

000011

## 4.5 CALIDAD DE AGUAS

Las características físico-químicas del agua de las lagunas presentes en el Salar de Surire, depende de numerosas variantes físicas, químicas y biológicas, pero durante el periodo de muestreo se observaron dos mecanismos básicos que controlaron la calidad química del agua: la naturaleza del sustrato de las lagunas y la disponibilidad de agua freática (termal, vertientes y escorrentía). La conductividad como un indicador de la concentración iónica total del agua, demostró una elevada heterogeneidad espacial al comparar las diferentes estaciones de muestreo, no obstante, se observó una tendencia a concentraciones crecientes de este parámetro, siendo esto concordante con los antecedentes previos para los ecosistemas lacustres presentes en los salares. Este proceso de salinización fue común para la mayoría de los parámetros químicos analizados, particularmente para aquellos de tipo conservativos. La dinámica temporal de estos ecosistemas acuáticos es modulada principalmente por el balance hídrico de la cuenca, de esta forma, se observaron incrementos en la disponibilidad de agua durante los meses fríos, cuando la tasa de evaporación fue menor. Esto lleva consigo una dilución de los diferentes solutos presentes en el agua, durante este periodo. En los meses de temperaturas del aire más altas, se observó el proceso contrario, sin embargo, esto podría ser modificado significativamente por la acción del "invierno boliviano", condición que no fue observada durante el periodo de estudio.

### 4.5.1 Metodología

#### 4.5.1.1 Calidad del agua

Las estaciones de muestreo se ubicaron en el Salar de Surire, considerando lagunas, vertientes, fuentes termales y tributarios (Tabla 4-5-1, Fotografías 4-5-1 a 4-5-11), siendo estas seleccionadas como las representativas del ámbito espacial de los ecosistemas lacustres

En cada una de las estaciones se analizaron los parámetros que se señalan a continuación:

pH	Nitritos
Temperatura	Amonio
Oxígeno disuelto	Fósforo total
Conductividad	Ortofosfato
Alcalinidad	Sólidos totales suspendidos
Dureza	Sólidos totales disueltos
Nitrógeno total	Metales
Nitratos	Macroelementos (cationes y aniones principales)

000011

Tabla 4-5-1. Ubicación espacial de las estaciones de monitoreo en el Salar de Surire		
Estación	Coordenadas UTM	
	N	E
ST1-V (Fot.4-5-1)	7.915.313	485.000
ST2-LC (Fot 4-5-3)	7.914.477	485.994
ST3-L (Fot.4-5-4)	7.914.588	488.483
ST4-T (Fot.4-5-6)	7.908.776	500.081
ST4-L (Fot. 4-5-5)	7.909.245	499.977
ST5-L (Fot.4-5-7)	7.916.388	500.465
ST6-L (Fot.4-5-8)	7.921.067	494.381
ST7-L (Fot. 4-5-9)	7.921.587	491.326
ST8-L (Fot. 4-5-10)	7.920.333	489.537
ST9-C (Fot. 4-5-11)	7.912.822	498.528
ST9-L	7.912.735	498.824
ST10-L	7.921.914	490.612
ST11-L	7.914.740	496.864

000011

**Obtención de muestras de agua:** Las muestras de agua para análisis químico, se tomaron en frascos de polietileno de alta densidad de 1 l de capacidad en duplicado. Las muestras de agua se colectaron con botellas muestreadoras de tipo Van Dorn con termómetro. Los envases de polietileno fueron lavados previamente con una solución detergente, y luego con ácido clorhídrico 2M; se enjuagaron con agua corriente y tres veces con agua destilada. El 50 % del volumen de cada muestra para análisis químico fue inmediatamente filtrado por filtros de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro (filtros Millipore HAWP) y analizadas a la brevedad posible en terreno. Las muestras de agua sin filtrar fueron almacenadas en cajas térmicas aislantes y transportadas al laboratorio para su análisis.

Los métodos que se utilizaron para la determinación de cada uno de estos parámetros, se detallan a continuación:

**- Parámetros físicos:**

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ): La temperatura se midió *in situ* mediante termómetros de mercurio de 0,1 de precisión.

Conductancia específica (a  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ): La conductividad del agua se midió mediante un conductivímetro YSI (modelo 33) de 0,01 de precisión.

Concentración del ion Hidrógeno (pH): La concentración del ion hidrógeno se midió en el laboratorio de terreno mediante pHmetro Corning (modelo 5) de 0,01 de precisión.

Sólidos totales suspendidos (mg/l): Los sólidos totales suspendidos fueron medidos por el método gravimétrico estándar (Standard Methods 1976), con el remanente en los filtros de la filtración para los análisis del agua.

