,20	0,001
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	NCh 1333	0,00	0,001
Molibdeno	mg/L	0,079	0,012	0,193	0,005	0,069	0,005	0,005	0,012	0,006	0,102	0,076	0,132	0,131	0,119	NCh 1333	0,01	0,005
Níquel	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,20	0,005
Plata	mg/L	0,002	0,003	0,006	0,005	0,002	0,004	0,005	0,01	0,005	0,009	0,006	0,018	0,013	0,017	NCh 1333	0,20	0,002
Plomo	mg/L	0,02	0,028	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NCh 1333	5,00	0,020
RAS	-	43,87	11,99	20,54	16,26	52,47	43,63	41,32	8,2	11,54	314,2	355,6	346,1	363,4	337,6	NCh 1333	---	---
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	NCh 1333	0,02	0,005
Sodio Porcentual	%	84,33	76,9	67,81	68,48	85,86	73,18	76,1	68,98	59,58	92,06	92,92	93,23	93,6	92,79	NCh 1333	35,00	
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> /L	144	568	1099	893	222	4643	1243	2651	980	6009	6462	6833	6503	6627	NCh 1333	250,00	5,000
Vanadio	mg/L	0,013	0,019	0,017	0,026	0,014	0,03	0,017	0,042	0,016	0,031	0,028	0,097	0,097	0,089	NCh 1333	0,10	0,008
Zinc	mg/L	0,011	0,015	0,033	0,01	0,005	0,002	0,004	0,01	0,003	0,002	0,002	0,022	0,005	0,023	NCh 1333	2,00	0,002

PARÁMETRO	UNIDAD	Salar Pedernales Sur Oeste					Salar la Laguna	Salar Piedra Parada			Salar Pedernales Norte					"NORMA	Límite NCh 1333	Limite detección
		L1	L2	L3	L4	L6	L7	L12	L13	L14	L30	L31	L33	L34	L35			
<b>Tabla 2</b>																		
Conductividad(25°C)	µs/cm	17509	14553	12880	7803	22139	42249	28809	36873	9415	204860	206859	199862	197363	196964	NCh 1333	750,00	1,00
Sólidos disueltos T	mg/L	9630	8880	7860	4450	12620	23660	15840	23970	5930	129060	142730	123910	118420	137870	NCh 1333	500,00	5,00
<b>Tabla 3</b>																		
pH (25°C)	unidad	8,06	8,55	8,06	8,55	8,35	8,29	8,07	8,13	8,07	7,33	7,26	7,6	7,63	7,63	NCh 1333	6,0 – 9,0	5,50

(\* Los valores verdes representan muestras con valores en el límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.5. Caudal en los cursos de agua superficiales en la zona de Sistemas de Salares: Pedernales y Salares La Laguna y Piedra Parada

Dada la ausencia de un flujo superficial en la mayoría de las estaciones situadas en Lagunas someras, así como el alto contenido de sedimentos finos en las estaciones, no se evaluó el caudal en las estaciones de este sector. Por otra parte, el escaso movimiento de agua en algunos lugares, mayoritariamente se explicaba por el movimiento del viento, el cual, al variar, generaba cambios en la dirección y velocidad de las corrientes de los espejos de agua.

### 5.5.6. Características del medio biótico de ecosistemas acuáticos presentes en la zona de Sistemas de Salares: Pedernales y Salares La Laguna y Piedra Parada

#### (a). Fitoplancton

##### (a.1). Estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte

La comunidad de microalgas planctónicas presentó un total de 70 taxa, todos pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 19 familias.

Para las estaciones de muestreo del sistema del Salar de Pedernales, se detectaron 64 taxa en 16 familias. De estas familias, 3 representan el 74,88 % de las abundancias. siendo las más recurrentes Catenulaceae con el 36,4 % de las abundancias, Bacillariales con 23,5 % de las abundancias y Naviculaceae con 14,98% de las abundancias-

Para el caso de la familia Catenulaceae, se registraron 14 taxa, siendo el más recurrente *Amphora sp11*. con 21,35 % de las abundancias dentro del género, seguidas de *Amphora copulata* y *Amphora lineolata* con 12% y 6 % respectivamente. Para el caso de la familia Bacillariaceae, ésta presentó 15 taxa, siendo el más recurrente *Denticula sp1* con 25,41 % dentro de la familia, *Denticula sp2* con 24,1% y *Denticula elegans*, con 18,61% de los registros. En cuanto a la familia Naviculaceae, ésta presentó 9 taxa, donde la especie más abundante fue *Navicula veneta*, con 45% de las abundancias (Tabla 5-21 y Figura 5-86).

A nivel espacial, se observó un claro patrón en la distribución de especies, con un mayor número de especies en las estaciones del sector Salar de Pedernales Sur, y un mínimo en las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte. La mayor riqueza se obtuvo en la estación L2 del sector Salar de Pedernales Sur con un registro de 37 taxa en promedio (con replicas que registraron un máximo 42 y mínimo 34 taxa), mientras que la menor riqueza se registró en la estación L34 del sector Salar de Pedernales Norte con 11 taxa, con replicas que registraron un valor máximo de 13 y un mínimo de 10 taxa. Las abundancias a nivel espacial registraron el valor promedio más alto en la estación L2 el sector Salar de Pedernales Sur con un registro de 29733 cel/ml, con replicas que alcanzaron un máximo de 32100 cel/ml y un mínimo de 28200 cel/ml.

En cuanto a los índices de diversidad de Shannon, el valor promedio más alto fue de 3,6 en la estación L1 del sector Salar de Pedernales Sur, con valores máximos de 3,658 y mínimos de 3,524, lo que coincide con el índice de Simpson, que fue de 0,95 en promedio en dicha estación, con máximos de 0,9611 y mínimos de 0,9415, lo que indicaría la inexistencia de una dominancia clara. Por su parte la equitatividad de Pielou, fue equivalente a 0,91 en promedio, con valores máximos de 0,9143 y de 0,9366, lo que se puede atribuir a que las especies presentes son igualmente abundantes (Figura 5-90).

Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L35 del sector Salar de Pedernales Norte, con un índice de diversidad de Shannon promedio de 1,08, con máximos de 1,152 y un mínimo de 0,9289, lo que sugiere una baja representatividad de las especies. En dicha estación se obtuvo una equitatividad de 0,85 lo que sugiere una buena representatividad de las especies presentes, lo que va de la mano con el índice de Simpson, el que señala la existencia de una dominancia de varias especies (ie. un índice de 0,82 en promedio). En términos generales podemos apreciar un cambio en el patrón de la diversidad entre las dos localidades estudiadas, donde por ejemplo en las estaciones del Salar de Pedernales Sur se observa una mayor diversidad de especies, en la estación L1, la cual va disminuyendo, mientras aumenta la dominancia hacia la estación 6. Este patrón continuo en las estaciones Pedernales Norte, donde la Riqueza de especies disminuye, y se incrementa la dominancia, por consiguiente, en dichas estaciones existe una alta dominancia de pocas especies, lo que es corroborado con la baja equitatividad (Figura 5-90).

**Tabla 5-21. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en las estaciones de Salar de Pedernales Sur y Norte en la zona de Sistemas de Salares.**

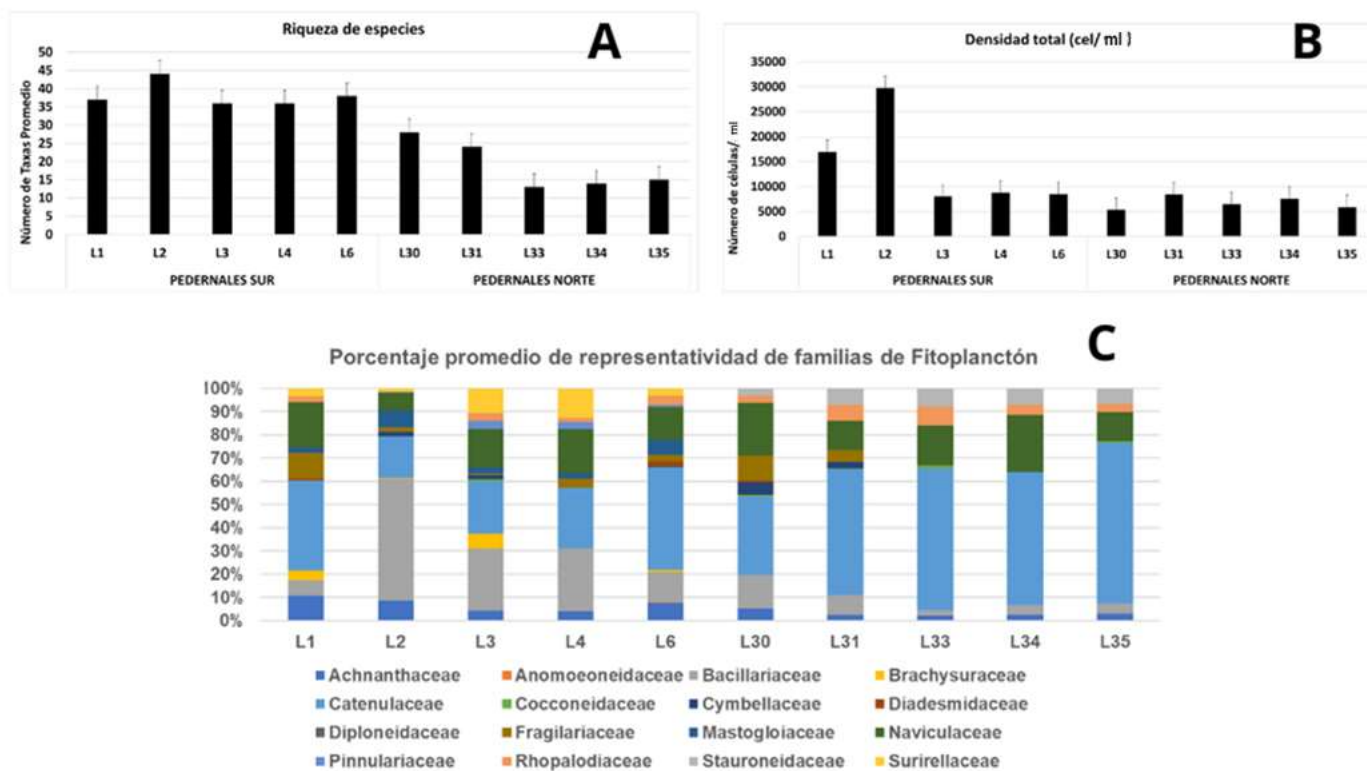
Orden	Familia	Taxa	Salar Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L1	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes sp1</i>	1,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,33	0,33	0,67	0,33	0,30
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium coarctatum</i>	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium exiguum</i>	5,33	3,33	0,30	1,00	2,00	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium helveticum</i>	11,00	18,30	2,70	2,33	3,70	1,67	0,33	0,67	0,33	0,70
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	0,33	2,00	0,30	0,00	0,30	0,00	1,00	0,00	1,00	0,70
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora copulata</i>	2,33	6,00	7,30	4,33	6,00	5,00	11,30	11,70	8,33	6,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>	11,00	13,30	1,70	1,33	1,70	1,00	11,00	8,67	10,70	9,30
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora ovalis</i>	13,30	8,00	6,70	2,00	11,00	1,00	7,67	7,33	1,67	1,70
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 1</i>	5,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 10</i>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 11</i>	17,30	3,33	0,00	2,67	0,00	4,33	9,00	7,33	14,70	17,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 12</i>	1,33	0,00	0,00	0,00	1,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 2</i>	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 3</i>	1,33	1,00	0,30	7,00	6,00	1,33	4,67	3,67	4,67	4,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 4</i>	0,00	6,67	0,00	1,67	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 5</i>	0,00	0,00	1,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 6</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,67	1,67	1,00	2,33	2,70
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 8</i>	6,00	0,00	0,00	1,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 9</i>	2,33	12,70	0,00	1,33	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cymbellales	Anomoeoneidaceae	<i>Anomoeoneis atacamensis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Brachysuraceae	<i>Brachysira atacamae</i>	6,67	0,33	5,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis placentula</i>	0,00	0,67	0,70	0,00	0,00	0,33	0,33	0,67	0,00	0,30
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella affinis</i>	0,00	4,67	1,30	0,00	0,30	3,00	2,33	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula elegans</i>	0,00	27,00	2,30	14,30	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp1</i>	3,67	52,30	1,00	2,00	2,30	0,00	0,67	0,00	0,00	0,30
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp2</i>	2,00	37,30	5,30	0,00	1,00	3,33	3,00	1,67	3,33	2,30
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula subtilis</i>	0,00	3,33	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula thermalis</i>	0,00	15,70	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula valida</i>	0,00	4,00	1,30	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis smithii</i>	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis sp1</i>	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria capucina</i>	2,67	4,67	0,00	0,00	0,00	1,33	2,00	0,00	0,00	0,00

Orden	Familia	Taxa	Salar Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L1	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp1</i>	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria tenera</i>	10,70	0,00	0,70	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	4,67	0,00	0,00	1,67	2,30	2,33	2,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Diadesmidaceae	<i>Luticola mollis</i>	1,67	0,33	0,00	0,00	1,70	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia atacamae</i>	3,33	21,30	2,00	2,00	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cincta</i>	10,30	2,33	3,00	4,33	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cryptotenella</i>	4,33	0,00	0,00	3,33	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula gregaria</i>	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula lanceolata</i>	3,33	0,67	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula parinacota</i>	4,00	11,00	4,30	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula radiosa</i>	2,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula salinicola</i>	1,00	5,00	3,00	2,00	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp1</i>	1,67	1,33	0,30	0,67	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula veneta</i>	6,00	2,33	1,30	2,00	1,00	11,70	10,70	11,30	18,30	7,30
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia accedens var. chilensis</i>	2,00	4,00	1,00	0,00	2,70	1,00	0,67	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia epithemoides</i>	1,33	1,00	0,70	1,33	1,30	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia fonticola</i>	0,00	6,00	0,00	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia halloyii</i>	0,00	1,33	1,30	2,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia hantzschiana</i>	2,00	1,00	0,00	1,67	0,00	0,67	1,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia latens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia palea</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia valdecostata</i>	0,00	2,00	3,00	0,33	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp1</i>	0,00	1,00	0,00	0,33	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp2</i>	0,00	0,00	0,00	1,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia viridis</i>	0,00	0,00	3,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthes	Bacillariophyta	<i>Planothidium hauckianum</i>	2,00	0,67	0,30	0,00	0,00	0,33	0,33	0,00	0,33	0,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia brebissonii</i>	0,00	0,33	0,30	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia constricta</i>	4,00	0,33	0,70	1,00	3,30	1,67	5,67	5,33	3,00	2,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia wetzelli</i>	0,00	0,00	1,70	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis atacamae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	6,00	5,00	5,33	4,00
<b>Total</b>			160,92	292,56	71,10	76,28	80,70	53,36	84,33	65,01	74,35	58,60

Fuente: Elaboración propia



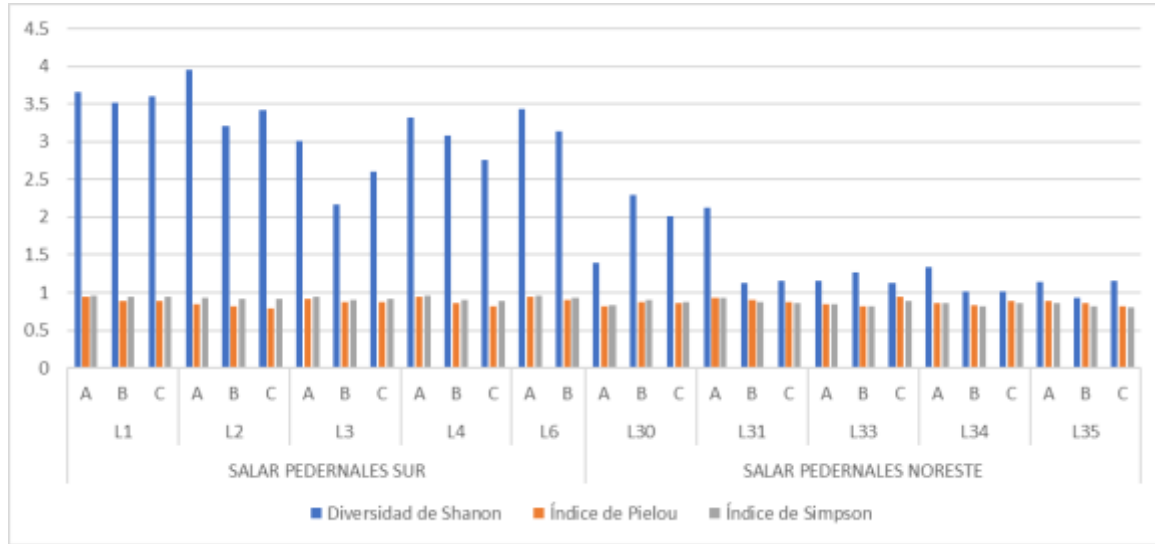
Figura 5-86. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones Salar de Pedernales Sur y Norte zona del Sistema de Salares.



A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml) y C) porcentaje promedio de representatividad de familias de Fitoplancton

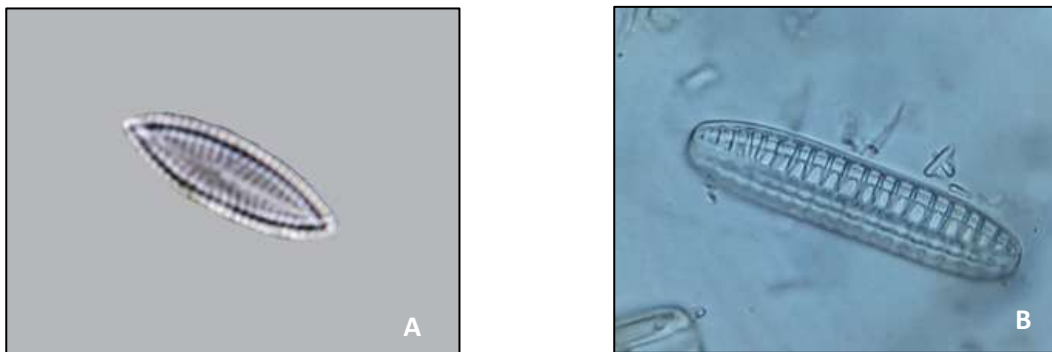
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-87. Índices de Diversidad de Shannon, Índice de Pielou e Índice de Simpson de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones de Salar de Pedernales Sur y Norte en la Zona de Salares Salar de la zona de Sistemas de Salares.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-88. Microalgas planctónicas presentes en las estaciones de los sectores Salar de Pedernales Sur y Norte en la Zona de Salares Salar de la zona del Sistemas de Salares.**



A) *Navicula veneta*; B) *Denticula sp1*.

Fuente: Elaboración propia.

