

SALAR DE AGUAS CALIENTES 2

Introducción

El salar de Aguas Calientes 2 se encuentra en el sector central del Altiplano de la II Región. El aporte superficial más importante es el río Pili en el norte. Otro aporte importante es la quebrada de Chamaca que, a igual que el anterior, forma unas vegas al desembocar en el salar. Es un salar de tipo playa con varias lagunas de extensión variable, siendo la principal la de Aguas Calientes en el sur. Sus principales características morfométricas y climatológicas son:

- altura: 4200 m
- superficie de la cuenca: 1168 km²
- superficie del salar: 134 km²
- superficie de las lagunas: 9 km²
- precipitaciones: 150 mm/año
- evaporación potencial: 1500 mm/año
- temperatura: 1°C

Se pudo obtener solamente 6 muestras: 5 de vertientes y una de laguna. Son muy pocas para un estudio adecuado de un salar de este tamaño.

Composición de las aguas

Las composiciones de aguas del salar de Aguas Calientes 2 están presentadas en la figura 1 y en la tabla 1. Se muestrearon 2 vertientes fluyentes y tres difusas. Todas surgen a la orilla misma del salar y tienen salinidades elevadas. Cuatro son salobres (AC2-1, 4, 7 y 13), desde 2530 mg/l hasta 5930 mg/l de STD, y una salada (AC2-15), con 13600 mg/l de STD. La única laguna que se ha podido muestrear tiene una salinidad de 11500 mg/l de STD, o sea inferior a la salinidad de la vertiente más concentrada.

| <u>APORTES</u> | <u>SALINIDAD</u> mg/l | <u>TIPO QUÍMICO</u> | | <u>VÍA EVOLUTIVA</u> |
|----------------------|--------------------------|---------------------|------------------|----------------------|
| | | Cationes | Aniones | |
| AC2-1 | 2530 | Na-Ca- (Mg) | / Cl-SO4- (HCO3) | SO4 (N) |
| AC2-13 | 3797 | Na-Ca- (Mg) | / Cl-SO4 | Ca |
| AC2-4 | 3902 | Na-Ca | / Cl-SO4 | SO4 (N) |
| AC2-7 | 4202 | Na- (Ca) - (Mg) | / Cl-SO4- (HCO3) | SO4 (N) |
| AC2-10 | 13656 | Na- (Ca) - (Mg) | / Cl- (SO4) | Ca |
| <u>LAGUNA</u> | | | | |
| AC2-15 | 11544 | Na-Ca- (Mg) | / Cl- (SO4) | Ca |

Tabla 1 : Salinidades, tipos químicos y vías evolutivas de aguas del salar de Aguas Calientes 2. SO₄ (N) = vía neutra sulfatada; Ca = vía cálcica.

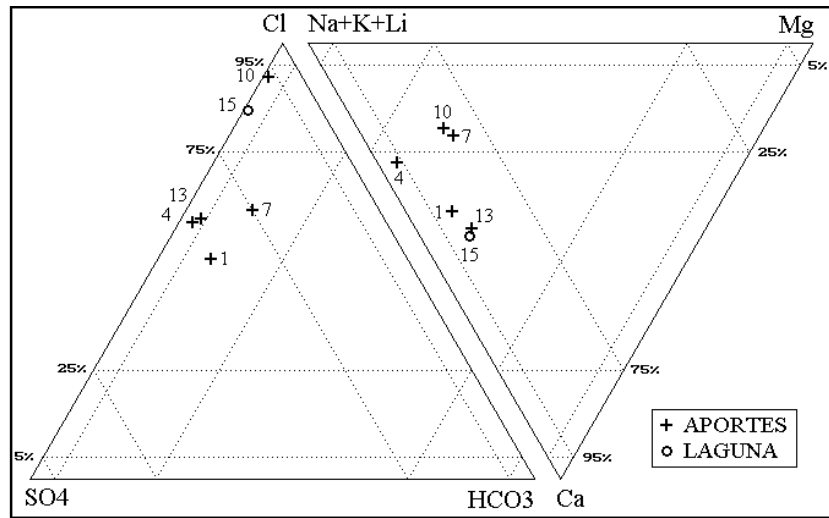


Fig.1: Composición de los aportes y de una laguna del salar de Aguas Calientes 2.