Sólidos totales disueltos (mg/l): Los sólidos totales disueltos se midieron por evaporación a  $103^{\circ}\text{C}$ .

**- Parámetros químicos:**

Oxígeno disuelto (mg/l): Las muestras de agua para análisis de oxígeno fueron fijadas inmediatamente después de colectadas. En las muestras fijadas, el oxígeno se midió por el método de Winkler. La titulación se realizó potenciométricamente de acuerdo a Talling (1973).

Alcalinidad (mM/l): En las muestras de agua se midió la alcalinidad total y la alcalinidad de fenolftaleína de acuerdo a Golterman *et. al.* (1978), inmediatamente después de tomadas.

Ortofosfato ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ): El  $\text{P-PO}_4$  disuelto se midió en muestras de agua filtrada inmediatamente después de tomadas. Se utilizó el método de complejo molibdato según Zahradnik (1981).

Nitrato ( $\mu\text{g/l}$ ): El  $\text{N-NO}_3$  disuelto se midió en muestras de agua filtrada inmediatamente después de tomadas. Se utilizó el método del citrato de acuerdo a Zahradnik (1981).

Nitrito ( $\mu\text{g/l}$ ): El nitrito se midió mediante el método de la Sulfanilamida-etilendiamina de Golterman *et. al.* 1978.

Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ): El  $\text{NH}_4$  disuelto se midió en muestras de agua filtrada inmediatamente después de tomadas. Se utilizó el método del indofenol azul según Zahradnik (1981).

Fósforo total ( $\mu\text{g/l}$ ): El fósforo total se midió en muestras de agua sin filtrar transportadas al laboratorio. Los análisis se realizaron según Mühlhauser *et. al.* (1987).

Nitrógeno total ( $\mu\text{g/l}$ ): El nitrógeno total se midió en muestras de agua sin filtrar transportadas al laboratorio. Los análisis se realizaron según Mühlhauser *et. al.* (1987).

Macroelementos: Los cationes y aniones principales disueltos en el agua se midieron utilizando espectrofotometría según los métodos descritos por USEPA (1985).

Metales: La concentración de los metales presentes en el agua se midieron utilizando espectrometría de absorción atómica y electroquímica, según los métodos descritos por USEPA (1985)

#### 4.5.2 Resultados

##### 4.5.2.1 Calidad físico-químicas del agua

Los resultados de las mediciones físico-químicas obtenidos durante las diferentes campañas de terreno se detallan en las Tablas 4-5-2 a la 4-5-10, estos demuestran que los valores encontrados se ubican, en general, dentro de los márgenes normales para aguas de esta naturaleza y las condiciones climáticas en que se tomaron las muestras (Banco Nacional de Aguas, D.G.A).

##### a.- Concentración del ion Hidrógeno (pH)

Los resultados de las mediciones del pH en las lagunas y vertientes se detallan en las Tablas 4-5-2 a 4-5-4. El pH es uno de los parámetros de calidad del agua de mayor interés, debido a su incidencia en los procesos biológicos como agente forzante y a su rol modulador de los equilibrios químicos de la mayoría de los compuestos de carácter tóxico. De este modo, variaciones en los valores de pH se traducen en importantes modificaciones en los procesos biológicos. No obstante, la características físico-químicas del agua presente en el Salar de Surire le confieren una elevada capacidad de tampón, la cual le permite amortiguar las fluctuaciones de pH. Los valores promedios de pH registrados durante las campañas de monitoreo, no fueron significativamente diferentes, encontrándose en el rango de la neutralidad y algunos ligeramente

alcalinos. En los resultados obtenidos fue posible observar una elevada heterogeneidad espacial de valores de pH entre las diferentes estaciones de monitoreo.

b.- Temperatura.

Las Tablas 4-5-2 a 4-5-4 detallan los rangos térmicos controlados en las campañas de monitoreo. Los valores de temperatura en el mes de febrero fluctuaron entre mínimos de 8,0°C a 29,5°C, con un valor promedio de 16,2 °C. En el mes de agosto los valores fluctuaron entre mínimos de 0,1°C a 32,9°C, con un valor promedio de 9,5 °C. Este mes fue el más frío durante el periodo de estudio, cabe hacer notar que el valor máximo registrado corresponde a la estación ST4-T (cercano a los Baños de Polloquere). Durante el mes de octubre los valores de temperatura fluctuaron entre mínimos de 2,3°C a 45,3°C, con un valor promedio de 14,7 °C.

Las diferencias de temperatura entre estaciones de monitoreo se deben principalmente a que provienen de fuentes geotérmicas, vertientes y a las características morfométricas de las lagunas en el salar. La dinámica térmica fue modulada principalmente por las condiciones climáticas, debido a que la acción permanente del viento mantuvo en mezcla vertical los cuerpos de agua, permitiendo un rápido equilibrio con la temperatura del aire.

c.- Conductividad.