**(a.2). Estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada**

En los Salar La Laguna y Salar Piedra Parada, se detectaron 48 taxa en 15 familias. De estas familias, 3 representaron el 57% de las abundancias, siendo las más recurrentes, las familias Bacillariales con 19,9% de las abundancias, seguidas por las familias Catenulaceae y Naviculaceae, con el 19,02% y el 18,98% de las abundancias, respectivamente.

Para el caso de la familia la familia Bacillariaceae, esta presentó 8 taxa, siendo las más recurrentes las especies *Nitzschia fonticolacon* con 29,34% y *Nitzschia halloyii* con 25,00%. En el caso de familia Catenulaceae, se registraron 9 taxa, siendo la especie más recurrente *Amphora ovalis*, con 24,52% de las abundancias dentro del género, seguida de *Amphora copulata* y *Amphora lineolata* (18,32% y 6,23% respectivamente). Por su parte, la familia Naviculaceae presentó 8 taxa, de los cuales, el más abundante fue la especie *Navicula salinicola* con el 22,42% de las abundancias.

A nivel espacial, se observó un claro patrón en la distribución de especies, con una mayor cantidad de especies en las estaciones del sector Salar Piedra Parada (L12), las cuales bordearon los 29 taxa identificados en promedio, con un máximo de 31 y un mínimo de 27, mientras que las estaciones del sector Salar La Laguna (L7), registraron 21,3 taxa en promedio, con replicas que registraron un máximo de 23 taxa y un mínimo de 19 taxa).

**Tabla 5-22. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitoplancton (cel/ml) en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistema de Salares.**

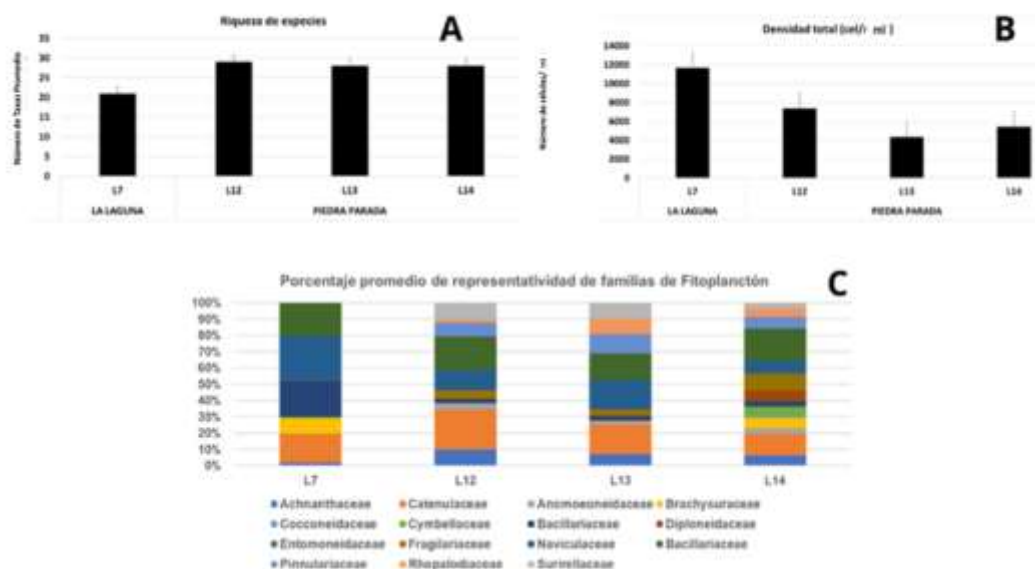
Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes_sp1</i>	0,00	4,00	0,67	1,33
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_coarctatum</i>	0,00	0,00	0,33	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_exiguum</i>	2,00	1,00	1,00	1,33
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_helveticum</i>	0,00	1,67	0,00	0,33
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium_minutissimum</i>	0,00	0,33	0,67	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_copulata</i>	10,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_lineolata</i>	3,33	2,00	2,33	2,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_ovalis</i>	5,67	4,67	1,67	1,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._1_</i>	2,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._11</i>	0,00	2,33	0,00	1,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._3</i>	0,00	2,33	0,67	1,33
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._4</i>	0,00	6,67	2,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._5</i>	0,00	0,00	0,33	1,33
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora_sp._9</i>	0,00	0,00	0,00	0,33
Cymbellales	Anomoeoneidaceae	<i>Anomoeoneis_atacamensis</i>	0,00	3,00	1,00	1,67
Naviculales	Brachysuraceae	<i>Brachysira_atacamae</i>	11,00	0,00	0,00	3,33
Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis_placentula</i>	0,00	0,00	0,00	0,33
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella_affinis</i>	0,67	0,00	0,00	3,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_elegans</i>	12,00	1,67	0,67	1,67
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp1</i>	11,33	0,00	0,33	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_sp2</i>	1,67	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula_subtilis</i>	1,33	0,00	0,00	0,00

Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis_smithii</i>	0,00	0,00	0,00	3,33
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis_sp1</i>	0,00	0,00	0,33	0,00
Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis_alata</i>	0,67	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_capucina</i>	0,00	1,00	0,67	3,33
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_sp1</i>	0,00	1,33	0,33	0,33
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_tenera</i>	0,00	0,00	0,00	1,67
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria_vaucheriae</i>	0,00	1,67	0,33	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_cincta</i>	0,00	1,00	4,67	3,33
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_cryptotenella</i>	4,67	4,00	1,33	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_gregaria</i>	2,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_lanceolata</i>	0,00	0,00	0,00	1,33
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_parinacota</i>	6,33	1,00	1,33	2,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_radiosa</i>	0,00	1,67	1,33	0,33
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_salinicola</i>	13,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula_veneta</i>	4,33	2,33	3,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_accedens_var._chilensis</i>	0,00	1,67	0,67	2,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_acicularis</i>	0,33	0,67	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_epithemoides</i>	0,00	2,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_fonticola</i>	11,67	4,00	0,67	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_halloyii</i>	0,00	2,33	3,67	8,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_hantzschiana</i>	0,00	2,33	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_latens</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia_valdecostata</i>	11,67	2,00	1,33	0,33
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia_viridis</i>	0,00	6,00	4,67	3,67
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia_constricta</i>	0,00	1,33	3,67	2,67

Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella_chilensis</i>	0,00	7,67	3,67	1,67
<b>Total</b>			116,66	73,67	43,34	53,97

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-89. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas en las estaciones de los Salares de La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistemas de Salares.

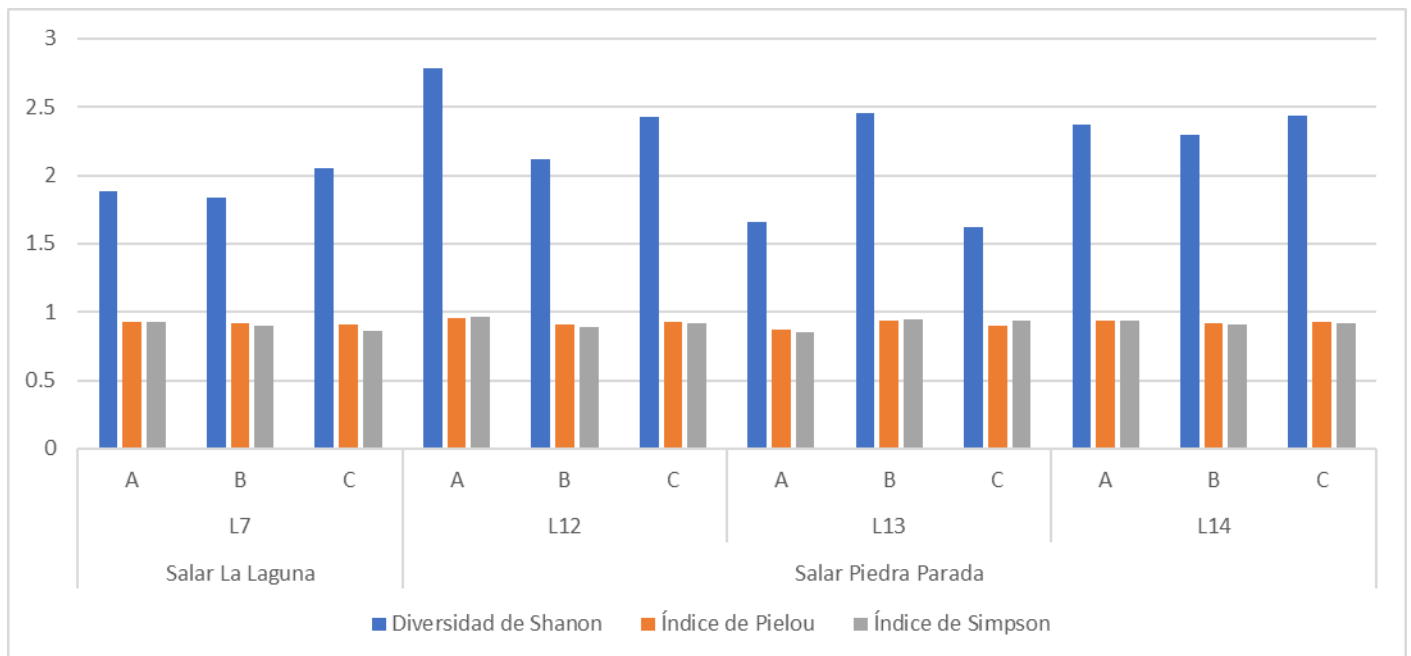


A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml) y C) porcentaje promedio de representatividad de familias de Fitoplancton. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las abundancias, la estación L7 del Salar la Laguna fue la que registró el valor promedio más alto, con 11.168 cel/ml, con un valor máximo de 14.000 cel/ml y un mínimo de 10.400 cel/ml, mientras que la menor abundancia se registró en la estación L13 del Salar Piedra Parada, la cual fue en promedio de 4.333 cel/ml, con un valor máximo de 5.200 cel/ml y un mínimo de 3.100 cel/ml.

En cuanto el promedio del índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 2,44 en la estación L12 del Salar Piedra Parada, con un máximos de 2,79, correspondiendo a las estaciones con mayor diversidad de especies, sin embargo, el índice de Simpson fue de 0,93, indicando la no existencia de una dominancia clara de alguna de ellas, con valores máximos de 0,96. Por su parte, la equitatividad de Pielou abreviada fue de 0,923, atribuible a que en dicha estación las especies fueron igualmente abundantes (Figura 5-90). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L13 del sector Salar Piedra Parada, con un índice de diversidad de Shannon observado de 1,91 lo que sugiere una baja representatividad de diferentes taxa. En dicha estación se obtuvo una equitatividad baja, lo que sugiere una buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación (ie. un índice de 0,911), aunque el índice de Simpson indica que existe una dominancia de unas pocas especies (ie. un índice de 0,90) (Figura 5-90).

**Figura 5-90. Índices de Diversidad para el Fitoplancton en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada, en la zona del Sistemas de Salares.**



Fuente: Elaboración propia.

**(b). Fitobentos****(b.1). Estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte**

La comunidad de microalgas bentónicas presentó un total de 57 especies, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 13 familias. En el sector del Salar de Pedernales, se detectaron 56 taxa en 14 familias. De estas familias, 3 representaron el 63,39 % de las abundancias, siendo las más recurrentes las familias Catenulaceae con el 34,8 % de las abundancias, seguido por Naviculaceae con 14,39% y Fragilariaceae con 14,17 %.

Para el caso de la familia Catenulaceae, se registraron 12 taxa, siendo la más recurrente de las especies *Amphora copulata*, con 15,68 % de las abundancias. En cuanto a la familia Naviculaceae, presentó 8 taxa, la especie más abundante fue *Navicula veneta* con 30,77% de las abundancias, mientras que en el caso de la familia Fragilariaceae, la especie *Fragilaria capucina* representó por si sola el 86% de las abundancias de la familia (Tabla 5-23, Figura 5-92 y Figura 5-93). Índices de Biodiversidad para el fitoplancton bentónico en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.).

A nivel espacial, se observó un claro patrón en la distribución de especies, con una mayor cantidad de taxa en las estaciones del sector Salar de Pedernales Sur, y un mínimo en las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte. La mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur, con 29,3 taxa en promedio, con un máximo de 27 y un mínimo de 23 taxa, mientras que la menor riqueza se registró en las estaciones L33 del sector Salar de Pedernales Norte, con un valor promedio de 17,3 especies, con un máximo de 19 y un mínimo de 15 taxa. El mismo patrón se registró en las abundancias, donde el valor promedio máximo se obtuvo en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur, con 10800 cel/ml, con un máximo de 12000 y un mínimo de 10800 ind/ml, mientras que la menor abundancia se registró en las estaciones L33 del sector Salar de Pedernales Norte, con un valor promedio de 2500 cel/ml, con un máximo de 2900 cel/ml y un mínimo de 2200 cel/ml.

En cuanto al índice de diversidad de Shannon, la mayor diversidad promedio se obtuvo en la estación L6 del sector Salar de Pedernales Sur, equivalente a 2,88, con un máximo de 2981 y un mínimo de 2709. En cuanto al índice de Simpson, éste fue de 0,95 en la misma estación, lo que podría inferir una mayor prevalencia de algunas especies. Por su parte, la equitatividad de Pielou abreviada, que fue equivalente a 0,94, con un máximo de 0,97 y un mínimo de 0,97. Con esto se podría atribuir que en dicha estación las especies serían igualmente abundantes (Figura 5-92). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L33 del sector Salar de Pedernales Norte, con un índice de diversidad de Shannon promedio de 1,70. En dicha estación se registró una baja equitatividad (0,91 en promedio) y una dominancia de 0,90 en promedio. En este sentido el patrón observado es similar que en el fitoplancton, donde existe una dominancia de pocas especies en las estaciones de Pedernales Norte (Figura 5-93).



**Tabla 5-23. Abundancia relativa promedio de los taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte, en la zona del Sistemas de Salares**

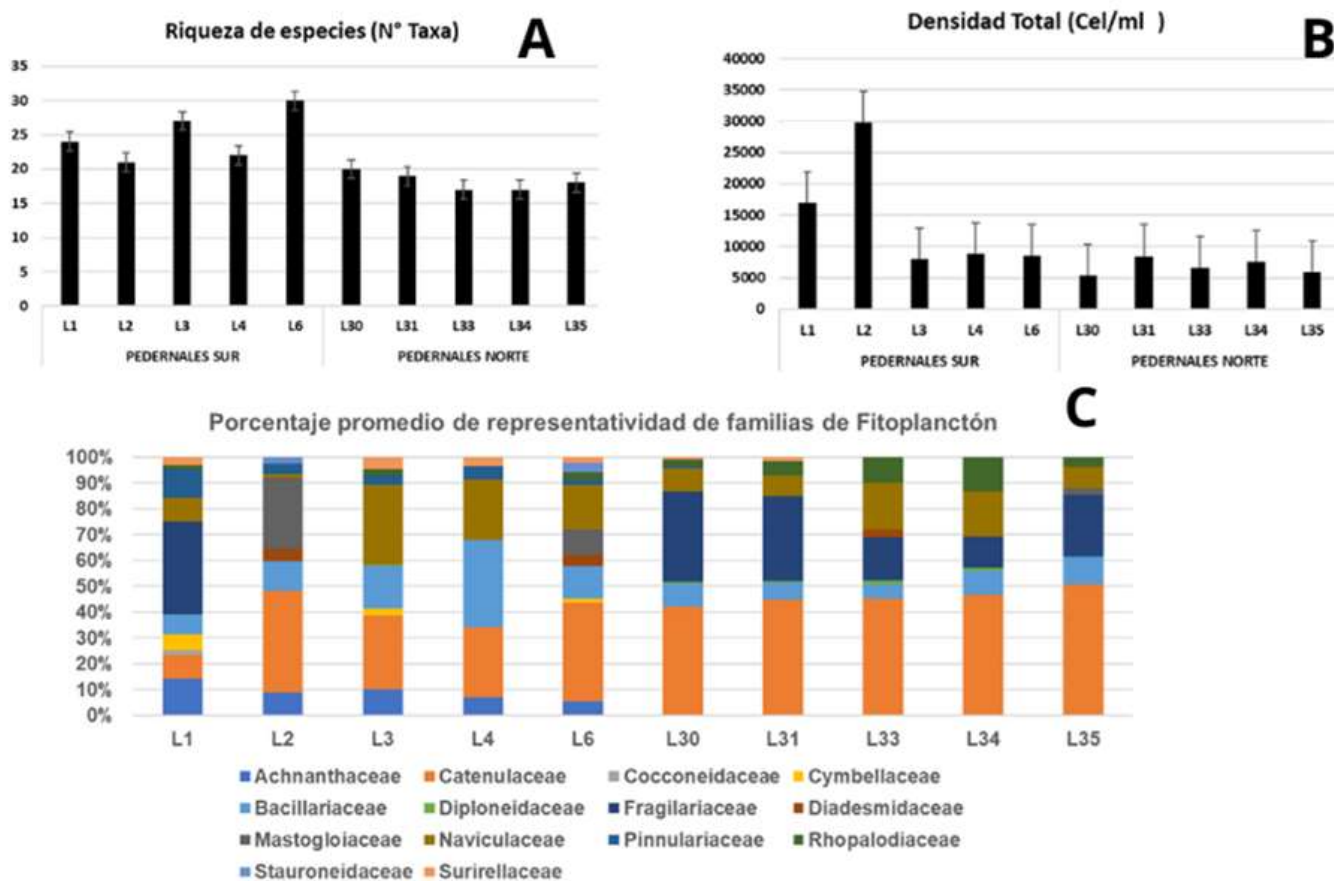
Orden	Familia	Taxa	Salar de Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L7	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes sp1</i>	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnantheidium coarctatum</i>	0,00	1,33	0,00	0,00	3,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnantheidium exiguum</i>	2,00	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnantheidium helveticum</i>	0,00	2,33	3,67	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achnanthales	Achnanthaceae	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora copulata</i>	1,00	2,67	1,00	3,67	6,00	1,33	2,33	2,67	2,00	2,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>	1,00	4,67	1,00	0,00	4,67	0,33	3,00	2,67	2,67	3,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora ovalis</i>	1,00	2,33	0,00	0,00	4,00	1,00	1,33	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 10</i>	2,00	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 11</i>	0,00	2,33	0,00	0,00	13,00	5,00	1,33	2,33	4,00	5,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 13</i>	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,67	0,00	0,33	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 2</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 3</i>	0,00	4,33	1,00	3,00	3,67	4,33	5,00	1,67	2,00	2,67
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 4</i>	0,00	0,00	2,00	5,00	5,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 5</i>	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,33	0,67	0,33	0,67
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 6</i>	0,00	0,00	1,33	0,00	2,00	3,33	5,33	0,33	0,67	0,33
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 9</i>	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis placentula</i>	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella affinis</i>	4,00	0,00	1,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula elegans</i>	2,00	4,67	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp1</i>	0,00	1,67	2,33	0,00	2,33	1,67	2,33	1,33	1,33	1,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula thermalis</i>	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Orden	Familia	Taxa	Salar de Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L7	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis sp1</i>	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria capucina</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	5,00	2,67	2,00	1,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp1</i>	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria tenera</i>	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,67	9,00	1,33	1,00	5,67
Naviculales	Diadesmidaceae	<i>Luticola mollis</i>	0,00	2,00	0,00	0,00	4,67	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
Mastogloiales	Mastogloioaceae	<i>Mastogloia atacamae</i>	0,00	11,33	0,00	0,00	10,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula capitatoradiata</i>	1,00	0,00	2,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cincta</i>	0,00	0,67	1,33	1,33	1,67	0,00	0,00	0,67	1,67	1,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cryptotenella</i>	1,00	0,00	0,00	1,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula gregaria</i>	0,00	0,00	0,00	1,67	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula parinacota</i>	0,00	0,00	0,00	2,00	3,67	0,33	0,33	1,67	0,33	1,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula salinicola</i>	2,00	0,00	4,00	1,67	3,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp1</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula veneta</i>	2,00	0,00	4,00	3,33	0,00	3,00	3,00	2,00	2,33	0,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia accedens var, Chilensis</i>	1,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia acicularis</i>	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia commutata</i>	0,00	0,00	1,00	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia epithemoides</i>	2,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia fonticola</i>	0,00	1,33	0,00	1,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia halloyii</i>	0,00	0,00	1,33	1,33	3,00	0,67	1,00	0,00	1,33	1,67
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia hantzschiana</i>	2,00	0,67	0,00	2,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia latens</i>	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	1,67	1,33	1,33	0,67	1,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia liebetruthii</i>	0,00	1,67	0,00	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia linearis</i>	0,00	0,00	3,00	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Orden	Familia	Taxa	Salar de Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L7	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia pusilla</i>	0,00	0,00	0,67	2,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia valdecostata</i>	0,00	0,00	0,00	2,67	4,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp1</i>	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp2</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia viridis</i>	6,00	1,67	0,33	1,33	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia brebissonii</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia constricta</i>	1,00	0,00	0,00	0,00	3,00	1,00	2,33	2,33	3,33	1,00
Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis atacamae</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella chilensis</i>	2,00	0,00	1,67	1,67	2,33	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>			<b>66</b>	<b>48,66</b>	<b>42</b>	<b>46,99</b>	<b>108,01</b>	<b>39,66</b>	<b>44,63</b>	<b>25</b>	<b>26,32</b>	<b>29</b>