Las cuatro vertientes salobres tienen una composición más o menos homogénea mientras que la vertiente salada tiene una composición aniónica particular, mucho más rica en cloruro. Una primera pregunta se refiere al origen de las altas salinidades de los aportes. Las figuras 2 y 3 presentan las relaciones Na versus Cl y Ca versus SO₄. Los puntos representativos de la vertiente fluyente (1) se encuentran casi exactamente encima de las rectas de equimolaridad Na = Cl y Ca = SO₄, lo que indica una redisolución de halita (NaCl) y yeso (CaSO₄·2H₂O). Es muy probable que el mismo proceso afecta también, en parte, las aguas salobres de aporte (4, 7 y 13) cuyos puntos no se encuentran muy alejados de las rectas equimolares. Al contrario, el agua salada de la vertiente difusa (10) tiene sus puntos más alejados de las rectas, casi como los de la laguna (15). Eso sugiere que la alta salinidad de la vertiente más concentrada se debe a una cuña de la salmuera del salar en la napa que se descarga en esta orilla. La formación sedimentaria más común en este sector con antiguas evaporitas es la Formación San Pedro. No aparece en la cuenca de Aguas Calientes 2, pero podría encontrarse recubierta por niveles volcánicos.

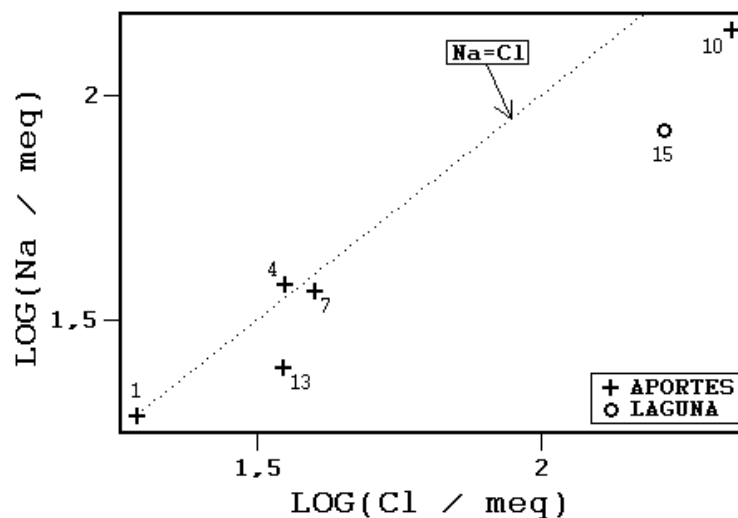


Fig.2 : Relación entre Na y Cl en las aguas del salar de Aguas Calientes 2.

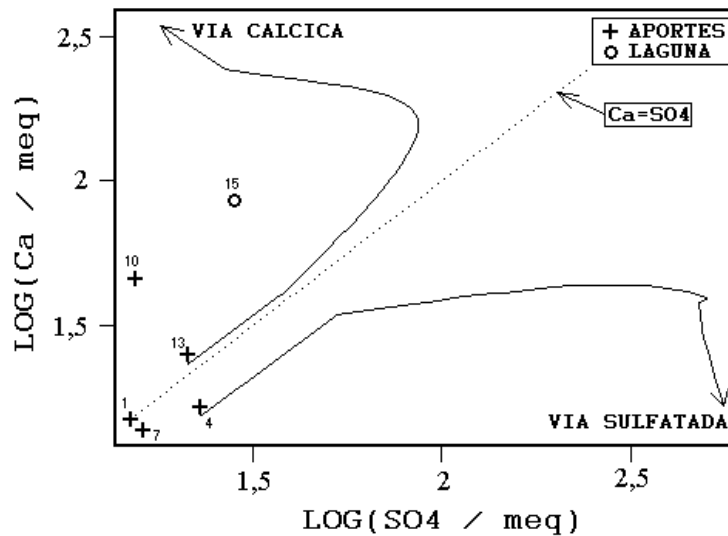


Fig.3 : Relación entre Ca y SO₄ en las aguas del salar de Aguas Calientes 2.