La conductividad controlada a 25°C se detalla en las Tablas 4-5-2 a 4-5-4. Este parámetro es una medida de la capacidad de conducción de corriente eléctrica a través del agua y por ende, de la disponibilidad de iones disueltos en el agua. En general los valores de conductividad determinados en las estaciones de monitoreo fueron muy altos, con valores mayores a 200.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los sistemas de mayor tiempo de residencia. Esto claramente está relacionado con los procesos de salinización del agua, que ocurren en las cuencas de avenamiento de tipo endorreica, en donde la evaporación constituye la principal vía de pérdida de agua desde el ecosistema. En el Salar de Surire, las aguas que provienen de los márgenes del salar tienen conductividades menores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y a medida que ingresan hacia el interior del mismo se produce una acumulación progresiva de los solutos.

Los valores promedios de conductividad fluctuaron entre máximos de 123.584  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (febrero) y 49.089  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (octubre). Esta tendencia estacional está relacionada con el balance hídrico de la cuenca, debido a que durante los meses más fríos aumenta la disponibilidad de agua en la superficie del salar, produciendo una dilución de los solutos. Es importante señalar que este patrón temporal podría ser modificado por la presencia de precipitaciones durante el verano, por la presencia del "invierno boliviano". Durante el mes de agosto se realizó un muestreo más bien extensivo, tendiente a realizar un catastro espacial de las aguas, en el cual fue posible detectar algunos cuerpos de agua con conductividades superiores a 400.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con concentraciones salinas sobre saturadas, esta condición refleja sistemas acuáticos con tiempos de residencias muy altos.

#### d.- Concentración del oxígeno disuelto.

En las Tablas 4-5-2 a 4-5-4 se muestran los resultados obtenidos en las mediciones de oxígeno disuelto en las diferentes estaciones de monitoreo. En las lagunas los valores tienden a ser bajos, muy por debajo de los límites de saturación, para las temperaturas y salinidades dadas. En cambio, en las zonas de vertientes se encontraron concentraciones de oxígeno cercanos a los niveles de saturación del oxígeno en el agua. En las lagunas con conductividades muy altas, los niveles de oxígeno estuvieron cercanos a 2 ppm, el cual corresponde aproximadamente a los niveles de saturación de oxígeno, corregidos por la salinidad, presión y temperatura.

La concentración de oxígeno disuelto entre las estaciones de monitoreo fue muy heterogéneo y al comparar los diferentes periodos de monitoreo se observaron los menores valores durante los meses de agosto y octubre.

#### e.- Dureza

Los valores de dureza se detallan en las Tablas 4-5-2 a 4-5-4. En el mes de febrero los valores fluctuaron entre mínimos de 15,0 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST1-V) y máximos de 8.640,0 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST6-L), con un valor promedio de 3.577,0 mg/l CaCO<sub>3</sub>. En agosto, los valores fueron significativamente menores a los observados en el muestreo anterior, los cuales fluctuaron entre mínimos de 10,2 ,0 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST10-L) y 13.080,0 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST11-P), con un valor promedio de 2.808,5 mg/l Ca CO<sub>3</sub>. Durante el mes de octubre los valores fueron aún menores que los registrados en el monitoreo anterior, los cuales fluctuaron entre mínimos de 47,5 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST1-V) y 8930,0 mg/l CaCO<sub>3</sub> (ST6-L), con un valor promedio de 2.007,8 mg/l Ca CO<sub>3</sub>.

Los valores de dureza fueron generalmente altos y muy heterogéneos al comparar entre las estaciones de monitoreo, lo cual podría ser atribuido a la distribución espacial de las sales en los diferentes horizontes verticales en el salar.

#### f.- Valores de alcalinidad

Los valores de alcalinidad, medida como alcalinidad total se describen en las Tablas 4-5-2 a 4-5-4. Los valores promedios de alcalinidad fueron diferentes, 5,8 mM, 3,8 mM y 2,4 mM, para los meses de febrero, agosto y octubre, respectivamente. Sin embargo, estos no reflejan una tendencia temporal, debido a que las diferencias en los valores promedios entre las campañas de monitoreo responden más bien a la varianza de los datos, ya que sistemáticamente se incorporaban nuevos sitios de muestreo. Esta situación se debió a que el énfasis en el diseño de muestreo fue en el componente espacial. No obstante, los resultados obtenidos permiten establecer una correlación directa entre la alcalinidad total y la conductividad. De esta manera, las estaciones con valores más altos de conductividad presentan también las mayores alcalinidades. Se observó una elevada heterogeneidad espacial entre las diferentes estaciones de monitoreo, en todas las campañas realizadas.

g.- Sólidos totales en suspensión.