Fuente: Elaboración propia

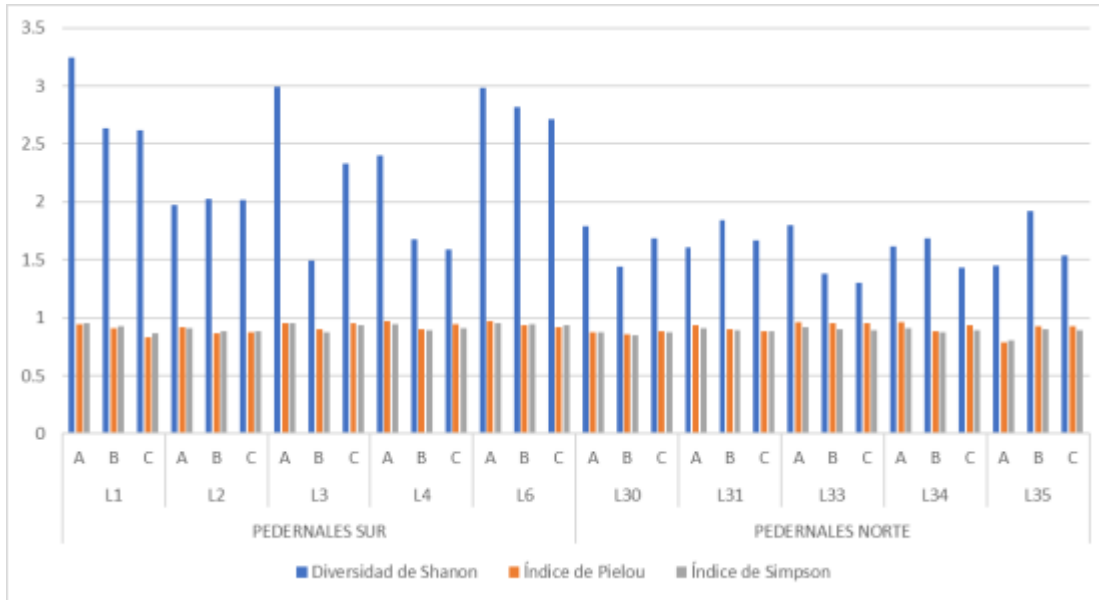
A) Figura 5-91. Composición y estructura de la comunidad de microalgas bentónicas en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.



A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml) y C) porcentaje promedio de representatividad de familias de del fitobentos.

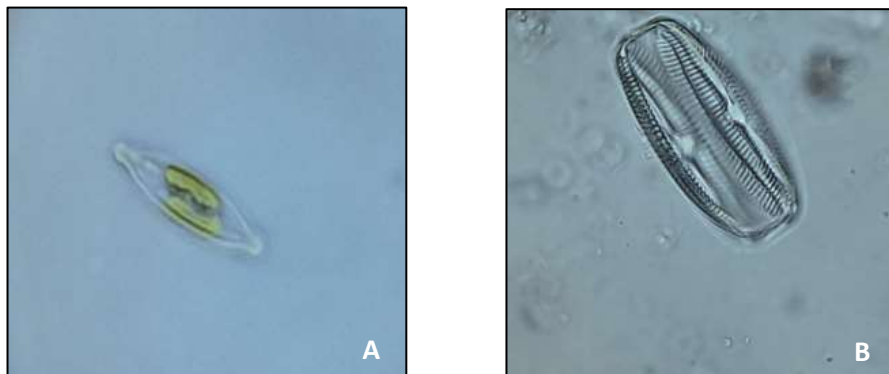
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-92. Índices de Biodiversidad para el fitoplancton bentónico en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-93. Microalgas bentónicas presentes en las estaciones de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.



A) *Navicula cinta*. B) *Mastogloia atacamae*.

Fuente: Elaboración propia

### (b.2). Estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada

La comunidad de microalgas bentónicas de los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada, presentó un total de 40 especies, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 11 familias. De estas familias, 3 representaron el 71,82% de las abundancias, con las siguientes abundancias: 1) Bacillariaceae 34,8%; 2) Achnanthaceae 19,5%; y, 3) Catenulaceae 17,02%.

Para el caso de la familia Bacillariaceae, se registraron 14 taxa, siendo la especie más recurrente *Nitzschia accedens var. Chilensis* con 24% de las abundancias dentro de la familia. En cuanto a la familia Achnanthaceae, que presentó 4 taxa, la especie más abundante fue *Achnantheidium helveticum* con 44,4% de las abundancias. Por su parte, en el caso de la familia Catenulaceae, la especie *Amphora sp. 11* representó por si sola el 49% de las abundancias de toda la familia (Tabla 5-24, Figura 5-94).

A nivel espacial, se observó una mayor riqueza en la estación L7 del sector Salar La Laguna, mientras que, para el caso del sector Salar Piedra Parada, la mayor riqueza se obtuvo en la estación L12, con 18 taxa. Cabe señalar que, tanto la estación L13 como L14, ambas del sector Salar Piedra Parada, presentaron 14 taxa.

**Tabla 5-24. Abundancia relativa de las taxa de fitobentos (cel/ml) identificadas en las estaciones de los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada.**

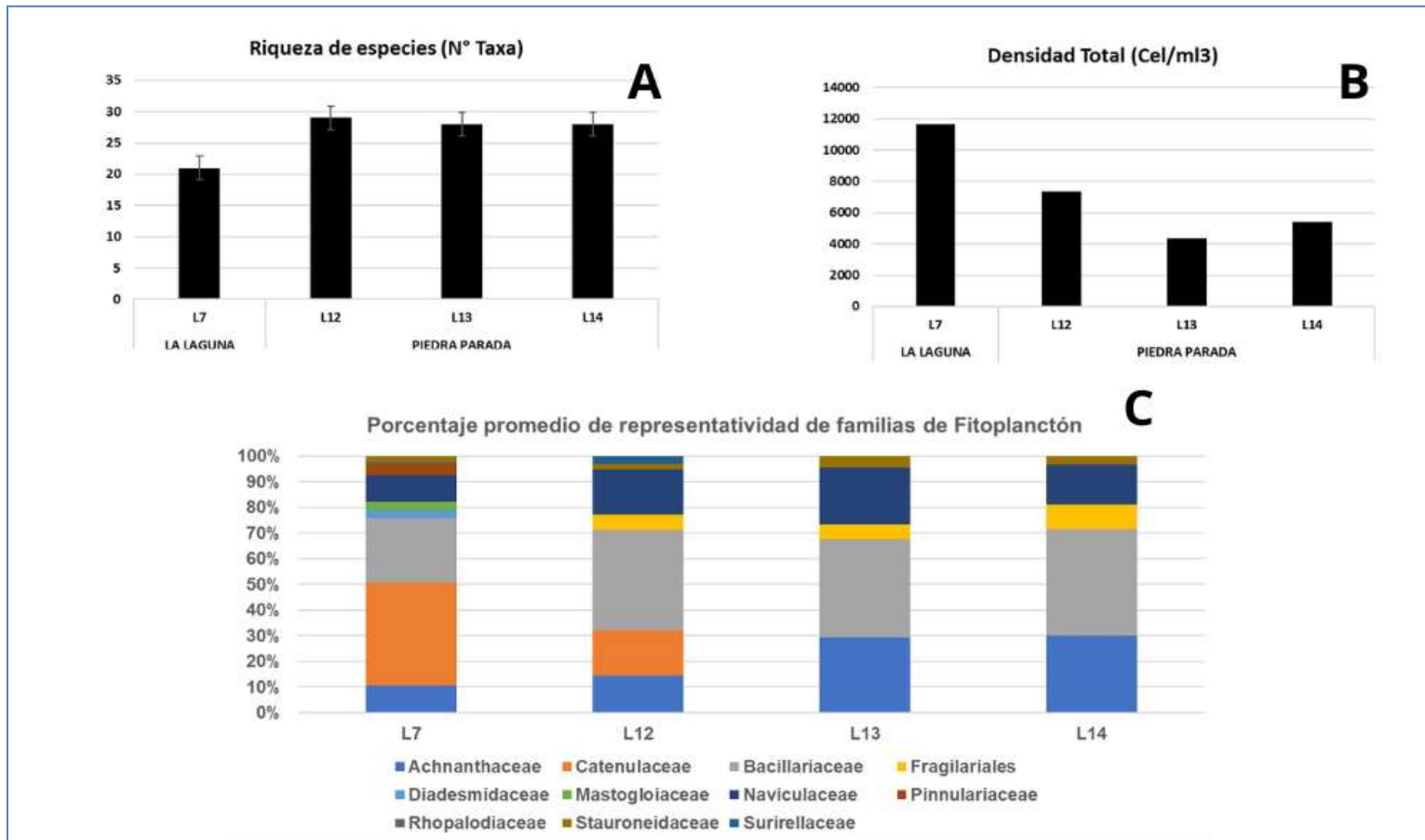
Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes sp1</i>	0,00	2,00	2,00	3,33
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium coarctatum</i>	1,67	0,00	0,33	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium exiguum</i>	1,00	0,00	1,33	0,00
Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium helveticum</i>	0,67	2,67	3,00	3,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora copulata</i>	2,00	2,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora lineolata</i>	0,33	1,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora ovalis</i>	0,67	1,33	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp, 11</i>	7,67	1,33	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 3</i>	1,00	0,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 4</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 6</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora sp. 9</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula elegans</i>	0,00	3,00	2,33	2,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula sp1</i>	1,67	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula thermalis</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp1</i>	0,00	2,00	1,33	2,00
Naviculales	Diadesmidaceae	<i>Luticola mollis</i>	1,00	0,00	0,00	0,00
Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia atacamae</i>	1,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula capitatoradiata</i>	2,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cincta</i>	0,00	1,67	1,33	1,67
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula cryptotenella</i>	0,00	2,33	1,67	0,67
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula gregaria</i>	1,00	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula parinacota</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula veneta</i>	0,00	1,67	2,00	1,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia accedens var, Chilensis</i>	0,00	4,33	2,67	2,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia acicularis</i>	0,00	2,33	1,33	1,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia commutata</i>	0,67	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia epithemoides</i>	0,33	2,00	2,00	1,67
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia halloyii</i>	1,67	0,00	0,00	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia hantzschiana</i>	1,33	0,00	0,00	0,00

Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia latens</i>	0,00	0,00	0,00	0,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia liebetruthii</i>	0,00	0,00	0,00	0,67
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia linearis</i>	0,33	0,00	0,33	0,00
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia pusilla</i>	0,33	0,67	0,00	0,33
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia valdecostata</i>	1,33	0,33	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp2</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia viridis</i>	1,00	0,00	0,00	0,00
Rhopaloidales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia brebissonii</i>	0,33	0,00	0,00	0,00
Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis atacamae</i>	0,67	0,67	1,00	0,67
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella chilensis</i>	0,00	1,00	0,00	0,00
<b>Total</b>			<b>31,65</b>	<b>32,33</b>	<b>22,65</b>	<b>21</b>

Fuente: Elaboración propia



Figura 5-94. Composición y estructura de la comunidad de microalgas planctónicas del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.

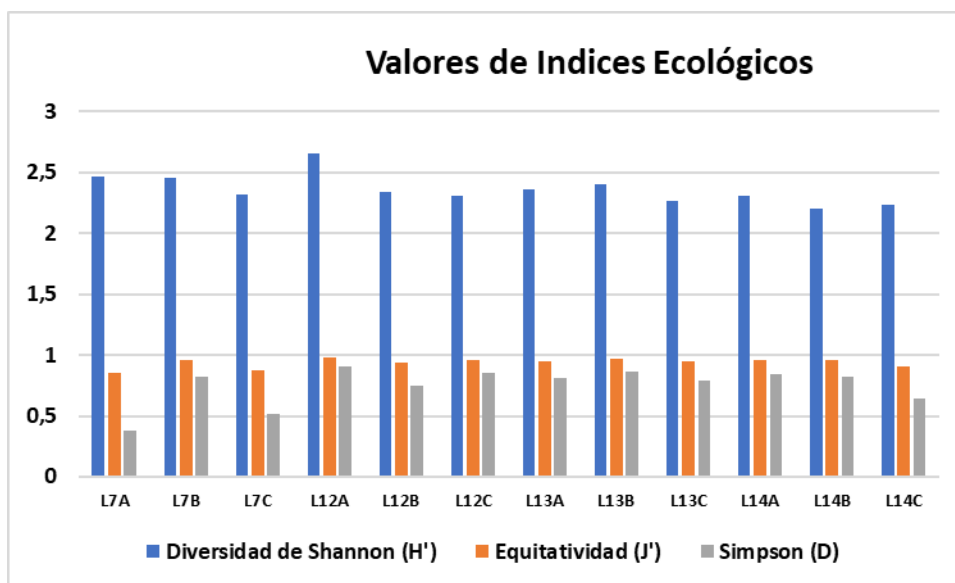


A) Riqueza de taxa (N° de taxa por estación y replica); B) Densidad Total (cel/ml), y C) porcentaje promedio de representatividad de familias de Fitoplancton.

B) Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al índice de diversidad de Shannon, la diversidad más alta, equivalente a 2,44, se obtuvo en la estación L12 del sector Salar Piedra Parada. Por su parte, el índice de Simpson que fue de 0,83 en la estación L12 del sector Salar Piedra Parada, lo cual indica una dominancia similar de especies que se registraron en dicha estación. Lo anterior se ve reflejado en que el índice de equitatividad presentó un valor de 0,83, lo que se atribuye a que en dicha estación, las especies presentes son igualmente abundantes (Figura 5-95). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L14 del sector Salar Piedra Parada, con un índice de diversidad de Shannon observado de 2,25. Junto a lo anterior, en dicha estación se obtuvo una alta equitatividad, lo que sería indicio de buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación (ie. un índice de 0,94), aún cuando, el índice de Simpson sugiere que existiría una cierta dominancia de algunas especies (ie. un índice de 0,77) (Figura 5-95).

**Figura 5-95. Índices de Biodiversidad para el fitoplancton bentónico en los Salares La Laguna y Salar Piedra Parada.**



Fuente: Elaboración propia.

(c). **Zooplankton e invertebrados en la columna de agua.**

(c.1). **Estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte**

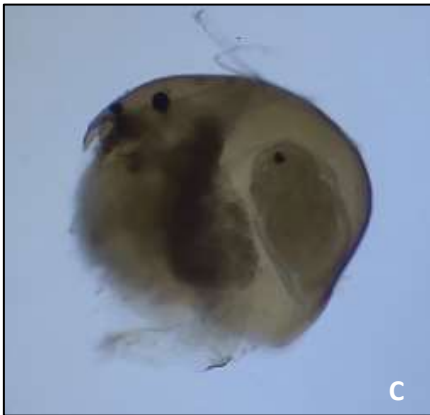
En general, el zooplankton presentó un bajo número de especies en todas las estaciones, cuyos registros estuvieron representados principalmente por la presencia de crustáceos de la clase de Branchiopoda, Malacostraca, Ostrácoda y Copépoda, así como de insectos de la familia Chironomidae y Pseudococcidae. Estos últimos grupos fueron descartados del análisis por considerarse un error mecánico del muestreo.

En terminos generales, la riqueza de especies promedió entre 1 y 5 taxa en las estaciones del sector Salar de Pedernales Sur, y 1 a 3 en las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte. Las mayores diferencias se registraron en la abundancia total, ya que en la estación L4 del sector Salar de Pedernales Sur se detectó una abundancia elevada de especímenes de la especie *Harpacticoidea sp.*, con una abundancia promedio total de 583099 ind/ml. La menor abundancia se detectó en la estación L35 del Salar edernales Norte, con un promedio de 9 ind/ml (Ver Figura 5-96).

El 52% de la abundancia la registró una especie de la familia *Harpacticoidea*, seguida de ejemplares de la especie *Cyprideis sp.* con 14%, y de las especies *Parakiefferiella sp.* y *Cricotopus sp.*, ambas con 0,2% de representatividad. Por su parte, la especie *Artemia sp* presentó el 2% de las abundancias (Figura 5-96).

En cuanto al índice de diversidad de Shannon, el valor promedio más alto fue de 0,89 en la estación L2 del sector Salar Pedernales Sur, con un maximo de 1,14 y un minimo de 0,64. Por su parte, el índice de Simpson fue de 0,57 en dicha estación, con un maximo de 0,72 y un minimo de 0,41, lo que indica una baja dominancia de las especies presentes. Lo anterior se ve reflejado en el índice de equitatividad obtenido para la estación L2 del sector Salar de Pedernales Sur, el cual presentó un valor de 0,72, que es reflejo de que las especies presentes no serían igualmente abundantes (Figura 5-96 y Figura 5-97). Por otro lado, la menor diversidad se obtuvo en la estación L4, ya que solo se registraron individuos de una especie, la cual domina completamente en dica estacion (Figura 5-97).

Figura 5-96. Principales especies registradas en el análisis de las comunidades de zooplancton e invertebrados de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.



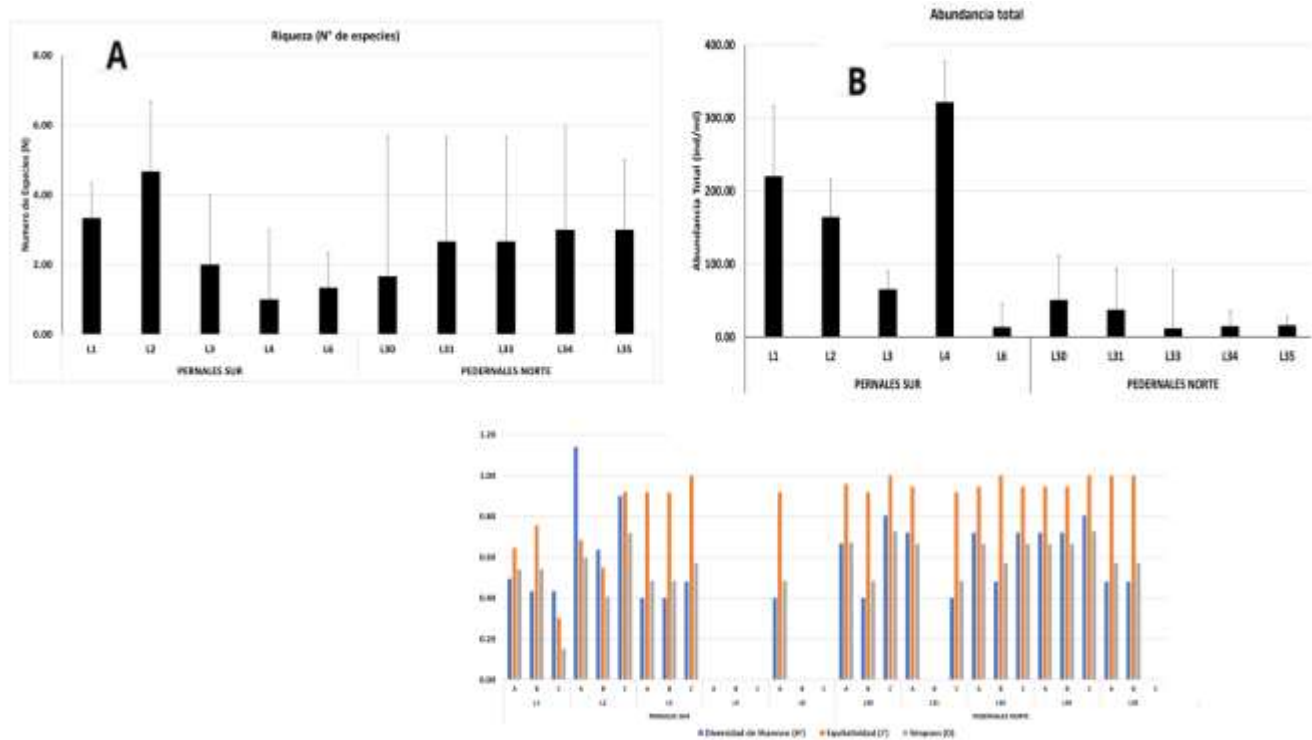
A). *Harpacticoida sp* B) *Chydorus sp.*; C) *Boeckella sp.*; y D) *Artemia sp.*  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-25. Abundancia relativa promedio de los taxa de zooplancton (ind/ml) identificadas en las estaciones de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte, temporada 2023.**

Clase	Familia	Taxa	L1	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Clitellata	Tubificida	<i>Naididae indeterminado sp1.</i>	9,33	2,67	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoda	Calanoida	<i>Boeckella sp,</i>	0,00	2,67	2,67	0,00	0,00	2,67	2,67	1,33	2,67	1,33
Copepoda	Cyclopoida	<i>Cyclopidae indeterminado</i>	2,67	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,33	0,00
Copepoda	Harpacticoida	<i>Harpacticoida indeterminado</i>	68,00	45,33	0,00	309,33	5,33	1,33	0,00	1,33	2,67	0,00
Malacostraca	Amphipoda	<i>Hyaella sp,</i>	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostracoda	Podocopida	<i>Herpetocypris sp,</i>	0,00	4,00	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ostracoda	Podocopida	<i>Cyprideis sp,</i>	126,67	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Branchiopoda	Anostraca	<i>Artemia sp,</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	5,33	6,67	6,67	2,67
Branchiopoda	Anomopoda	<i>Chydorus sp,</i>	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	2,67	1,33	2,67	1,33	2,67
		Total	206,67	73,34	10,66	309,33	7,99	14,67	9,33	13,33	14,67	6,67

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-97. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton, de las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.



A) Riqueza de especies (N° de taxa identificadas); B) Abundancia total (ind/mm<sup>3</sup>); y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

### (c.2). Estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada

En las estaciones ubicadas en los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada, la riqueza de especies promedio varió entre 1 y 3 taxa en las estaciones del sector Salar Piedra Parada, y 1 taxa en la estación L7 del sector Salar La Laguna (Ver Tabla 5-26). El 57,86% de la abundancia la registró la especie *Harpacticoida sp.*, seguido de la especie *Boeckella sp.*, con 22% (Figura 5-98).

A nivel espacial, la estación L14 presentó en promedio el mayor número de taxa, con un valor promedio de 3,3 especies, con un máximo de 4 y mínimo de 3. La menor se obtuvo en el Salar La Laguna con 1,3 taxa en promedio, con un máximo de 2 y un mínimo de 1. En relación a la abundancia, el mayor valor promedio se obtuvo en la Estación L14 del Salar Piedra Parada, con 65,3 individuos/ml, con máximos de 90 y mínimos de 56 ind/ml. La menor abundancia se obtuvo en la estación L7 del Salar la Laguna, con 8 ind/ml, con un máximo de 12 y un mínimo de 4 ind/ml.

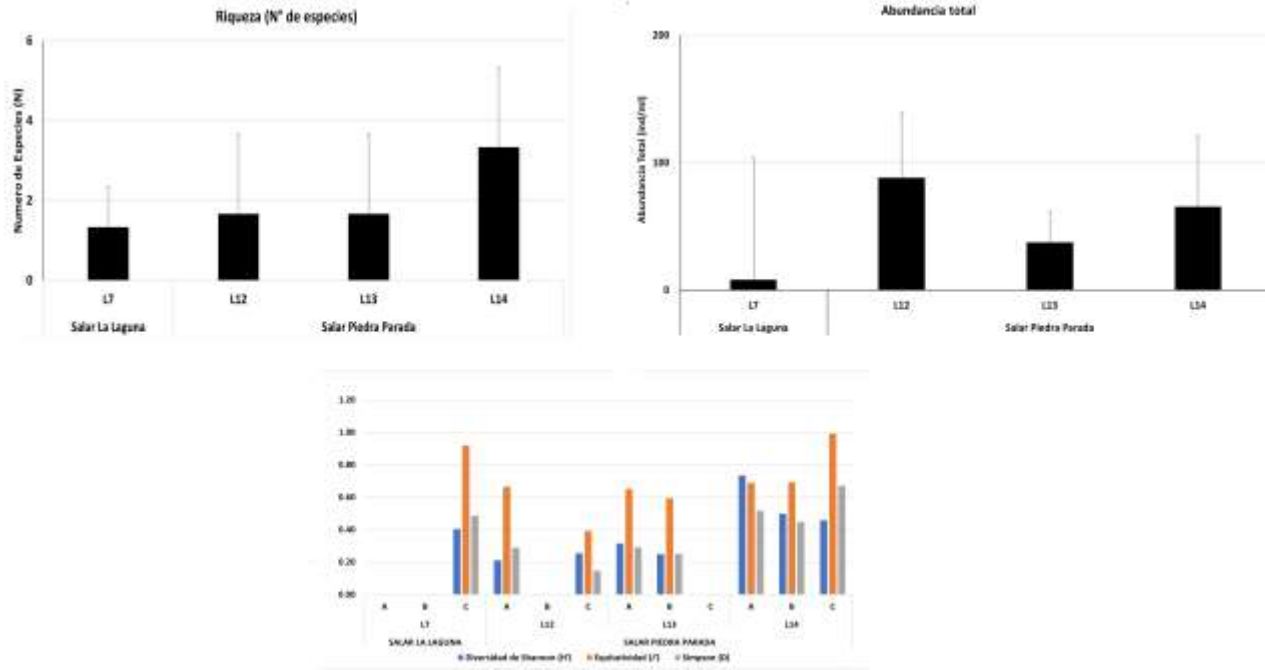
En cuanto al índice de diversidad de Shannon, el valor más alto fue de 0,56 en la estación L14 el Salar Piedra Parada. Por su parte, el índice de Simpson presentó un valor de 0,54 en dicha estación, debido a la baja dominancia de las especies registradas en dicha estación, lo cual se ve reflejado en con el índice de equitatividad, para el cual se obtuvo un valor de 0,79, don las especies presentes son igualmente abundantes (Figura 5-98). Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L7 del Salar La Laguna, con un índice de diversidad de Shannon observado de 0,13, con maximos de 0,4 y minimos de 0. Esto nos indica que en dos de las tres replicas aparecio solo 1 especie, mientras que en la que aparecieron dos especies, estas eran pocas y sin una especie abundante (Figura 5-98).

**Tabla 5-26, Abundancia relativa de los taxa de zooplancton (ind/m<sup>3</sup>) identificados en las estaciones de los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.**

Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Copepoda	Calanoida	<i>Boeckella sp,</i>	2,67	6,67	9,33	26,67
Copepoda	Cyclopoida	<i>Cyclopidae indeterminado</i>	1,33	0,00	0,00	0,00
Copepoda	Harpacticoida	<i>Harpacticoida indeterminado</i>	2,67	80,00	28,00	12,00
Malacostraca	Amphipoda	<i>Hyalella sp,</i>	0,00	1,33	0,00	16,00
Ostracoda	Podocopida	<i>Cyprideis sp,</i>	0,00	0,00	0,00	10,67
<b>Total</b>			6,67	88,00	37,33	65,34

Fuente: Elaboración propia,

Figura 5-98. Composición y estructura de las comunidades de zooplancton los sectores Salar La Laguna y Salar Piedra Parada, temporada 2023.



A) Riqueza de especies (Nº de taxa identificados); B) Abundancia total (ind/ml); y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.



**(d). Zoobentos o Macroinvertebrados bentónicos**

**(d.1). Estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte**

La comunidad estuvo representada mayoritariamente por representantes de dos especies de la familia Chironomidae, *Cricotopus tremulus* y *Podonomus sp*, Se detectó la presencia de ostrácodos y malacostráceos, mientras que la especie *Cricotopus tremulus* representó por si sola el 67% de las abundancias.

A nivel espacial, el sector Salar de Pedernales presento un número de taxa que fue de 2 a 5 en promedio. La estación con mayor riqueza promedio fue L2 con 54,67 taxa, con máximos de 5 y mínimo de 4. La que registro menor especies fue L31 con un promedio de 1,33, con máximo de con un máximo de 2 y un mínimo de 1. Se puede detectar que la mayor abundancia promedio de especies fue en la estación L4 del Salar de Pedernales Sur, con 321,33 ind/m<sup>2</sup>, cuya característica central fue lo somero de sus aguas. La menor abundancia fue registrada en la estación L31 del Salar de Pedernales Norte, donde se obtuvo un promedio de 5,33 ind/m<sup>2</sup>, con un máximo de 8 y un mínimo de 4.

En cuanto al índice de diversidad de Shannon, los valores fueron bajos en la mayoría de las estaciones, siendo el valor más alto en promedio de 0,76, en la estación L2 del Salar Pedernales Sur, con un máximo de 0,94 y un mínimo de 0,76. Por su parte, el índice de Simpson registro un valor promedio de 0,89 en la estación L2 del Salar Pedernales Sur, con valores máximos de 0,75 y mínimos de 0,49 fue un indicio de una baja dominancia de las especies registradas en dichas estaciones. Sin embargo, el índice de equitatividad en promedio fue bajo, con un valor de 0,58, con un máximo de 0,66 y un mínimo 0,52 lo que respondería a que las especies presentes eran de abundancias bajas (Figura 5-99). Las estaciones con menor diversidad fueron L3 y L31 con un valor promedio de 0,16. En el caso de L3 solo dos replicas presentaron más de una especie, mientras que en el caso de L31 una sola replica presento más de una especie.

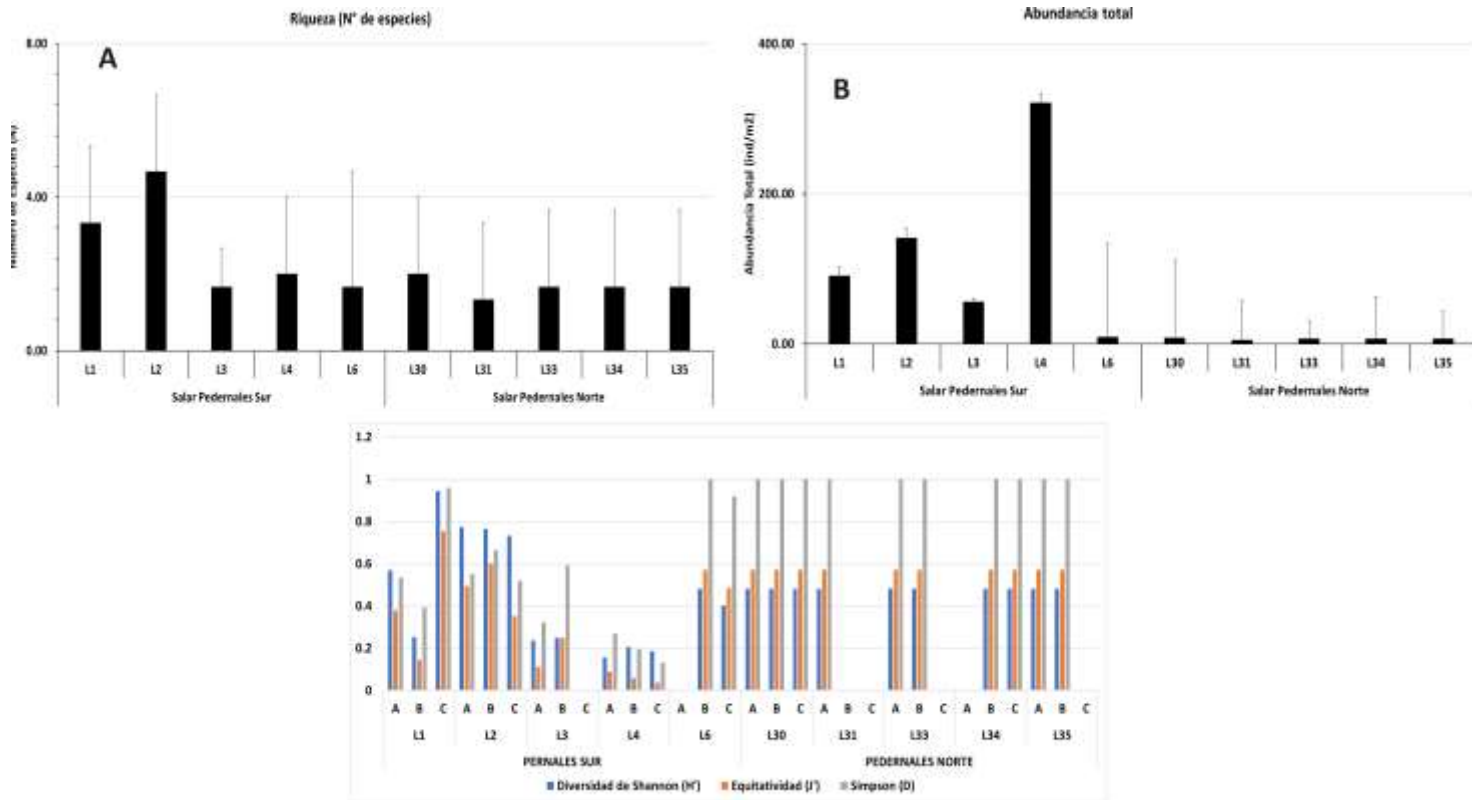


Tabla 5-27. Abundancia relativa de los taxa de macroinvertebrados bentónicos (ind/m<sup>2</sup>) identificados en las estaciones de los sectores Salar de Pedernales Sur y Norte.

Clase	Familia	Taxa	Salar de Pedernales Sur					Salar de Pedernales Norte				
			L1	L2	L3	L4	L6	L30	L31	L33	L34	L35
Arachnida	Trombidiformes	<i>Trombidiformes indeterminado sp1,</i>	9,33	2,67	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Branchiopoda	Artemiidae	<i>Artemia sp,</i>	0,00	2,67	2,67	0,00	0,00	2,67	2,67	1,33	4,00	2,67
Insecta	Chironomidae	<i>Cricotopus tremulus</i>	68,00	45,33	0,00	309,33	9,67	1,33	1,33	1,33	2,67	0,00
Insecta	Chironomidae	<i>Podonomus sp,</i>	0,00	82,67	0,00	0,00	1,33	0,00	1,67	1,33	0,00	1,33
Insecta	Ephydriidae	<i>Ephydriidae indeterminado</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	1,33	0,00	1,33
Insecta	ind	<i>Insecto indeterminado</i>	9,33	5,33	52,00	0,00	8,00	1,33	0,00	0,00	0,00	1,33
Malacostraca	Hyalellidae	<i>Hyalella sp,</i>	0,00	0,00	0,00	12,00	1,33	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00
<b>Total</b>			86,66	138,67	54,67	321,33	21,66	7,99	5,67	6,65	6,67	6,66

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5-99. Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (ind/m<sup>2</sup>) en las estaciones del Salar de Pedernales Sur y Norte.**



A) Riqueza de especies (N° de taxa identificados); B) Abundancia total (ind/m<sup>2</sup>); y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

#### (d.2). Estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.

En las estaciones ubicadas en los Salares La Laguna y Piedra Parada, la riqueza de especies promedio varió entre 3 y 1 especies en las estaciones en el Salar Piedra Parada, siendo el promedio máximo registrado en las estaciones L12 y L14 del Salar Piedra Parada con un valor de 2,33 cada una, con un máximo de 3 y un mínimo de 2 en ambas estaciones (Ver Tabla 5-28 y Figura 5-100). El 35 % de la abundancia la registro la especie *Podonomus sp*, seguido de ejemplares de la especie *Cricotopus sp*, con 27% (Figura 5-100) ambos pertenecientes a la familia de los Dipteros. En cuanto a la estación que registro una menor riqueza de especies fue L7 de Salar La Laguna con 1,67 taxa, con máximos de 2 y mínimos de 1. En cuanto a las abundancias, la estación L12 registro la mas alta abundancia, con un valor de 93,33 ind/m<sup>2</sup>, con máximos de 124 y mínimos de 52 ind/m<sup>2</sup>.