En las Tablas 4-5-5 a 4-5-7 se detallan los resultados obtenidos durante el período de estudio, en relación a la presencia de sólidos totales en suspensión en el agua. Los valores determinados son altos y muy variables, siendo estos principalmente de origen inorgánico, por la presencia de cristales de sales, no obstante, en algunas lagunas existía abundante seston orgánico, principalmente en aquellas de carácter permanente. La elevada variabilidad espacial y temporal en este parámetro está asociada con los procesos de dilución de solutos en el agua, por la acción de eventos como precipitaciones, aguas freáticas y/o aportes de escorrentía. Al comparar los resultados obtenidos durante las diferentes campañas, se puede señalar que los valores registrados en el mes de agosto fueron significativamente mayores que en los meses de febrero y octubre.

Tabla 4-5-2. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de febrero (1995) en el Salar de Surire.

Estación	Hora	Parámetros					
		pH	Temperatura (°C)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}, 25^\circ\text{C}$ )	Oxígeno (mg/l)	Dureza (mg/l)	Alcalinidad (mM)
ST1-L	12 :03	8.83	16.7	8360	9.7	760	3.1
ST1-V	10 :29	8.56	11.7	63.3	11.4	15	0.4
ST2-LO	10 :00	6.89	9.6	1305	8.7	4500	6.4
ST2-LC	10 :35	7.54	8	230782	4.8	433.3	1.7
ST3-L	11 :45	7.7	11.5	365541	5.5	7625	14.3
ST4-T	12 :40	7.65	29.5	6800	4.8	860	1.6
ST5-L	11 :05	8.11	14.2	19090	11.2	1860	3
ST6-L	15 :25	7.91	20.5	254312	8.6	8640	9.7
ST7-L	16 :05	8.19	24.3	226000	10,1	7500	12.1

Tabla 4-5-3. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de agosto (1995) en el Salar de Surire

Estación	Hora	pH	Parámetros				
			Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm,25°C)	Oxígeno (mg/l)	Dureza (mg/l)	Alcalinidad (mM)
ST1-V	09:37	8	1.2	222.87	6.65	31.25	0.4
ST2-LC	10:14	8.73	8.8	1380.27	3.88	155.33	0.5
ST3-V	10:53	7.22	9.7	1836	8.31	430	1.3
ST3-L	10:53	7.87	7.2	205860	2.77	6190	8.35
ST4-T	14:04	7.44	32.9	6468	-	750	1.5
ST4-L	13:40	8.01	12.5	10374	6.1	810	1.65
ST5-L	09:52	8.07	3.9	80896	4.62	3180	4.45
ST6-L	15:10	8.16	10.7	129941	4.06	5810	5
ST7-L	16:25	8.6	13.1	87503	5.73	4020	3.45
ST8-L	15:15	8.16	15.6	122808	3.51	4000	3.55
ST9-C	12:29	8.93	7.3	20294	-	820	1.65
ST9-L	12:20	8.93	5.9	20340	9.05	740	1.54
ST10-L	16:55	9.37	10.6	21572	5.36	10.2	1.6
ST11-L	08:50	8.48	0.1	83765	3.32	2100	3.6
ST11-P	09:00	7.11	3.2	392040	-	13080	18.2

Tabla 4-5-4. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de octubre (1995) en el Salar de Surire

Estación	Hora	pH	Parámetros				
			Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm,25°C)	Oxígeno (mg/l)	Dureza (mg/l)	Alcalinidad (mM)
ST1-V	08:41	7.84	5	160.62	10.1	47.5	0.4
ST2-L	09:45	9.03	2.3	6640	7.3	380	1.9
ST3-V	12:48	7.72	16.9	1844.4	8.6	470	1.05
ST3-L	13:08	8.2	9.8	84320	4.6	2970	3.95
ST4-L	11:15	7.92	15	9377.5	5.1	790	1.5
ST4-T	12:05	6.1	45.3	7784	4.3	750	1.4
ST5-L	13:11	8.22	17.4	32364	6.1	2380	3.1
ST6-L	14:55	7.8	15.2	154275	7.3	8930	6.7
ST7-L	16:09	9.31	13.1	8280.4	6.8	230	0.725
ST8-L	17:14	8.4	7	125852	6.3	3130	3.1