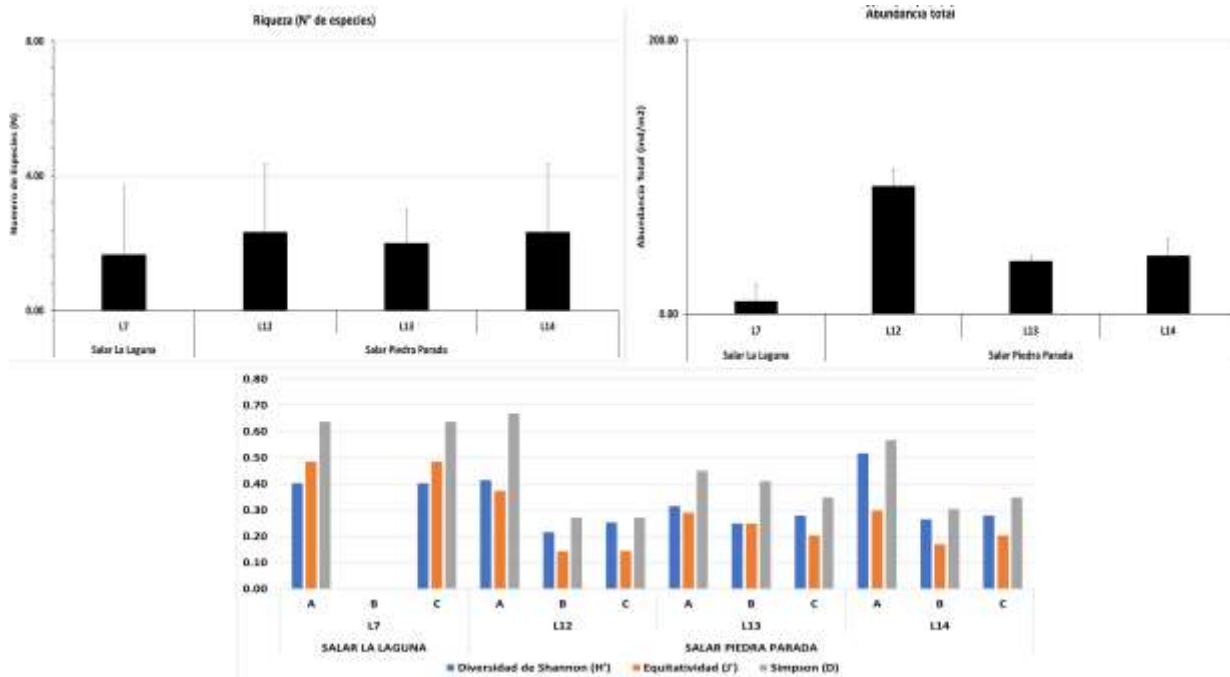
**Tabla 5-28. Abundancia relativa de los taxa de macroinvertebrados bentónicos (ind/m<sup>2</sup>) identificados en las estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.**

Orden	Familia	Taxa	La Laguna	Piedra Parada		
			L7	L12	L13	L14
Clitellata	Tubificida	<i>Naididae indeterminado sp1,</i>	1,33	0,00	0,00	0,00
Insecta	Díptera	<i>Cricotopus sp,</i>	0,00	6,67	0,00	0,00
Insecta	Díptera	<i>Eukiefferiella sp,</i>	1,33	0,00	0,00	4,00
Insecta	Díptera	<i>Podonomus sp,</i>	7,33	0,00	1,33	0,00
Insecta	Díptera	<i>Chironomidae indeterminado sp1,</i>	2,67	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>			12,66	6,67	1,33	4,00

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al índice de diversidad de Shannon, el valor promedio más alto fue de 0,35 en la estación L14 del sector Salar Piedra Parada, dando a entender que se trata de la estación con mayor diversidad de especies. Por otro lado, el índice de Simpson fue de 0,41 sugiriendo la inexistencia de dominancia de algunas especies en dicha estación. Lo anterior se ve reflejado en el resultado del índice de equitatividad, para el cual se obtuvo un valor de 0,42 en promedio, dando a entender que las pocas especies registradas, fueron igualmente representadas (Figura 5-100) y que están fuertemente influenciadas por la baja riqueza y baja abundancia. Por otro lado, la menor diversidad registrada se obtuvo en la estación L7, del Salar La Laguna, con un valor promedio de 0,27. En dicha estación se obtuvo una equitatividad de 0,92, lo que nos señala una buena representatividad de los pocos representantes identificados en la estación, y que explica el resultado del índice de Simpson bajo, equivalente a 0,42, reflejo de la no existencia de una dominancia de una especie particular (Figura 5-100).

**Figura 5-100, Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en las estaciones del Salar La Laguna y Salar Piedra Parada.**



A) Riqueza de especies (N° de taxa identificados); B) Abundancia total (ind/m<sup>2</sup>) y C) Índices de Diversidad, Equitatividad y de Simpson.

Fuente: Elaboración propia.

(e). **Flora Acuática.**

Las estaciones de la zona de sistema de salares no registraron especies dentro de las transectas en dispuestas en el cuerpo de agua, salvo en la estación L7 del sector Salar La Laguna, que presentó un 40% de cobertura de los cuadrantes con la especie *Ruppia sp.* (Figura 5-101). En los bordes del cuerpo de agua, presentaron una costra salina que impedía la proliferación de vegetación. A pesar de esto, en aquellos lugares donde el sustrato se mezclaba con material terrígeno, proliferaban especímenes de *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxichloe andina*, mientras que cuando el sustrato era mayoritariamente terrígeno y no la influencia del cuerpo de agua disminuía, se registró la presencia de *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Calamagrostis velutina* y *Calamagrostis curvula*, en menor escala.

**Figura 5-101. Representantes de la especie *Ruppia sp.* en la zona.**



Fuente: Elaboración propia.



#### (f). Fauna íctica

Como resultado de las prospecciones de peces ejecutadas en las estaciones de la zona de sistemas de salares, no se registran especímenes de Ictiofauna en ninguno de las estaciones.

#### 5.6. Estado de Conservación de las Especies del componente Limnológico

Como resultado de las prospecciones no se registraron especies con problemas de conservación en el componente limnológico.

#### 5.7. Análisis multivariados para identificar zonas con particularidades bióticas específicas,

En la Figura 5-102 se observa el dendrograma del análisis de similitud de Bray Curtis entre estaciones en función de la fauna encontrada, mientras que en la Figura 5-103 se observa la representación espacial del Escalamiento Multidimensional No Métrico (EMD – NM) con base a valores de covariables entre estaciones, en función de las características bióticas de las estaciones.

En el dendrograma se observa la presencia de 7 conglomerados, de derecha a izquierda, se aprecia el conglomerado más grande de cuadrados verdes (Figura 5-102), que involucra todas las estaciones del Sector Sur del Salar de Pedernales (L1, L2, L3, L4 y L5), además del Salar La Laguna (L7) y Salar Piedra Parada (L12, L13 y L14). El resto de las estaciones del Sistema de Salares, forma un grupo independiente, conformado por todas las estaciones del sector Salar Pedernales Norte. El siguiente grupo en extensión, lo forman las estaciones del Sector de Quebradas que Alimentan el Sistema (triángulos azules), los cuales representan las estaciones de Quebrada las Vertientes (L24 y L25), Pastos Largos (L16, L17 y L18) y Colorado (L28), exceptuando el pequeño grupo formado por la estación L19, de la localidad Quebrada Río Negro.

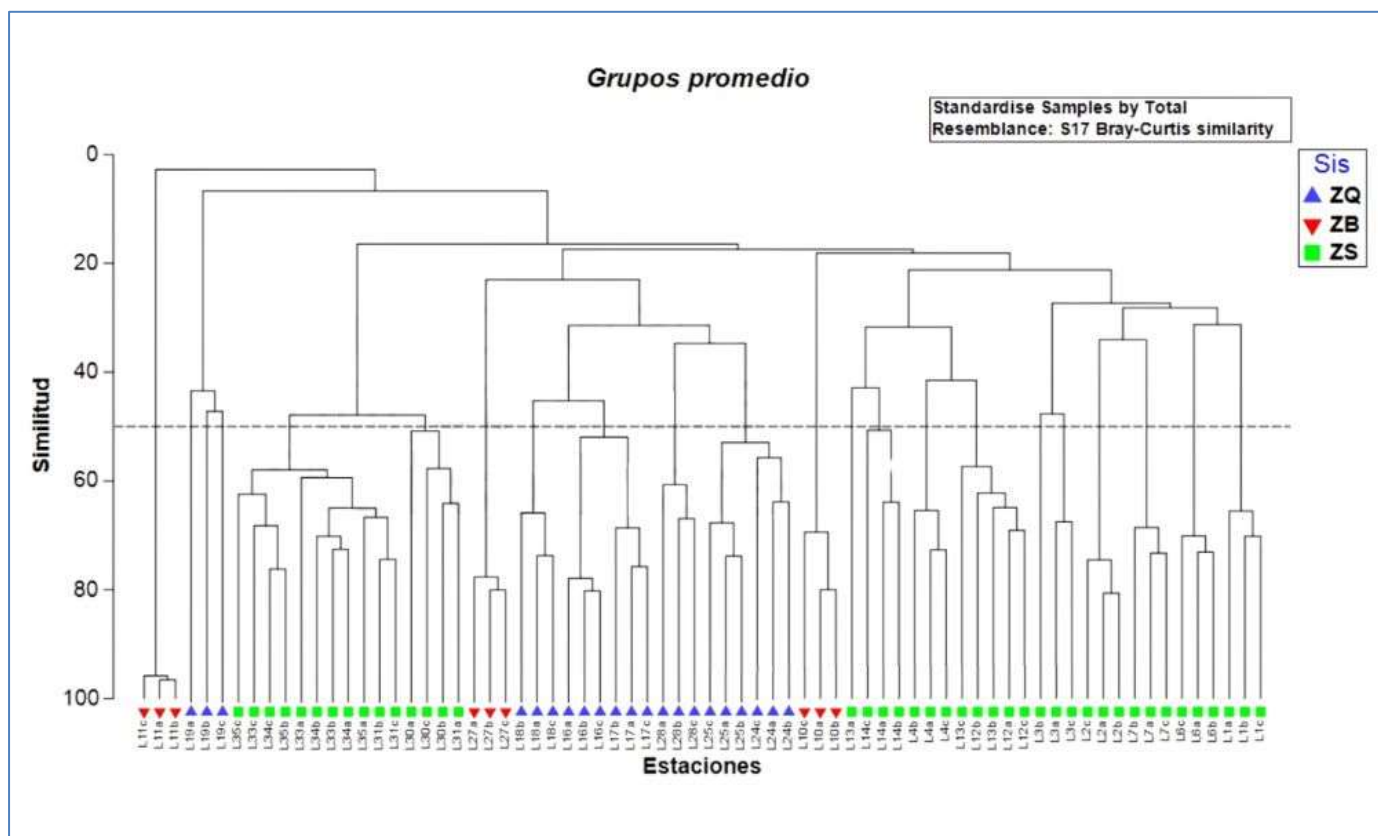
En cuanto al grupo de la zona de Bofedales y Cuerpos de Agua Tipo Canal, este fue el más disímil, pues en sí, forma tres conglomerados independientes según la estación. Así, la estación L11 de la Quebrada La Ola, es probablemente la más diferente de todos los conglomerados faunísticos, mientras que la estación L27 de la Quebrada Leoncito guarda mayor relación con las estaciones de la zona de Quebradas, y la estación L10 de la Quebrada la Ola con la Zona Sur del Salar de Pedernales.

El EMD-NM refuerza esta separación entre estaciones, pues nos señala que tanto la biota muestreada en la Quebrada Río Negro (L19), y la de la estación L11 del Río La Ola, presentan un patrón completamente distanciado del resto de las estaciones. En cuanto al conglomerado central, se puede ver que las estaciones del sector Norte del Salar de Pedernales son bióticamente diferentes al resto de las estaciones, mientras que la de la Zona Quebradas que Alimentan el Sistema, forman un conglomerado



bien característico. Finalmente, por su ubicación, tanto la estación L27 de la Quebrada Leoncito, como la estación L10 del Río La Ola, parecen comportarse como zonas de transición, la primera con mayor similitud biótica con la zona de Quebradas, mientras que L10 con mayor cercanía de sus componentes bióticos a la de Salares.

Figura 5-102. Dendrograma del análisis de similitud de Bray Curtis entre estaciones, en función de la fauna encontrada.

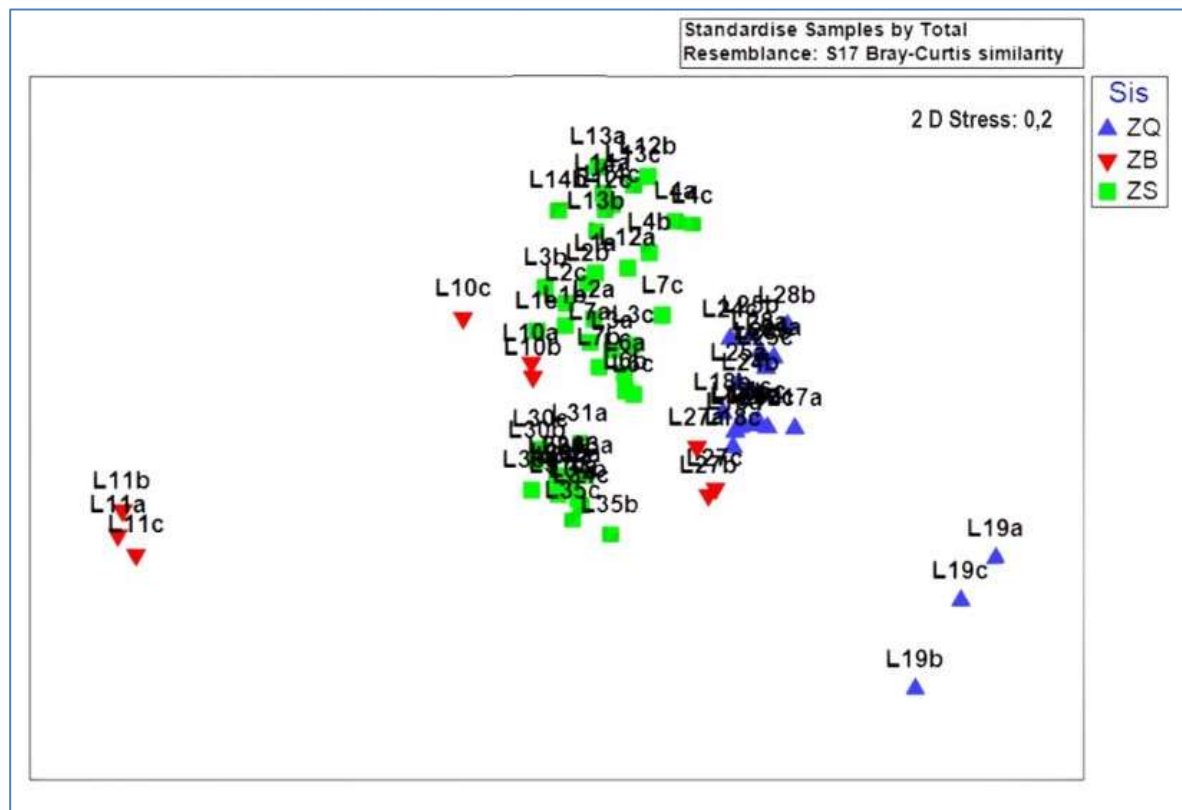


Fuente: Elaboración Propia.





Figura 5-103. Escalamiento Multidimensional No Métrico entre estaciones, en función de la fauna encontrada.



Fuente: Elaboración Propia.



## 6. DISCUSIÓN

En el presente documento se ha presentado la caracterización de los componentes bióticos y abióticos presentes en los distintos ecosistemas acuáticos y aledaños del Salar de Pedernales. Estos últimos, ubicados en Quebradas asociadas o no a la cuenca del Salar, así como a cuencas cercanas de menor envergadura, como el Salar Piedra Parada y el Salar La Laguna.

Como se ha señalado anteriormente, la cuenca del Salar Pedernales es la cuenca endorreica más grande de la Región de Atacama (Álvarez, 1984; DGA-UCN-IRD, 1999), por lo que, debido a su extensión, así como a las diferentes condiciones relacionadas a la pluviometría, era esperable encontrar diferencias en los tipos de ecosistemas acuáticos vinculados a la cuenca. Por otra parte, la atraviesan distintas zonas con composición mineralógica diferenciada, lo que determina la existencia de diferencias en cuanto a las concentraciones de elementos químicos en los cursos de agua. Esto se aprecia en el comportamiento de uno de los parámetros con mayor variabilidad dentro de la cuenca, como es la Conductividad, la cual depende directamente de la concentración de sales y minerales disueltas en el agua, y que se ajusta al modelo de la cuenca sugerido por DGA & ARCADIS (2015). Así, en la zona de Quebradas este parámetro varió entre un máximo de 652  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el sector Quebrada Las Vertientes, y 91,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la parte más alta del sector Quebrada Pastos Largos, En los subsistemas de bofedales mayores y canales, así como en de lagunas y salares, este parámetro subió en un orden de magnitud sus valores, pasando de  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $\text{mS}/\text{cm}$ . En el sistema de bofedales, el valor promedio de conductividad eléctrica más alto se registró en la estación L27, correspondiente al sector Quebrada Leoncito (ie, 4,6  $\text{mS}/\text{cm}$  promedio, DS. 0,01), mientras que la más baja se presentó en la estación L11 del sector Río La Ola (ie, 1,6  $\text{mS}/\text{cm}$  promedio, DS, 0,02), Este parámetro fue incrementándose al pasar al sistema de lagunas y salares, donde se registró en la estación L13, correspondiente al sector Salar Piedra Parada (ie, 38,5  $\text{mS}/\text{cm}$  promedio, DS 3,5), mientras que la más baja se presentó en la estación L2 del sector Salar de Pedernales Sur (ie, 8,9  $\text{mS}/\text{cm}$  promedio, DS, 4,2), con diferencias significativas ( $F = 19,41$ ,  $p=0,000$ ) entre los valores registrados dentro del sistema de lagunas y salares.