#### h.- Sólidos totales disueltos

En las Tablas 4-5-5 a 4-5-7 se muestran los resultados de mediciones de sólidos totales disueltos (S.T.D.). En general, estos valores fueron altos y estuvieron relacionados con la presencia de sales disueltas, las cuales en sus formas cristalinas son muy abundantes en los sedimentos y márgenes de las lagunas. De esta forma, la elevada heterogeneidad espacial y temporal observada en los diferentes muestreo, se debió a la confluencia de dos procesos que afectan la concentración de sólidos totales disueltos: i) la dilución de los solutos presentes en el agua por eventos de precipitaciones, aportes de aguas freáticas y/o escorrentía y ii) a la disolución de sales en los márgenes de las lagunas. Lo anterior, establece que frente a un incremento en la disponibilidad de agua en las lagunas, se producirá una dilución de los S.T.D. en los sectores más pelágicos y un aumento en la concentración de S.T.D. por disolución de las sales acumuladas en los márgenes de las lagunas. La concentración S.T.D. fue mayor en las lagunas, que en las vertientes y fuentes geotermales, esto está claramente relacionado con los procesos anteriormente señalados.

#### i.- Valores de amonio

En las Tablas 4-5-5 a 4-5-7 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de amonio en el agua. En el muestreo de febrero las concentraciones de amonio fluctuaron entre mínimos de 63,7 ug/l (ST1-L) y máximos de 639,7 ug/l (ST6-L). Durante el muestreo de agosto las concentraciones de amonio fluctuaron entre mínimos de 50,9 ug/l (ST10-L, ST11-L) y máximos de 713,1 ug/l (ST11-P). Por último en octubre los valores mínimos fueron de 543,3 ug/l (ST4-T) y máximos de 1018,7 ug/l (ST6-L). Estos resultados muestran un incremento de la concentración de amonio durante el mes de octubre, lo cual probablemente está relacionado con la mayor productividad biológica observada en ese periodo. El amonio fue la especie química dominante en el balance del nitrógeno durante los meses de febrero y octubre, siendo distinto en agosto en la cual, el nitrato fue el más abundante.

#### j.- Nitrógeno orgánico total

Los valores de nitrógeno orgánico total se detallan en las Tablas 4-5-5 a 4-5-7. Los resultados muestran que el nitrógeno se encuentra principalmente en su forma particulada, asociado principalmente a materia orgánica. En su mayoría las concentraciones fueron muy altas y homogéneas, siendo estas significativamente mayores en el mes de octubre. Las principales fuentes de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos son la difusión desde la atmósfera, los aportes desde la cuenca de avenamiento y la actividad biológica. Esta última probablemente es la más importante en las lagunas, debido a que las abundantes poblaciones de aves y mamíferos constituyen un vector para el transporte de este nutriente. De cualquier forma, este nutriente no limitó la producción biológica en las lagunas, condición muy frecuente en otros ecosistemas limnicos y reofilos.

#### k.- Valores de nitrito

En las Tablas 4-5-5 a 4-5-7 se detallan los valores de nitrito registrados durante las diferentes campañas de muestreo. Estos fueron valores relativamente bajos, siendo mayores aquellos determinados en el mes de octubre. No obstante, las concentraciones no superaron los 7.4  $\mu\text{g/l}$ , en todas las estaciones de monitoreo. La disponibilidad química de este compuesto en los ecosistemas acuáticos, depende principalmente de las condiciones de pH.

#### l.- Valores de nitrato

En las Tablas 4-5-5 a 4-5-7 se detallan los resultados obtenidos de las mediciones de nitrato en el agua. En el muestreo de febrero las concentraciones de nitrato fluctuaron entre mínimos de 10,9  $\mu\text{g/l}$  (ST4-T) y máximos de 108,7  $\mu\text{g/l}$  (ST2-L0). Durante el muestreo de agosto las concentraciones de amonio fluctuaron entre mínimos de 0,0  $\mu\text{g/l}$  (ST3-V) y máximos de 950,0  $\mu\text{g/l}$  (ST3-L). Por último en octubre los valores mínimos fueron de 137,5  $\mu\text{g/l}$  (ST1-V) y máximos de 2400,0  $\mu\text{g/l}$  (ST3-L). Los valores de nitrato fueron significativamente diferentes entre las campañas de monitoreo, tanto al comparar los valores promedios, como las variaciones temporales en la concentración determinada en cada estación. Se observó un incremento progresivo en las concentraciones de este nutriente, siendo los mayores los registrados durante el mes de octubre. Este incremento en la disponibilidad de nitrato podría estar asociado a la mayor actividad biológica observada durante esa campaña (ej. nitrificación de los flamencos).

#### m.- Valores de ortofosfato y fósforo total

Los valores de ortofosfato y fósforo total se detallan en las Tablas 4-5-5 a 4-5-7. En general las concentraciones de fósforo total determinadas en todas las estaciones fueron altas, con valores muy heterogéneos entre las estaciones de monitoreo. El fósforo reactivo soluble se encontró en una concentración comparable a la del fósforo total, con un patrón espacial similar. Al comparar los valores registrados en las diferentes campañas, estos fueron significativamente mayores durante el mes de febrero.

#### n.- Valores de macroelementos

En las Tablas 4-5-8 y 4-5-9 se detallan los valores de los metales alcalinos determinados durante el período de agosto y octubre, respectivamente. Las concentraciones de los metales alcalinos determinadas en el agua indican que éstas son claramente cloro-sódicas, con un contenido elevado de sulfatos. Las secuencias iónicas son las siguientes:  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} \approx \text{Ca}^{2+}$ . Aunque durante el mes de agosto se observaron concentraciones mayores en todos los metales alcalinos que el mes de octubre, las secuencias iónicas fueron las mismas. Las mayores concentraciones de los oligoelementos se encontraron principalmente en las lagunas, debido al proceso de salinización de las mismas.

Tabla 4-5-5. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de febrero (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros							
	S.T.S (g/l)	S.T.D (g/l)	N-NH4 (µg/l)	N-total (µg/l)	N-NO2 (µg/l)	N-NO3 (µg/l)	P-PO4 (µg/l)	P-total (µg/l)
ST1-L	0.124	7.18	63.66	690	1.11	108.65	679.24	773.1
ST1-V	0.008	0.188	297.11	494	0.66	32.59	37.73	40.33
ST2-LO	0.264	1.332	246.17	657.6	1.99	108.65	7393.78	8571.42
ST2-LC	0.034	101.86	466.89	711.95	1.33	27.16	98.11	157.98
ST3-L	1.81	179.15	466.89	1853.26	2.33	54.32	14943.39	15159.7
ST4-T	0.017	5.03	407.47	451.08	1.22	10.86	377.35	689.07
ST5-L	0.27	18.42	305.6	1342.39	1.99	65.19	1245.28	2789.91
ST6-L	0.487	122.66	636.67	1494.56	2.33	54.23	11320.75	15126.04
ST7-L	0.73	131.23	526.31	1394.56	2.55	65.19	13433.96	14957.9

Tabla 4-5-6. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de agosto (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros							
	S.T.S (g/l)	S.T.D (g/l)	N-NH4 (µg/l)	N-total (µg/l)	N-NO2 (µg/l)	N-NO3 (µg/l)	P-PO4 (µg/l)	P-total (µg/l)
ST1-V	0.0074	0.69	254.06	1326.08	0.851	200	188.67	210.08
ST2-LC	0.0146	0.3	220.71	1326.08	0.425	700	207.54	210.08
ST3-V	0.0125	1.03	135.82	1326.08	1.91	40	490.56	510
ST3-L	2.66	107.89	441.42	1869.56	4.47	950	7216.98	7991.59
ST4-T	0.0184	3.89	332.5	1369.56	0.638	300	518.86	554.62
ST4-L	0.0309	4.15	339.55	934.78	0.425	350	528.3	546.21
ST5-L	0.5	34.29	526.31	2304.34	1.002	500	2142.85	2873.94
ST6-L	0.813	72.06	101.87	1760.86	3.62	500	1962.26	8277.3
ST7-L	0.766	49.07	169.77	2543.47	0.425	850	1933.96	7428.57
ST8-L	1.56	79.91	135.82	1326.08	3.62	750	7462.46	7924.56
ST9-C	0.109	7.64	271.64	1499.99	1.06	350	1858.49	1999.99
ST9-L	0.166	6.79	135.82	1673.91	0.851	350	1707.54	1837.81
ST10-L	0.171	9.82	50.93	1869.56	1.06	450	1933.96	2016.8
ST11-L	0.345	33.33	50.93	1086.95	2.76	450	2405.66	3882.35
ST11-P	16.01	398.2	713.07	4478.26	4.25	250	8698.11	12747.89

Tabla 4-5-7. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de octubre (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros							
	S.T.S (g/l)	S.T.D (g/l)	N-NH4 (µg/l)	N-total (µg/l)	N-NO2 (µg/l)	N-NO3 (µg/l)	P-PO4 (µg/l)	P-total (µg/l)
ST1-V	0.0214	0.148	882.85	3173.9	1.27	137.5	37.73	873.95
ST2-L	0.1422	1.4	967.74	3652.17	1.7	425	188.68	537.81
ST3-V	0.0522	0.305	916.81	3956.52	1.06	737.5	75.47	301.52
ST3-L	0.176	40.31	696.09	1869.56	3.62	2400	4905.66	4941.17
ST4-L	0.0364	53.92	611.2	3086.96	5.74	650	150.94	436.97
ST4-T	0.0242	3.46	543.29	2826.08	7.44	400	226.41	436.97
ST5-L	0.269	16.33	831.92	2304.35	7.44	737.5	1207.55	1210.08
ST6-L	0.636	111.57	1018.67	1956.52	4.04	1037.5	14528.3	14722.68
ST7-L	0.1218	2.91	797.96	2826.09	1.7	562.5	1622.64	1647.06
ST8-L	0.21	56.46	730.05	2304.37	4.47	700	8490.56	8571.43