Estos resultados refuerzan la clasificación de tres subsistemas hídricos propuestos para la cuenca y que concuerda con los modelos propuestos para la cuenca del salar de Pedernales y con estudios previos realizados en la zona. Podemos distinguir un subsistema ubicado en los sectores elevados del sur y del oeste de la cuenca, denominada zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Pedernales. En esta zona, estudios previos han documentado la existencia de aguas dominadas por concentraciones de  $\text{SO}_4$  o  $\text{HCO}_3$ , con valores superiores a Cl, las cuales suelen caracterizarse por ser más bien diluidas o levemente salobres (DGA-UCN-IRD 1999). De hecho, la presencia de este tipo de aguas descritas se observa en las estaciones L19, del sector Río Negro, L16 y L18 del sector Pastos Largos, L28 del sector Quebrada El Colorado, y L10 del sector Río La Ola, las cuales presentaban diferencias de



hasta un orden de magnitud en los valores de conductividad, si se comparan por ejemplo con las de las estaciones de la zona del Sistema de Salares.

El segundo grupo de aguas correspondiente al sistema de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, los cuales se caracterizan por ser un sistema intermedio. Estudios previos han señalado que en esta zona se registra una mayor composición de Sodio y menos Calcio, asociados principalmente con el Cloruro, que están constituidas de aguas principalmente salobres. En este sentido, las estaciones presentes en los bofedales del sector Quebrada Leoncito y del sector Río La Ola, presentaron este tipo de características, donde se inicia el incremento de la concentración de sales. Los valores de conductividad van aumentando progresivamente mientras las aguas se internan hacia el centro de la cuenca. De hecho, al ingresar el agua, lo hace por las estaciones ubicadas en el sector Pedernales Sur, el cual registra las menores salinidades dentro de la zona de lagunas y salares, aumentando finalmente la conductividad de manera considerable en las estaciones ubicadas en el sector Salar de Pedernales Norte, casi a un costado de la zona más baja del salar. Este patrón también es observado en la cuenca del Salar de La Laguna, donde las mayores conductividades se registran en el centro del salar.

Por otra parte, el tipo de agua en los salares altoandinos de Atacama depende de las características geológicas de sus cuencas, y de las vías evolutivas de sus sistemas (ver Risacher et al. 2006, Risacher & Fritz 2009, Valdés et al. 2023), Las aguas de las vías carbonatadas presentes en la Zona de Quebradas, drenan a través de rocas volcánicas sin azufre ni mineralización, por lo que no se salinizan mucho, mientras que las aguas de las vías cálcicas presentes en la zona de Bofedales y Canales y en la Zona de Salares, drenan a través de terrenos sedimentarios o salmueras de calcio, volviéndose altamente saladas (Valdés et al. 2023), e incluso, desde un punto de vista evolutivo, los lagos salobres se encuentran en una etapa anterior a la formación de salinas, y eventualmente desarrollarán una costra de sal (Risacher et al. 2006). Así, cada subsistema difiere en función de los aportes y características del agua que presentan, Esto explicaría por consiguiente el aumento de la salinidad desde la zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Pedernales, siguiendo por los Bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal y finalizando en el Sistemas y lagunas en salares, donde le máximo se encuentra en las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte, el cual es un conjunto de lagunas, pobres en biota y de origen antrópico ubicadas en el centro del Salar, cercanas al depocentro de la misma. Por otra parte, estos resultados se ajustan a los modelos desarrollados para la cuenca (ver DGA & ARCADIS 2015), lo cual además fue puesto a prueba durante el presente muestreo por el hecho de que la toma de muestras se realizaron en la temporada de verano 2023, fecha en la que se registró un evento de lluvias torrenciales en un periodo de tiempo corto, con la respectiva remoción en masa desde las Quebradas.

En cuanto a la variabilidad de los parámetros físico químicos registrados, podemos señalar que estos pueden verse afectados a distintas escalas espaciales y temporales (Angel et al. 2018). Así, otro factor que se conjuga para explicar la variabilidad de parámetros como la temperatura, el pH y el oxígeno, pueden estar relacionadas con la variabilidad del tiempo atmosférico presente en el lugar y las condiciones de radiación solar presentes en cada zona. En el presente estudio se reportó una alta



variabilidad de la temperatura in situ de las estaciones muestreadas, con registros realizados al amanecer (ie 5:30 am, en verano austral), que bordeaban valores por debajo de los 0°C, pero aquellos que se realizaban pasados a medio día, llegaban fácilmente a 20°C, en particular en la zona de los Salares. Esta variabilidad depende de la oscilación diaria de este parámetro, lo cual es característico en este tipo de ecosistemas (Houston & Hartley 2003b, De La Fuente & Niño 2010). Por ejemplo, en la zona de Quebradas que alimentan el sistema, la temperatura varía entre un máximo de 18,6°C en el sector Quebrada Pastos Largos, y un mínimo de 2,6°C en el sector Quebrada Las Vertientes, encontrándose diferencias significativas entre las estaciones de muestreo. Sin embargo, esta diferencia está dada por la hora en que se realizó el muestreo, ya que en Las Vertientes se muestreo a las 8:30 AM, mientras que en Pastos Largos a las 14:00 PM. Esta situación también ocurrió en el caso del subsistema de Salares, la temperatura varió entre 24,7°C en el sector Salar de Pedernales Sur, y 2,9°C en el sector Salar Piedra Parada. Estas diferencias estarían relacionadas con la variabilidad diaria de la temperatura ambiental, por lo que los valores varían respecto de la hora en la que se realiza el muestreo.

En otras ocasiones, las diferencias pueden estar dadas por las características geográficas del curso de agua, y en el caso de la temperatura, a pesar de la cercanía entre los cursos de agua, así como por la hora en que se muestreo. Este fue el caso del sistema de bofedales y cuerpos de agua tipo canal, donde las temperaturas oscilaron entre 14,4°C en el sector Quebrada Leoncito, y 22,4°C en el sector Río La Ola, con diferencias significativas entre las estaciones, siendo ambas muestreadas durante la tarde del mismo día. La única diferencia entre ambas localidades fue el tipo de subhábitat en que se realizó el muestreo, donde, por ejemplo, en Quebrada Leoncito correspondió a pequeñas pozas someras entre los bofedales y en el curso del Río La Ola, un curso de agua de mayor profundidad. Así, otros parámetros como el oxígeno podrían responder a la variabilidad tanto de la profundidad del cuerpo de agua, y por la presencia de fuerzas físicas que faciliten la mezcla de la columna de agua. Esto ha sido mencionado como un factor clave en ambientes someros, (Lafferty & Kuris 1999). Por ejemplo, en el sistema de lagunas en salares la característica de ser aguas someras, por lo que el oxígeno disuelto vario dependiendo de la intensidad del viento, la cual abate el cuerpo de agua oxigenando la columna, a pesar de que los fondos de los cuerpos de agua fuesen arcillosos, y por consecuencia, reductores y anóxicos por naturaleza.

En relación con el pH, la alcalinidad de las aguas parece ser un factor decisivo en los valores observados. Por ejemplo, este parámetro varió entre 9,6 y 7,7 en la Zona de Quebradas no encontrándose diferencias significativas entre las estaciones, mientras que en el sistema de bofedales y canales los valores registrados fueron ente 9,7 y 8,9. La mineralogía del lugar parece ser crucial en la variabilidad de este parámetro, situación que ya ha sido reportada en otros estudios realizados en la zona. Por ejemplo, el aumento limitado de la alcalinidad en las afluencias diluidas como es el caso de la zona del sistema de Quebradas que alimentan el sistema, podría explicarse por la precipitación de minerales carbonatados pero en los ríos y los rezumaderos como los encontrados en la zona de Bofedales y Canales, así como en las lagunas de salares, el pH puede estar parcialmente controlado por la atmósfera (intercambio de CO<sub>2</sub>) (Risacher & Fritz 2009).



En relación con la composición química del cuerpo de agua en las estaciones del subsistema de Quebradas, solo se pudo recolectar agua para los análisis químicos de las siguientes 6 estaciones: L24 correspondiente a al sector Quebrada Las Vertientes; L19 correspondiente al sector Quebrada Río Negro; L16, L17 y L18, correspondientes al sector Quebrada Pastos Largos, y; L28 correspondiente al sector Quebrada El Colorado. Al analizar los valores obtenidos, se pudo observar que existieron parámetros que presentaron valores bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo (cadmio, cianuro, cobalto, mercurio, níquel, plata, selenio, Razón RAS y Plomo, aceites y grasas, y, sólidos sedimentables). Así mismo, se observó que la mayor parte de los parámetros que mostraron valores cuantificables presentaban valores por sobre los límites establecidos en la normativa de referencia, sin embargo, un total de 3 parámetros presentaron valores que estuvieron por sobre los límites establecidos en la norma de referencia.

En la Zona de Quebradas que Alimentan la Cuenca, de los 27 metales analizados, 9 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y solo tres estuvieron por sobre los límites de la NCh 1,333, Of,78/1987, los cuales fueron hierro (ie, en la estación L19 de Río Negro, con 7,35 mg/L), manganeso (ie, en tres estaciones, L19 en Río Negro con 2,16 mg/L y L17 y L18 en Pastos Largos con 0,5 y 0,433 mg/L respectivamente) y sodio porcentual (ie, L24 en La Vertiente con 54,0%). El resto de los elementos analizados se encontraron por valores debajo de la normativa vigente, relacionada con los requisitos del agua para riego. Estas características hacen del agua en este subsistema, un recurso hídrico excepcional en cuanto a calidad ya sea para el uso de actividades industriales e incluso, para el consumo humano, lo que explicaría las distintas obras de captación observadas en las zonas estudiadas.

En la Zona de Bofedales y Canales Artificiales, los 27 metales analizados, 7 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y solo 8 estuvieron por sobre los límites de la NCh 1,333, Of,78/1987, los cuales fueron arsénico (ie, en la estación L27 de Quebrada el Leoncito, boro en todas las estaciones, al igual que cloruro y litio cítrico, cobre en la estación L10 del Río La Ola, molibdeno en la estación L27 de la Quebrada Leoncito al igual que molibdeno y litio crítico, y sulfato en la estación L27 de la Quebrada Leoncito y L10 de la Quebrada del Río la Ola. El resto de los elementos analizados se encontraron por valores debajo de la normativa vigente, relacionada con los requisitos del agua para riego.

Para el caso de la Zona de Salares, de los 27 metales analizados, 8 presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, y 9 estuvieron por sobre los límites de la NCh 1,333, Of,78/1987, los cuales fueron arsénico, boro, cloruro, litio, y sodio en todas las estaciones. Sin embargo, estudios previos han reportado concentraciones de arsénico, cadmio y cobre en aguas de 5,5 mg L<sup>-1</sup>, 0,001 mg L<sup>-1</sup> y 0,001 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Tapia et al 2010), mientras que Valdés et al (2023) reporto valores de 9,3 mg L<sup>-1</sup>, < 0,002 mg L<sup>-1</sup> y 0,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Estos resultados sugieren una alta variabilidad temporal y espacial de la química del agua de estos sistemas acuáticos, probablemente marcada por la variabilidad estacional, siendo la lluvia y la insolación



los factores climáticos más importantes que influyen en la química del agua, tal como lo menciona Valdés y colaboradores (2023).

En cuanto al caudal en la Zona de Quebradas que alimentan la cuenca, este se pudo determinar solo en tres de sus estaciones, correspondientes a la estación C9 del sector Quebrada Pastos Largos con un promedio de 0,12 l/seg, estación C13 del sector Quebrada Las Vertientes con un promedio de 0,15 l/seg, y la estación L28 del sector Quebrada El Colorado con 0,02 l/seg. En general, en el sistema de Quebradas no presentó cursos de agua definidos, y en los casos de presentarse, éstos contaron con baja profundidad. En el caso de las estaciones de la Zona de bofedales y canales artificiales, se pudo determinar el caudal en solo 2 de sus estaciones, cambiando la posición de la estación C3 a la zona de la estación de limnología L10 del sector Río La Ola, con un caudal promedio de 5,57 l/seg, mientras que en el sector Quebrada Leoncito, en la estación C4, cuyo valor promedio del caudal fue de 17,15 l/seg. Cabe señalar que no se determinó Caudal en el sistema de Salares, por tratarse de cuerpos de agua de tipo lagunar, somera y de escaso movimiento.

Estas características fisicoquímicas podrían explicar la riqueza y abundancia de las distintas zonas estudiadas. Por ejemplo, el bajo caudal de este último subsistema, así como lo somero del cuerpo de agua, facilita el abatimiento de la columna de agua por el viento, evitando así la estratificación del agua y ayuda a la oxigenación del cuerpo de agua, lo cual ofrece condiciones óptimas para la proliferación de ciertos grupos bióticos. Esta condición ha sido reportada en otros humedales con características someras y expuestos al viento (Dorador et al. 2009, Perillo et al. 2019) y podrían explicar, las diferencias observadas en los grupos de organismos, ya que las características de estos ambiente extremo de alta aridez, salinidad en el caso de los salares, altos niveles de radiación UV y concentraciones naturalmente altas de arsénico (Tapia et al. 2019) representa un filtro ambiental severo, donde los poliextremófilos han evolucionado diversas estrategias conductuales y metabólicas para sobrevivir (Albarracín et al. 2016), lo cual explica la singular diversidad registrada en estudios anteriores que va desde bacterias (Dorador et al. 2013; Aguilar et al. 2016; Dorador et al. 2020) hasta invertebrados y vertebrados (por ejemplo, Collado et al. 2011; Collado y Méndez, 2012, 2013; Cuevas et al. 2020). Algunos estudios han descrito la presencia gremios del fitoplancton en función del uso que le dan al espacio a nivel de microhábitat, proporcionando información sobre la resistencia a perturbaciones como la turbulencia del agua, la baja disponibilidad de nutrientes y e incluso las altas concentraciones a ciertos metales, que, en otras condiciones, podrían incluso a llegar a ser letales (Passy, 2007). De hecho, la presencia de oxígeno y luz, aunque sea en bajas concentraciones, parecen en grandes cantidades, propicia la proliferación de fitoplancton, en particular clorófitos, cianofitas y diatomeas en cuerpos de agua altioplánicos (Dorador et al. (2003), Fritz et al. (2012), Márquez- García et al. (2009), Díaz y Maidana (2005)), observándose en el presente estudio, un incremento singular de estas especies en las estaciones vinculadas al sistema de lagunas en salares, Por ejemplo, en el subsistema de Quebradas, la comunidad de microalgas planctónicas presentes estuvo compuesta por 39 especies, de las cuales la mayoría pertenecieron a la Clase Bacillariophyceae (Diatomeas) con 8 familias, y solo una especie representante de la familia



Euglenaceae, de la clase Clase Euglenida, del Reino Protista, Desde el punto de vista de la abundancia específica, la especie más recurrente fue *Navicula salinicola*, la cual representó el 8,6% de las abundancias en todas las estaciones, En cuanto a la riqueza, el mayor número de especies se registró en la L25 de las Vertientes, con 28 especies,

En el sistema de Bofedales y Canales, la comunidad de microalgas planctónicas presentó un total de 46 especies, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 13 familias, siendo las familias más abundantes Bacillariaceae con 27% y Catenulaceae con 26%, donde la mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L11 de la Quebrada del Río la Ola con, con 31 especies, A nivel de especies, *Fragilaria capucina* perteneciente a la familia Fragilariales, registró el mayor porcentaje de abundancias, con un 6,3%, mientras que, a nivel espacial, En cuanto al subsistema de salares, este presentó una alta riqueza de especies, registrando un total de 68 taxa, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 18 familias, Dentro de las familias, las 3 familias más abundantes, que representaron el 73% de las abundancias, fueron las familias Catenulaceae con 32% de las abundancias, seguida de Bacillariales con 24,7% de las abundancias, y Naviculaceae con 13% de las abundancias, A nivel de especies, la más abundante fue *Navicula veneta*, la cual obtuvo un 6,1% de las abundancias, A nivel espacial, se observó un claro patrón en la distribución de especies, con una mayor cantidad de especies en las estaciones del sector Salar de Pedernales Sur, y un mínimo en las estaciones del sector Salar de Pedernales Norte,

La comunidad de microalgas bentónicas presentó un total de 35 especies, con el mayor número de especies observado en la estación L25 con 24 especies, la mayoría de las taxa observadas pertenecen a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 6 familias, y una especie de la clase Euglenida, del reino protozoo, De las familias de diatomeas, 3 representan el 87% de las abundancias, siendo las más recurrentes la familia Bacillariaceae con 38,5% de las abundancias, seguida de la familia Naviculaceae con 32% de las abundancias, y la familia Catenulaceae con 17%. A nivel de especies, *Navicula parinacota* y *Navicula salinicola* presentaron las mayores abundancias, encontrándose las mayores abundancias en la estación L25 del sector Quebrada Las Vertientes. En el subsistema de Bofedales la comunidad de microalgas bentónicas presentó un total de 31 especies, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 8 familias, siendo las más recurrentes Bacillariaceae con 41,3% de las abundancias, seguida de Catenulaceae con 22% de las abundancias, y Naviculacea con 12%, mientras que especialmente la mayor riqueza de especies se obtuvo en la estación L27 del sector Quebrada Leoncito, con 19 especies. A nivel de especies, *Nitzschia hantzschiana* obtuvo el mayor porcentaje de representatividad, el cual fue del 8,8% de los registros, En el subsistema de Salares, se registró un total de 57 especies, todas pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae (diatomeas), con representantes de 13 familias, donde sólo 3 representaron al 68% de las abundancias, siendo las más recurrentes las familias Catenulaceae con 31%, Bacillariaceae con 23% de las abundancias, seguido de Naviculacea con 15%, A nivel de especies, *Amphora copulatacon* y *Amphora sp,3*, obtuvieron abundancias correspondientes al 5 % del total,



A nivel general, diversos estudios han reconocido el papel crucial de las diatomeas como principales productores primarios y contribuyentes de una gran diversidad de Fito bentos y plánctones presentes en este tipo de ambientes (Rumrich et al. 2000, Iltis et al. 1984). De hecho, una de las peculiaridades de estos grupos en estos sistemas es la alta tasa de recambio de especies, donde el clima y las características del paisaje local son los principales impulsores de la composición comunitaria, y han demostrado ser influencias claves en los patrones de distribución biogeográfica para las especies de diatomeas (Benito et al. 2018a, b), detectándose un fuerte efecto en la composición de la comunidad, aunque restringido por las limitaciones de dispersión específicas de cada especie (Heine-Fuster et al. 2021). Desde el punto de vista funcional, la mayor abundancia de diatomeas estaría por consiguiente sugiriendo que, el sistema de lagunas de salares soporta una mayor productividad primaria que el resto de los sistemas analizados, Sin embargo, existe similitud entre los ensamblajes comunitarios de los tres sistemas, lo que puede explicarse por su proximidad e historias climáticas, geomorfológicas y otras historias regionales compartidas, tal como ha sido observado en otros sistemas similares (Flores-Varas et al. 2021).