Tabla 4-5-8. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de agosto (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros							
	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
ST1-V	0	58.6	12	18	10	4.5	5.8	6
ST2-LC	0	115.9	256.6	110	21	19	35	161
ST3-V	0	134.2	276.5	220	74	38	46	134.6
ST3-L	0	1141.1	56698.7	10500	890	1080	5300	36800
ST4-T	0	146.5	1832.4	940	210.4	48	249	1228.2
ST4-L	0	163.5	1978.1	980	230.4	51	267	1398
ST5-L	0	457.7	17627.7	4000	400	440	1600	11730
ST6-L	0	768.9	34670.8	10000	790	900	4000	23000
ST7-L	0	689.5	22593.3	9000	750	550	2560	15916
ST8-L	0	455.2	38835.5	8500	743	445	3500	27324
ST9-C	80.4	186.7	4591.1	1200	179	74	515	2990
ST9-L	78	175.7	4360.4	1200	180	75	490	2691
ST10-L	81.6	215	4356.1	2200	238	65	680	3358
ST11-L	0	570	18617	3000	360	290	1730	14420
ST11-P	0	2135.7	185017.1	14500	830	2647	12825	103730

Tabla 4-5-9. Valores de parámetros físico-químicos registrados durante la campaña de octubre (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros							
	CO <sub>3</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
ST1-V	0	42.7	22	26.9	10.3	5	4.4	10.1
ST2-L	26.4	202.6	848.7	400.1	40	55	136	625.6
ST3-V	0	166	264.4	284.8	89	46	49.5	147.2
ST3-L	240	151.3	23538	3300.1	310	510	2290	14444
ST4-L	0	158.6	2041.2	975	220	50	250	1306.4
ST4-T	0	155	1937.3	975	207	47	242	1278.8
ST5-L	0	413.7	10727.5	2199.8	280	300	1100	6394
ST6-L	574.8	0	58325.1	14999.8	1210	1450	6325	36570
ST7-L	57.6	0	1426.9	975	78	24	211.1	1159.2
ST8-L	315.6	0	31558	6998.9	560	320	2550.1	20056

#### o.- Valores de metales pesados

Las concentraciones de los metales pesados se detallan en la Tabla 4-5-10. Los resultados obtenidos permiten señalar que el cobre, plomo, cadmio y zinc, se encuentran en concentraciones menores a los límites de detección utilizados, solamente en las estaciones ST5-L y ST6-L fue posible detectar cobre. En cambio, en todas las estaciones se determinó la presencia de hierro. El Hierro es un elemento conspicuo en todo tipo de agua y su dinámica está controlada por los niveles de óxido-reducción.

#### 4.5.2.2 Análisis estadístico de los resultados

Considerando todos los parámetros físico y químicos obtenidos durante las campañas de monitoreo, se realizó una ordenación de las estaciones en función de la variabilidad encontrada en cada lugar. El análisis consistió en utilizar el método de análisis multivariado de componentes principales (ACP, CANOCO 1988).

De acuerdo a lo esperado, los lagunas dentro del Salar de Surire presentaron la mayor variabilidad, siendo las estaciones ST3-L y ST11-P las que presentan las características físico-químicas más diferentes entre todas las estaciones. Las estaciones ubicadas en los márgenes del salar (ej. vegas) comparten características comunes, manteniéndose agrupadas con una variación temporal mínima. En todos los análisis los componentes principales determinados fueron significativos ( $p < 0.05$ ).

Los resultados del análisis multivariado de factores, considerando las diferentes campañas de monitoreo, se detallan a continuación:

En el mes de febrero de 1995 los resultados del análisis multivariado mostraron que la mayor variabilidad estuvo concentrada en las lagunas, siendo la estación ST3-L la más atípica entre los sistemas lénticos muestreados. Las estaciones de conductividad intermedia (20.000 - 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) permanecen todas agrupadas, lo cual indica una cierta homogeneidad en los valores de las variables consideradas en el análisis. Los tres primeros factores explican el 85.0 % de la variación en el siguiente orden (1.factor, 58 %; 2.factor, 16 %; 3.factor, 1 %). Las variables más importantes en explicar las diferencias observadas fueron la alcalinidad, pH, conductividad y fósforo reactivo soluble, en ese orden de importancia.