En cuanto los invertebrados presentes en la columna de agua, este fue taxonómicamente pobre en el subsistema de Quebradas, y en la práctica, mayoritariamente correspondieron a insectos de las familias Chironomidae, Drosophilidae y Ephyridae que probablemente fueron arrastrados por la corriente, Además, se detectó la presencia de copépodos Cyclopidae y Harpacticoidea. La mayor riqueza de especies promedio fue registrada en la estación L24 del sector Quebrada Las Vertientes con 9 especies siendo los Chironomidos del género *Cricotopus sp* los que estuvieron mejor representados, con un 29% de las abundancias totales, En cuanto los subsistemas de Bofedales y salares, el zooplancton estuvo representado por la presencia de especímenes de crustáceos la clase de Branchiopoda, Malacostraca, Ostracoda y Copepoda, así como de insectos de la familia Chironomidae y Pseudococcidae. En el caso particular del subsistema de Bofedales, la estación L11 del Río la Ola se detectó una gran abundancia de especímenes de *Chydorus sp.*, con una abundancia promedio total de 5369 ind/mm<sup>3</sup>, esta especie represento por si sola el 93,5% de la abundancia, siendo el grupo más abundante, seguido de ejemplares de la familia Hyalellidae y de la familia Cyclopoidea, ambos con 0,2% de representatividad, En el subsistema de salares por su parte, la riqueza de especies promedio entre 6 y 8 especies en las estaciones del Sector Sur de Pedernales, y 2 y 3 en el resto de las estaciones. Las mayores diferencias se registraron en la abundancia total, ya que en la estación L4 se detectó una gran abundancia de especímenes de Harpacticoidea sp., con una abundancia promedio total de 589 ind/mm<sup>3</sup>, La menos abundante de las estaciones fue L7 del Salar la Laguna con un promedio de 8 ind/mm<sup>3</sup>.

En relación con los macroinvertebrados, en el subsistema de Quebradas se registraron pocas especies, debido probablemente al tipo de sustrato que existente, el cual fue principalmente de cantos y rodados, La comunidad estuvo representada por cinco familias de insectos, Chironomidae, Chrysididae, Ephyridae, ephemeroptera y Syrphidae. Además, se detectó la presencia de copépodos Cyclopidae y Harpacticoidea, quienes en su conjunto representan el 81,8% de las abundancias. La mayor riqueza de especies promedio fue registrada en la estación L28 del sector Quebrada El Colorado, con un promedio





de 4 especies. En términos de abundancia, el grupo más abundante fueron los Chironómidos del género *Cricotopus* con un 45% de representatividad. En el sistema de Bofedales y Cuerpos de agua tipo Canal, por su parte, los macroinvertebrados estuvieron representados por la presencia de tres familias de insectos, Chironomidae, Dolichopodidae y Elmidae, detectándose además la presencia de ostrácodos y malacostráceos. Todos estos grupos representaron el 76,8% de las abundancias, cuya mayor riqueza de especies promedio fue registrada en la estación L10 del sector Río La Ola, con un promedio de 7 especies aproximadamente, y una abundancia promedio total de 182 ind/mm<sup>2</sup>, En términos de abundancia, el grupo más abundante fueron los representantes del género *Hyalella* y del género *Naididae*, ambas con 20,7% de representatividad total dentro del sistema. En el Sistema de Lagunas de Salares, los macroinvertebrados estuvieron representados por dos especies de la familia Chironomidae, *Cricotopus tremulus* y *Podonomus sp.* Además, se detectó la presencia de ostrácodos y malacostráceos, A nivel espacial, la mayor riqueza de especies se registró en las estaciones del sector Salar de Pedernales Sur, con registros entre 4 y 6 especies, y una abundancia cercana a los 100 ind/m<sup>2</sup>.

La química del agua y la salinidad se han señalado como los predictores ambientales más influyentes en la diversidad de invertebrados (Menegotto et al. 2019), por lo que esto podría explicar la baja abundancia registrada de estos grupos en estos ecosistemas. Sin embargo, la sobrevivencia a este tipo de ambientes se relaciona con la fisiología de los organismos, así es esencial un amplio rango de tolerancia a las concentraciones salinas para poder sobrevivir en estos sistemas, por lo que se trata de animales eurihalinos, y que se adaptan a un amplio rango de salinidades. El ejemplo clásico en la literatura es los representantes del género *Artemia* y algunas larvas de mosquitos, los cuales son considerados animales eurihalinos extremadamente tolerantes, De hecho, una peculiaridad de estos grupos de invertebrados que viven en este tipo de ambientes es la capacidad de incorporar agua entre el 5% y el 8% de su propia masa corporal al día, con lo que el agua y los iones pasan a través del epitelio intestinal. La permeabilidad superficial es relativamente baja en comparación con la mayoría de los invertebrados de cuerpos de agua dulce, por lo que la fuga hacia el exterior del agua así obtenida es reducida, pero la consecuencia inevitable de beber es una carga de sal, que debe ser excretada. Así esto presupone una adaptación fisiológica notable para hacer frente a la alta salinidad de estos sistemas. En este sentido, por ejemplo la *Artemia* adulta, posee glándulas salinas en las branquias para realizar la expulsión de con una alta actividad de la bomba de sodio (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPas) (Wilmer et al. 2005).

En lo que respecta a la flora acuática, en el subsistema de Quebradas, los diferentes cuerpos de agua analizados prácticamente carecieron de especies, sin embargo, estaban dominadas principalmente por especies de las familias Cyperaceae, Juncaceae y Poaceae, como *Zameioscirpus atacamensis*, *Oxychloe andina*, *Calamagrostis velutina* y *Acena magallanica*, esta última, principalmente en zonas sin agua, Por su parte, en el subsistema de bofedales se detectó la presencia de tres especies de plantas acuáticas: *Potamogeton pusillus*, *Ruppia philifolia* y una especie no identificada, perteneciente al género *Chara*. La vegetación de ribera estaba dominada por especies de la familia Poaceae, que representaban por sí solas el 54% de las coberturas a nivel de transectos. Dentro de este grupo, *Calamagrostis eminens var, Eminens*



fue la especie que presentó mayores coberturas, con un 27% del total de estaciones presentes en el subsistema de bofedales, seguida de *Calamagrostis velutina* con un 22%, Mientras que en el subsistema de lagunas de salares, sólo se detectó la presencia de un representante del género *Ruppia* en la estación L7 del sector Salar La Laguna.

En cuanto a las prospecciones de peces ejecutadas en el presente estudio, no se registraron especímenes de Ictiofauna en ninguna de las estaciones analizadas de los distintos subsistemas. Consultados a personas de las comunidades, además de los registros históricos, se ha señalado la existencia de truchas en el sector del Río La Ola. Cabe señalar que, el hecho de no tener registros de ictiofauna en el presente estudio no significa que no existan especies de peces en el área de estudio, sino que probablemente, se requiera un mayor tiempo de caracterización para lograr un registró positivo de especies ícticas en los escasos cuerpos de agua que se mantienen constantes en el tiempo.

Finalmente, otro factor se vincula con los caudales, pues en el presente estudio hemos constado que estos disminuyen su velocidad mientras nos acercamos al centro de la cuenca. En este punto cabe señalar que del total de estaciones prospectadas en el presente estudio (ie, 35), al menos 10 estaba mayoritariamente secas, reflejando una reducción del área de vegetación activa de los SVAHT e incluso de la presencia de especies azonales.

Dos situaciones podrían explicar el cambio en la composición y estructura de la vegetación presente en los bofedales y sistemas de Quebradas que alimentan la cuenca, la primera reducción o cambio en el patrón de precipitaciones en la zona y extracción de agua del sistema hídrico. Para el primero, se ha propuesto que el Cambio Climático altera regímenes pluviométricos a lo largo del país (Rech et al. 2010). De hecho, se ha reportado que cada vez es más recurrente la presencia de eventos extremos, con lluvias torrenciales en reducidos periodos de tiempo, lo que origina activación de Quebradas con aluviones destructivos en algunas zonas. Por otra parte, la extensa proliferación de mecanismos para la extracción de agua, dado que estos sistemas constituyen el principal recurso de agua dulce en estas zonas.

Ahora bien, la reducción de bofedales y la reducción de los cursos de agua descritas en el presente estudio, probablemente disminuye la capacidad de retención de agua del sistema, y ante la ocurrencia de eventos extremos, no exista un mecanismo que permita el llenado de los acuíferos, generando que las precipitaciones escurran de forma violenta por las Quebradas, tiempo que no permite que la escorrentía infiltre, lo cual impide la recarga del sistema hídrico del humedal. Esta situación fue corroborada mientras se realizaba el presente estudio, donde se pudo observar la remoción en masa generada por un abrupto incremento de precipitaciones en la zona, Por otra parte, es importante señalar que los salares altoandinos de Atacama se encuentran en una etapa estacionaria (Risacher et al. 2006), lo que sugiere un balance hidro geoquímico neutro en la zona de estudio, lo que podría ser alterado significativamente por una variedad de factores naturales o antropogénicos (por ejemplo, el cambio climático, la actividad industrial, entre otros) (Valdés et al. 2023) como por ejemplo, cambios en el



régimen pluviométrico o reducción del aporte hídrico y el subsecuente cambio en los patrones de biodiversidad.

En relación con la zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico y los bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, estas se caracterizaban por presentar dominancia vegetacional de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*, los cuales se asocian a niveles hídricos permanentes, cursos de agua corrientes o suelos sobresaturados, y suelos no salinos, Estas especies suelen encontrarse en asociación con especímenes de *Calamagrostis velutina* en la rivera. En cuanto a la fauna, fue normal observar manadas de guanacos (*Lama guanicoe*) y de Vicuñas (*Vicugna vicugna*) en las cercanías de los cursos de agua de estos sistemas. En aquellos lugares donde no existía agua, y los suelos no eran de características salinas, se detectó la presencia de la especie *Acena magallanica*, lo que sugiere una transición de un ambiente de tipo bofedal a otro de vegas. Por otra parte, dada las características del lugar, se puede indicar que la afluencia de agua en el curso principal está directamente relacionada con las características pluviométricas del lugar, por lo que, en aquellos periodos con faltas de lluvias significativas, no es de extrañar que no se observe un curso de agua definido, Por otra parte, en relación con las presiones antrópicas, se observó instalaciones de cañerías de mediano tamaño en la mayoría de las Quebradas. En el caso del Subsistema de Lagunas de Salares, este se caracterizó por una baja presencia de especies vegetacionales, y una mayor presencia de aves, principalmente Parina Grande (*Phoenicoparrus andinus*) y gaviotas andinas (*Chroicocephalus serranus*), además de observarse grupos de Guanacos (*Lama guanicoe*) y asnos asilvestrados (*Equus asinus*). En el sector Salar de Pedernales Sur, se pudo registrar la presencia de especímenes de *Zameioscirpus atacamensis* y *Oxychloe andina*, y en el límite con zonas más terrestres se registró la presencia de *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Calamagrostis velutina* y *Calamagrostis curvula* y *Ruppia philifolia*, principalmente en la zona de riveras, mientras que en el resto de las estaciones se registró la presencia de una notoria costra salina, pero que en este caso impide la proliferación de vegetación en su rivera.

En el subsistema de Quebradas que alimentan el sistema hídrico, solo se detectó la presencia de cursos de agua definidos o mediamente definidos (presencia de pozas de agua) en las estaciones L24 y L25 del sector Quebrada Las Vertientes, L19 del sector Río Negro, así como las estaciones L16, L17 y L18 del sector Quebrada Pastos Largos, L22 y L23 del sector Quebrada Las Tinajas y estación L28 del sector Quebrada El Colorado. En este mismo sentido, en el subsistema de Bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, no se observó la presencia de agua en las estaciones L9 del sector Río La Ola ni L26 del sector Quebrada Leoncito.

Las condiciones ambientales mencionadas, junto con el elevado aislamiento geográfico, han ejercido fuertes presiones selectivas sobre la vegetación y fauna locales, promoviendo un elevado endemismo tanto de vertebrados como de invertebrados en estas cuencas (e.g, Vila et al. 2007; Collado y Méndez, 2013; Vila et al. 2013). Cabe destacar que, además de altas tasas de endemismo, estos paisajes acuáticos también presentan una elevada riqueza de especies en comparación con las extensas zonas desérticas adyacentes a los salares (Ahumada et al. 2011).



---

Así, la alta productividad generada por diatomeas y la presencia de productores secundarios, mantiene las intrincadas conexiones alimenticias del sistema, lo que a su vez mantiene la alta abundancia de aves, como es el caso de las poblaciones de flamencos. Por este motivo, es de gran importancia la abundancia de estos grupos como indicador de importancia ecológica para la biota acuática, ya que son el eslabón central de la mantención de grupos superiores dentro del sistema. Esto queda de manifiesto al observar los patrones de agrupación por conglomerados donde sin lugar a duda la conexión natural de los tres sistemas se observa claramente. Sin embargo, llama además la atención la separación de aquellas zonas que por sus características y niveles de intervención antrópica no son óptimas para la subsistencia, como es el caso de las lagunas ubicadas en el sector norte del salar de pedernales.



## 7. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se describen los componentes bióticos y abióticos presentes en Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área activa de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) del Salar de Pedernales, así como los ubicados en cuencas cercanas (Salar Piedra Parada y Salar La Laguna), en la Quebrada Leoncito, Quebrada Asiento, y en los sectores que forman parte de la Medida RC-01, correspondientes a las Quebradas aledañas de agua dulce y la cabecera sur del Río La Ola. Para tales efectos se evaluó las características de hábitat en los Ecosistemas Acuáticos Continentales dentro del área de estudio, identificándose claramente la presencia de tres tipos de aguas, a saber, dulces, salobres y saladas, las cuales depende de las características geológicas de sus cuencas, y de las vías evolutivas de sus sistemas. De esta manera, las aguas cercanas a la zona central del salar serían de vía evolutiva sulfatada neutras, mientras que, en las estaciones presentes en la zona de Quebradas, estas serían de vía evolutiva carbonatada, tal como ha sido consignado en estudios anteriores. Así, podemos señalar que dentro del sistema existen tres sistemas interconectados en una sola dirección que iría desde mayor altura a menor altura, en el centro del salar. Las zonas identificadas serían la 1) Zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Pedernales, una zona intermedia denominada 2) Bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, naturales o artificiales y finalmente una zona 3 en la que aumenta drásticamente la salinidad, disminuyendo la velocidad de la corriente, donde tiende a depositarse minerales y que hemos nombrado zona de sistemas y lagunas en salares.

Las características físicas y químicas del agua y de los sedimentos guardo relación directa con este patrón observado, siendo el parámetro ambiental más relevante en la caracterización del sistema la Conductividad, la cual cambia hasta en un grado de magnitud mientras pasamos desde el subsistema de Quebradas que alimentan la cuenca, hasta el subsistema de lagunas en salares y lo cual responde a la mineralogía de cada uno de estos sistemas, siendo la zona de salar, el sumidero del sistema. Por otra parte, el pH responde a la alcalinidad y la presencia de sales presentes en el sistema, lo que daría cuenta de la composición química de la cuenca.

Otros parámetros ambientales, responde más bien a la variabilidad diaria y local, como es el caso del oxígeno, la temperatura. En relación a esto, el Salar de Pedernales exhibe las condiciones ambientales típicas de los sistemas andinos de altura, los cuales son ambientes extremadamente inusuales y frágiles, caracterizados por una importante variabilidad espacial y temporal en la salinidad (desde agua dulce hasta agua saturada de sal), gran amplitud térmica diaria (de  $-10$  a  $+25^{\circ}\text{C}$ ), cuya temperatura media anual es  $<5^{\circ}\text{C}$ , baja presión atmosférica, las mayores radiaciones solares registradas en el mundo (más de  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ ), y altas concentraciones de metales pesados y metaloides. Estos elementos provienen de la disolución de minerales en las montañas andinas, y se acumulan frecuentemente en lagos y salares al centro de la cuenca, tal como ocurre en otros sistemas de salares del desierto de Atacama, y cuya toxicidad depende de su concentración y especiación.



Sin embargo, en las zonas de quebradas, el agua tiene una menor concentración de estos minerales, pues proviene del derretimiento y precipitaciones que ocurren en las zonas de mayor altura. Por consiguiente, las precipitaciones son el principal impulsor de mayores recargas de la cuenca y del salar, en cuya zona más baja genera mayores tasas de evaporación del agua y acumulación de minerales, lo que explica el incremento de la salinidad en dicha zona.

Todas las características de los cuerpos de agua se vinculan con la presencia y proliferación de ciertas especies, las cuales forman parte del sistema biótico, el cual se caracteriza por un fuerte endemismo y una clara adaptación a la sobrevivencia a condiciones extremas y altamente fluctuantes en el tiempo. De esta manera hemos descrito la biota acuática de los sistemas dentro del área, considerando componentes bentónicos (fitobentos y zoobentos) y planctónicos (fitoplancton y zooplancton), fauna íctica y flora acuática. De las especies identificadas en los sistemas hídricos, ninguna de ellas esta se encontraba en alguna categoría de conservación actualmente, pero es importante señalar que es muy poca la información existente tanto del nivel de endemismo, así como del estado de conservación de las especies en los ecosistemas acuáticos continentales.

Sin embargo, podemos concluir que las aguas sostienen un ecosistema complejo y único en el que la riqueza de especies, vegetales y animales está directamente relacionada con la existencia del recurso hídrico. Esto pone de manifiesto la compleja situación observada la mayoría de los bofedales en Quebradas, y el subsistema de bofedales mayores, donde la reducción de caudales puede ser crucial para la sobrevivencia de especies.

Así, el principal grupo presente en la zona de quebradas fue la vegetación, la cual estructura el ecosistema desde el punto de vista de la presencia de grandes mamíferos, así como de aves. La mayor abundancia de los grupos faunísticos estudiados fue registrada por los insectos, los cuales son probablemente el principal ítem alimenticio dentro de esta zona. Si bien, este grupo es esencial en la composición del zoobentos, creemos que también cumple un rol fundamental en la columna de agua, ya sea en pequeñas pozas entre la vegetación, o cuando existe remoción desde el fondo, donde puede ser parte del alimento de especies superiores como anfibios y peces. Sin embargo, es necesario hacer estudios a nivel estacional para determinar cuando ocurre la mayor abundancia de especies dentro de estas zonas.

Mientras nos acercamos al centro de la cuenca, la importancia de los grupos de invertebrados se reduce, tomando un rol preponderante la presencia de diatomeas. De hecho, este grupo del fitoplancton pasa a ser el más frecuente en la zona, tal como ha sido registrado en otros salares. Estos grupos son ampliamente consumidos por especies emblemáticas como los flamencos, principalmente *Surirella sella*, la cual también fue registrada en el presente estudio. Ya al centro del Salar, las especies comienza a reducirse drásticamente, debido probablemente al incremento de la Salinidad en la zona norte del Salar. Por consiguiente, a nivel de hábitat es evidente la conexión que existe entre los tres subsistemas, los cuales incluso puede llegar a ser cruciales para la mantención de las características de la cuenca en



general. Así, es de crucial importancia mantener el flujo de caudales desde las Quebradas hacia los bofedales mayores, los cuales funcionarían como grandes reservorios de agua que lentamente proveen agua al centro de la cuenca, donde se encuentra las lagunas salobres.