El análisis de factores para el mes de agosto se muestra que los dos primeros factores explican el 80 % de la variabilidad dentro de las variables medidas. El primer factor explica el 69,2.0 % y el segundo factor el 10.0 %. Las variables más importantes fueron la conductividad, el oxígeno y el pH, en menor importancia el potasio, dureza, magnesio y sodio. Durante este mes el aumento en la disponibilidad de agua superficial permitió una reordenación de las estaciones, en relación al patrón espacial observado en el mes de febrero. De esta manera, se formaron grupos más definidos, en función de las concentraciones de solutos, como ejemplo las estaciones ST3-L, ST8-L, ST6-l, ST7-l Y ST11-L, constituyeron un grupo bastante homogéneo. Al igual que el muestreo anterior, las aguas provenientes de los márgenes del salar presentaban características fisico-químicas muy similares. La estación ST11-P presentó características muy diferentes al resto de las estaciones de monitoreo, esto se debe a que en este sitio existía una condición de sobresaturación de solutos, sin recambio hídrico.

El análisis de factores para el mes de octubre (1995) indicó que estos explicaron el 81,2 % de la variabilidad, de la siguiente manera: primer factor 64,6 % y segundo factor 16,6 %. Las variables más importantes fueron el nitrógeno total, potasio, sodio, cloruros y fósforo. Las estaciones más diferentes fueron la ST6-L, ST8-l y ST4-T, mientras que las estaciones restantes presentaron cierta homología con las características de las aguas provenientes del margen del salar (ej. vertientes).

000011

Tabla 4-5-10. Valores de metales pesados registrados durante la campaña de octubre (1995) en el Salar de Surire

Estación	Parámetros				
	Cobre (ppb)	Plomo (ppb)	Cadmio (ppb)	Zinc (ppb)	Hierro (ppb)
ST1-V	ND	ND	ND	ND	0.154
ST2-L	ND	ND	ND	ND	0.072
ST3-V	ND	ND	ND	ND	0.028
ST3-L	ND	0.003	D	ND	0.064
ST4-L	ND	ND	ND	ND	0.268
ST4-T	ND	ND	ND	0.003	0.313
ST5-L	0.002	ND	ND	ND	0.627
ST6-L	0.016	ND	ND	ND	0.102
ST7-L	ND	ND	ND	ND	0.026
ST8-L	ND	ND	ND	ND	0.037

D = detectado ND = no detectado

	LD	LC
Cadmio	0.02 ppb	0.07 ppb
Plomo	0.39 ppb	1.3 ppb
Cobre	0.5 ppb	1.7 ppb
Zinc	0.6 ppb	1.9 ppb

LD = Límite de Detección

LC = Límite de Cuantificación

Metales: Voltimetría de redisolución anódica

Fe: Espectrofotometría derivada

#### 4.5.3. Discusión

000011

En general, cuando se realizan estudios en zonas remotas, son muy escasos los antecedentes previos, que permiten comparar y analizar las características abióticas de un ecosistema dado. Una situación excepcional ocurre en el Salar de Surire, debido a que se está realizando un programa de monitoreo para definir las características de la línea base del Salar de Surire, considerando aspectos físicos, químicos y biológicos (informe preliminar proporcionado por CONAF I Región). No obstante, solamente estuvieron disponibles los resultados obtenidos en el periodo 1991-1992. Este estudio es realizado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y financiado por QUIBORAX S.A.

Los resultados presentados en el informe de CONAF fueron consistentes con los obtenidos en el presente estudio y en términos generales se refieren a los siguientes:

- El área de estudio presenta una elevada heterogeneidad espacial y temporal, en lo que a las características físico-químicas de los ecosistemas acuáticos se refiere. Esta variabilidad es explicada por la conjunción de diversos procesos, tales como: i) aportes hídricos puntuales y difusos desde el margen del salar, ii) la acción permanente del viento, generando corrientes de tipo advectivas en la superficie de las lagunas, iii) la radiación solar incidente, que genera importantes oscilaciones térmicas y lumínicas, tanto diarias como estacionales, iv) las características sedimentarias de las sales depositadas en el salar y v) las precipitaciones.
- La acción permanente del viento permite que los cuerpos de agua se mantengan en permanente mezcla, originando una fuerte interacción entre la columna de agua y los estratos sedimentarios.
- Existe un proceso permanente de salinización de las aguas al interior del salar, debido a que este se encuentra en una cuenca de tipo endorreica. No obstante, existen diferencias significativas de salinidad entre las lagunas, asociado principalmente a aportes hídricos y tiempo de residencia distintos.
- Las variaciones estacionales en las características físico-químicas de las lagunas, son explicadas por la variación en la disponibilidad de agua superficial ("Balance Hídrico") y la producción biológica, a través de los diferentes componentes de la trama trófica. De esta manera, los patrones temporal observados previamente son consistentes con las variaciones en estos procesos.