Por otra parte, podríamos sugerir que, para el caso de la Zona de Quebradas que alimentan el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Pedernales, las Quebradas de Pastos Largos, Rio Negro y Las vertientes, así como aquellas que alimentan al bofedal de la Quebrada Leoncito, son relevantes para la mantención de los cursos de agua dentro del sistema. De hecho, este último funciona como reservorio de agua en el Subsistema de bofedales mayores y cuerpos de agua tipo canal, por lo que eso explicaría importancia ecológica para la manutención del sistema, Finalmente, la singularidad de las lagunas de salares, en particular del Salar Piedra Parada, probablemente el más prístino de todas las lagunas, así como la riqueza de especies del sector sur del salar de Pedernales, hacen de ellos zonas de gran importancia ecológica para la biota acuática y avifauna característica de este tipo de ambientes,

De esta manera, dos factores se proponen para ser investigados a futuro, y que pueden dar luces sobre el futuro del ecosistema. El primero, cambios vinculados en los regímenes pluviométricos originados, probablemente por el cambio climático, lo que origina activación de Quebradas con aluviones destructivos en algunas zonas. Por otra parte, la extensa proliferación de mecanismos para la extracción de aguas en dichas zonas genera una reducción de la zona húmeda para los bofedales, situación que se agrava con la construcción de canales artificiales dentro de los bofedales que tienen la finalidad de drenar y encauzar el agua en dirección de zonas de acopio. De esta manera proponemos que los efectos vinculados a la reducción de los bofedales puede ser resultado de un efecto sinérgico entre ambas situaciones, lo que a su vez acrecienta los impactos negativos ante eventos extremos, poniendo en riesgo la seguridad de las comunidades de la zona.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada M, Faúndez L (2009) Guía descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT), Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero, Serv Agrícola y Ganad Minist Agric Gob Chile:118 p,
- Alvarez E (1984) Exploracion Del Salar De Pedernales (Atacama) Mediante Imagenes Landsat Procesadas por Computador, Rev Geol Chile 0:77–97,
- Anderson JT, Davis CA (2013) Wetland techniques,
- Angel A, Vila I, Díaz C, Molina X, Sepúlveda P (2018) Geothermal Diatoms : Seasonal Variability in the El Tatio Geothermal Field ( Altiplano , Chile ), Adv Microbiol 8:211–234,
- Burton ML, Samuelson LJ, Mackenzie MD (2009) Riparian woody plant traits across an urban-rural land use gradient and implications for watershed function with urbanization, Landsc Urban Plan 90:42–55,
- Bendell, B y McNicol, D, 1987, Estimation of nektonic insect populations, Freshwater Biology, Volume18, Issue1 August 1987 Pages 105-108
- Cabrol NA, Grin EA, Chong G, Minkley E, Hock AN, Yu Y, Bebout L, Fleming E, Häder DP, Demergasso C, Gibson J, Escudero L, Dorador C, Lim D, Woosley C, Morris RL, Tambly C, Gaete V, Galvez ME, Smith E, Uskin-Peate I, Salazar C, Dawidowicz G, Majerowicz J (2009) The High-Lakes Project, J Geophys Res Biogeosciences 114:1–20,
- Castro R R, Altamirano A, T (2013) Analisis de la tendencia histórica de vegetacion azonal hídrica sector Ciega Redonda, Barros Negros y Pantanillo, Altiplano Región de Atacama, Estudio solicitado por Ministerio de Agricultura,
- Collado, G, A,, and Méndez, M, A, (2012), Phylogenetic Relationships and Taxonomy of Altiplano Populations of *Biomphalaria* (Gastropoda: Planorbidae): Inference from a Multilocus Approach, Zool, J, Linn, Soc, 165 (4), 795–808, doi:10.1111/j.1096-3642.2012.00829.x
- Collado, G, A,, and Méndez, M, A, (2013), Microgeographic Differentiation Among Closely Related Species of *Biomphalaria*(Gastropoda: Planorbidae) from the Andean Altiplano, Zool, J, Linn, Soc, 169 (3), 640–652, doi:10.1111/zoj.12073
- Collado, G, A,, Vila, I,, and Méndez, M, A, (2011), Monophyly, Candidate Species and Vicariance in *Biomphalaria* Snails (Mollusca: Planorbidae) from the Southern Andean Altiplano, Zool, Scr, 40 (6), 613–622, doi:10.1111/j.1463- 6409.2011.00491.x
- Cuevas, C, C,, Formas, J, R,, Alvarado-Rybak, M,, Peñafiel-ricaurte, A,, and Azat, C, (2020), Rediscovery of the Enigmatic Andean Frog *Telmatobius Halli* Noble (Anura: Telmatobiidae), Re-description of the Tadpole and Comments on New Adult's Characters, Type Locality and Conservation Status, Zootaxa 4834 (2), 195–206, doi:10.11646/zootaxa.4834.2.2
- Chong G (1988) The Cenozoic saline deposits of Chilean Andes between 18°00' y 27°00' latitud sur, Lect



Notes Earth Sci 17,

- Convención de Ramsar sobre los Humedales (2018) Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas,
- DGA-Aquaterra (2012) Estimación de recarga en cuencas altiplánicas, Región de Atacama,
- DGA-UCN-IRD (1999) Estudio de Cuencas de la III Región, In: *Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones-Chile*, p 251
- DGA & ARCADIS (2015) Diagnóstico de la Disponibilidad Hídrica en Cuencas Alto-Andinas de la región de Atacama, Fase 2,
- Dorador C, Meneses D, Urtuvia V, Demergasso C, Vila I, Witzel KP, Imhoff JF (2009) Diversity of bacteroidetes in high-altitude saline evaporitic basins in northern Chile, *J Geophys Res Biogeosciences* 114:1–11,
- Dorador, C., Molina, V., Hengst, M., Eissler, Y., Cornejo, M., Fernández, C., et al, (2020), “Microbial Communities Composition, Activity, and Dynamics at Salar de Huasco: A Polyextreme Environment in the Chilean Altiplano,” in *Microbial Ecosystems in Central Andes Extreme Environments*, Editor M, Farías (Cham: Springer), 123–139, doi:10.1007/978-3-030-36192-1\_9
- Dorador, C., Pardo, R., and Vila, I, (2003), Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará, *Rev, Chil, Hist, Nat*, 76 (1), 15–22, doi:10.4067/s0716-078x2003000100002
- Dorador, C., Vila, I., Witzel, K.-P., and Imhoff, J, F, (2013), Bacterial and Archaeal Diversity in High Altitude Wetlands of the Chilean Altiplano, *Fal* 182 (2), 135–159, doi:10.1127/1863-9135/2013/0393
- Ekka A, Pande S, Jiang Y, Zaag P Van Der (2020) Water Anthropogenic Modifications and River Ecosystem Services : A Landscape Perspective, *Water* 12:1–21,
- Ferreira CSS, Kašanin-Grubin M, Solomun MK, Sushkova S, Minkina T, Zhao W, Kalantari Z (2023) Wetlands as nature-based solutions for water management in different environments, *Curr Opin Environ Sci Heal* 33,
- Flores L, Contreras-López M, Figueroa Sterquel, Rodrigo Arenas Martija A (2022) Humedal costero de Mantagua: Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central, Ediciones Universitarias de Valparaíso,
- Garreaud R, Vuille M, Clement AC (2003) The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes, *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 194:5–22,
- Garreaud RD (2011) Cambio climático: bases físicas e impactos en Chile, *Rev Tierra Adentro – INIA*:1–14,
- Garreaud RD, Molina A, Farias M (2010) Andean uplift, ocean cooling and Atacama hyperaridity: A climate modeling perspective, *Earth Planet Sci Lett* 292:39–50,
- Goshu G, Aynalem S (2017) Social and Ecological System Dynamics,
- Heine-Fuster I, López-Allendes C, Aránguiz-Acuña A, Véliz D (2021) Differentiation of Diatom Guilds in Extreme Environments in the Andean Altiplano, *Front Environ Sci* 9,



- Houston J, Hartley AJ (2003a) The central Andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyper-aridity in the Atacama Desert, *Int J Climatol* 23:1453–1464,
- Houston J, Hartley AJ (2003b) The central Andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyper-aridity in the Atacama Desert, *Int J Climatol* 23:1453–1464,
- Johnson J (2009) Evaporación desde napas freáticas someras en cuencas endorreicas del altiplano chileno
- Kesler SE, Gruber PW, Medina PA, Keoleian GA, Everson MP, Wallington TJ (2012) Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits, *Ore Geol Rev* 48:55–69,
- Klemas V (2011) Remote sensing of wetlands: Case studies comparing practical techniques, *J Coast Res* 27:418–427,
- de la Fuente A, Meruane C, Suárez F (2021) Long-term spatiotemporal variability in high Andean wetlands in northern Chile, *Sci Total Environ* 756:143830,
- De La Fuente A, Niño Y (2010) Temporal and spatial features of the thermohydrodynamics of shallow salty lagoons in northern Chile, *Limnol Oceanogr* 55:279–288,
- Lafferty KD, Kuris AM (1999) How environmental stress affects the impacts of parasites, *Limnol Oceanogr* 44:925–931,
- López PL, Auqué LF, Garcés I, Chong G (1999) Características geoquímicas y pautas de evolución de las salmueras superficiales del Salar de Llamara, Chile, *Rev geológica Chile* 26,
- Mardones L, Pereira M (1991) Antecedentes geológicos de las salares de Ascotan y Carcote, region de Antofagasta, Chile, In: *Congreso Geológico Chileno 6*, p 838–841
- Mühlhauser HA (1997) Significado de la estructura y funcionamiento de ecosistemas acuáticos y zonas ecotónicas altiplánicas para su evaluación, gestión ambiental y conservación, In: *El Altiplano, Ciencia y conciencia en los Andes, Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos*, p 127–133
- Perillo G, Wolanski E, Cahoon D, Hopkins C (2019) COASTAL WETLANDS AN INTEGRATED ECOSYSTEM, Second, Elsevier, Amsterdam,
- Passy, S, I., and Blanchet, F, G, (2007), Algal Communities in Human-Impacted Stream Ecosystems Suffer Beta-Diversity Decline, *Divers, Distrib*, 13 (6), 670–679, doi:10.1111/j.1472-4642.2007.00361.x
- Passy, S, I, (2007), Diatom Ecological Guilds Display Distinct and Predictable Behavior along Nutrient and Disturbance Gradients in Running Waters, *Aquat, Bot*, 86 (2), 171–178, doi:10.1016/j.aquabot.2006.09.018
- Otto, C., Sjöström, P, Comportamiento de las larvas de insectos a la deriva, *Hidrobiología* 131 , 77–86 (1986), <https://doi.org/10.1007/BF00008326>
- Rech JA, Currie BS, Shullenberger ED, Dunagan SP, Jordan TE, Blanco N, Tomlinson AJ, Rowe HD, Houston J (2010) Evidence for the development of the Andean rain shadow from a Neogene isotopic record in the Atacama Desert, Chile, *Earth Planet Sci Lett* 292:371–382,



- Risacher F, Alonso H, Salazar C (2003) The Origin of Brines and Salts in Chilean Salars: A Hydrochemical Review, *Earth-Science Rev* 63:249–293,
- Risacher F, Fritz B (2009) Origin of salts and brine evolution of Bolivian and Chilean salars, *Aquat Geochemistry* 15:123–157,
- Risacher F, Fritz B, Alonso H (2006) Non-conservative behavior of bromide in surface waters and brines of Central Andes: A release into the atmosphere? *Geochim Cosmochim Acta* 70:2143–2152,
- Russo RE (2008) *Wetlands: Ecology, Conservation and Restoration*, Nova Science Publishers IN (ed) New York, USA, p 465
- Simeone A, Oviedo E, Bernal M, Flores M (2008) Las aves del humedal de Mantagua: riqueza de especies, amenazas y necesidades de conservación, *Boletín Chil Ornitol* 14:22–35,
- Sobel ER, Hilley GE, Strecker MR (2003) Formation of internally drained contractional basins by aridity-limited bedrock incision, *J Geophys Res Solid Earth* 108,
- Squeo FA, Warner BG, Aravena R, Espinoza D (2006) Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes, *Rev Chil Hist Nat* 79:245–255,
- Torres A, Acevedo E (2008) El Problema de Salinidad en los Recursos Suelo Y Agua que Afectan el Riego y Cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el Norte de Chile, *Idesia*:31–44,
- Valdés J, Marambio Y, Castillo A, Guiñez M, Cooper O (2023) Metal (oid) s content in High - Andean aquatic systems of the Atacama Desert , Chile : environmental assessment of extreme ecosystems, *Environ Sci Pollut Res*:33018–33039,
- Vila I, Muhlhauser A (1987) Dinámica de Lagos de Altura, *Perspectivas de Investigación, Arch Biol Med Exp (Santiago)* 20:95–103,
- Vila T (1990) Salar Deposits in Northern Chile, In: *Stratabound Ore Deposits in the Andes*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, p 703–720
- Vuille M, Keimig F (2004) Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central Andes derived from ISCCP-B3 data, *J Clim* 17:3334–3348,
- Wilmer P, Stone G, Johnston I (2005) *Environmental physiology of animals*,
- Acosta, R., & Prat, N, (2018), Pupas Podonominae (Diptera: Chironomidae) de los ríos altoandinos tropicales, *Revista de Biología Tropical* 66(1): 6-27,
- Almanza, V., Parra, O., De M, Bicudo, C, E., González, M, A., López, M, & Urrutia, R, (2016), Floraciones de fitoplancton y variación de la estructura comunitaria fitoplanctónica en tres lagos someros eutróficos de Chile Central, *Gayana Botánica*, 73(2): 191-205,
- Cranston, P, (2019), Identification guide to general of aquatic larval Chironomidae (Diptera) of Australia and New Zealand, *Zootaxa* 4706(1): 071-102,
- Di Sabatino A, Smit, H., Gerecke, R., GoldSchmidt, T., Matsumoto, N., & Cicolani, B, (2008), Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia; Arachnida) in freshwater, *Hydrobiologia* 595: 303-315,



- Díaz, C., & Maidana, N, I., (2005), Diatomeas de los Salares Atacama y Punta Negra, II Región – Chile, Dirección General De Aguas, Departamento De Conservación Y Protección De Recursos Hídricos, (2017), Análisis de fitoplancton en muestras de agua: informe final, Centro EULA, Universidad de Concepción,
- Drayson, N., Cranston, P., & Krosch, M, (2015), Taxonomic review of the chironomid genus *Cricotopus* v,d, Wulp (Diptera: Chironomidae) from Australia: Keys to males, females, pupae and larvae, description of ten new species and comments on *Paratrichocladius* Santos Abreu, *Zootaxa* 3919(1): 001-040,
- Fuentes, J., & Gomez, S, (2014), A new species of Schizopera (Copepoda: Harpacticoida: Miraciidae) from Colombia, *Rev, MVZ Córdoba* 19(3):4199-4213, DOI: 10,21897/rmvz,83
- Gaviria, E, (1993), Claves Para Las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Ollgochaeta, Annelida), *Caldasia* 17(2):237- 248,
- GoldSchmidt, T., & Ramírez Sánchez, M, (2020), Introduction and keys to neotropical water mites, *SPIXIANA* 43(2): 203-303,
- Gonzalez, E, R, (2003), The freshwater amphipods *Hyaella* Smith, 1874 in Chile (Crustacea: Amphipoda), *Rev, chil, hist, nat.,* Santiago, 76(4):623-637,
- Jaume, D., Conradi, M., & Lopez, P, (2004), 18 Copépodos, En: *Curso Práctico de Entomología*, J,A, Barrientos (ed,), 303-331, CIBIO, Asociación Española de Entomología y Universitat de Barcelona,
- Labarca, P., Cardenas, L., & Nespolo, R, F, (2011), Viability selection on body size in a non-marine ostracod, *Hydrobiología*, 671:193–203, DOI 10,1007/s10750-011-0716-2
- León, G, (2018), Taxonomía de tardígrados (TARDIGRADA: EUTARDIGRADA: HETEROTARDIGRADA) de musgo en localidades selectas del Noreste de México, Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León,
- Lobo, E., & Leighton, G, (1986), Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile, *Rev, Biol, Mar.,* Valparaíso, 22(1): 1-29,
- Menegotto, A., Dambros, C, S., and Netto, S, A, (2019), The Scale-dependent Effect of Environmental Filters on Species Turnover and Nestedness in an Estuarine Benthic Community, *Ecology* 100 (7), e02721, doi:10,1002/ecy,2721
- Ministerio De Agricultura, Alimentación Y Medio Ambiente, Gobierno De España (2012), *Id-tax, catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico,*
- Ministerio Del Medio Ambiente, (2018), *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos, Tercera Edición, Tomo I, 430 pp, Santiago, Chile,*
- Ottoboni Et Al, (2011), Elmidae (Coleoptera, Byrrhoidea) larvae in the state of Sao Paulo, Brazil: Identification key, new records and distribution, *ZooKeys* 151: 53-74,



Parra, O., González, M., Dellarosa, V., Rivera, P., & Orellana, M, (1982), Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile, I, Cyanophyceae,

Parra, O., González, M., Dellarosa, V., Rivera, P., & Orellana, M, (1982), Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile, III, Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae,

Prat, N., Acosta, R., Villamarín, C., & Rieradevall, M, (2018), Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) en los ríos altoandinos de Ecuador y Perú,

Ringuelet, R, A, (1985), Sinopsis de los hirudíneos de Chile (Annelida), Bol, Soc, Biol, Concepción, Chile, 56, 163-179,

ivera, P., & Cruces, F, (2009), Diatomeas (Bacillariophyceae) de zonas Andinas del Norte de Chile: Nueva localidad geográfica para Haloroundia Speciosa (Hustedt) Diaz et Maidana, Gayana Botánica, Comunicación breve, 66(2): 280-282,

Rivera, P, (2006), Estado de conocimiento de las diatomeas dulceacuícolas de Chile, Gayana Botánica, 70(1): 1-7,

Ruiz-Moreno, J., Ospina-Torres, R., & Riss W, (2000), Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá, II, Subfamilia Chironominae, Caldasia 22(1): 15-33,

Sala, J., García-De-Lomas, J., & Alonso, M, (2015), Orden Anomopoda, Rev, IDE@-SEA, 66: 1-11,

Sinev, A., Gu, Y., & Han, B., (2015), Cladocera of Hainan Island, China, Zootaxa, 4006(3): 569–585, <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4006.3.9>