Vías evolutivas y relación con la geología

Tres vertientes salobres (1, 4, 7) siguen la vía evolutiva neutra sulfatada. La vertiente salada (10) y la vertiente salobre (13) siguen la vía cálcica. Dos trayectos evaporatorios típicos quedan representados en la figura 2. Las aguas iniciales (4 y 13) no son muy diferentes. Pero al evaporarse, su composición cambia drásticamente. La laguna estudiada proviene de la evaporación de aportes de vía evolutiva cálcica, y no sulfatada. Sin embargo, faltan muestras de otras lagunas y de la napa subterránea para caracterizar con más precisión la química del salar. Las aguas de aporte no corresponden a la litología superficial de la cuenca. La vía evolutiva cálcica caracteriza terrenos sedimentarios que no aparecen en el mapa geológico. La vía neutra sulfatada puede corresponder tanto a terrenos volcánicos ricos en azufre como a niveles sedimentarios. Pero las altas salinidades excluyen un simple origen a partir de la alteración de rocas volcánicas. Hemos visto que antiguas evaporitas han probablemente contribuido a las altas salinidades de los aportes.

Evolución cuantitativa de aguas

La tabla 1 presenta la composición calculada de todas las aguas de aporte evaporadas por simulación computacional hasta la salinidad de la laguna. La composición de la laguna ha sido equilibrada con la calcita.

| NUMERO | PH | ALC | CL | SO4 | B | SI | NA | K | LI | CA | MG | DESV. |
|------------------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--------------|
| AC2-15.EQ | 7,86 | 0,477 | 5840 | 1320 | 18,3 | 28,5 | 1920 | 196 | 3,61 | 1700 | 231 | |
| AC2-13E | 7,95 | 0,630 | 5040 | 2160 | 22,6 | 32,0 | 2300 | 386 | 4,45 | 1020 | 323 | 0,118 |
| AC2-1E | 8,03 | 0,793 | 4290 | 3000 | 26,4 | 32,1 | 2780 | 120 | 6,24 | 739 | 273 | 0,214 |
| AC2-4E | 8,04 | 0,830 | 4130 | 2990 | 33,1 | 32,2 | 2870 | 365 | 10,6 | 711 | 97,5 | 0,389 |
| AC2-7E | 8,18 | 1,39 | 4610 | 2550 | 56,8 | 32,2 | 2750 | 254 | 9,15 | 368 | 468 | 0,459 |

Tabla 1 : Comparación de las aguas de aporte evaporadas con una laguna del salar de Aguas Calientes 2. (ALC = alcalinidad en meq/l. Otros componentes en mg/l).

El agua de aporte cuya evaporación produce la salmuera más parecida a la de la laguna (15) es la vertiente más cercana (AC2-13). Sin embargo, se nota ciertas discrepancias, especialmente en Ca y SO₄, que indican otros aportes a la laguna.

Calidad de aguas

Es obvio, en vista de las altas salinidades de los aportes, que todas las aguas prelevadas están muy lejos de cumplir con las normas de potabilidad y de uso agrícola. La menos mala es la vertiente (1) con una salinidad 5 veces superior al límite de potabilidad, pero sin exceso de arsénico. El hecho de que las altas salinidades se deban a la redisolución de antiguas evaporitas limita las posibilidades de encontrar aguas netamente más diluidas y en grandes cantidades en la cuenca de Aguas Calientes 2.

Balance hídrico

De las varias lagunas, tenemos datos químicos solamente de una. Según los mapas, la superficie total del agua es de 9 km². Podemos adelantar el orden de magnitud del volumen total de aportes V_{ap} a las lagunas (pero no al salar entero):

$$V_{ap} = S(H_c - H_p) = 12\,150\,000 \text{ m}^3/\text{año} = 385 \text{ l/s}$$

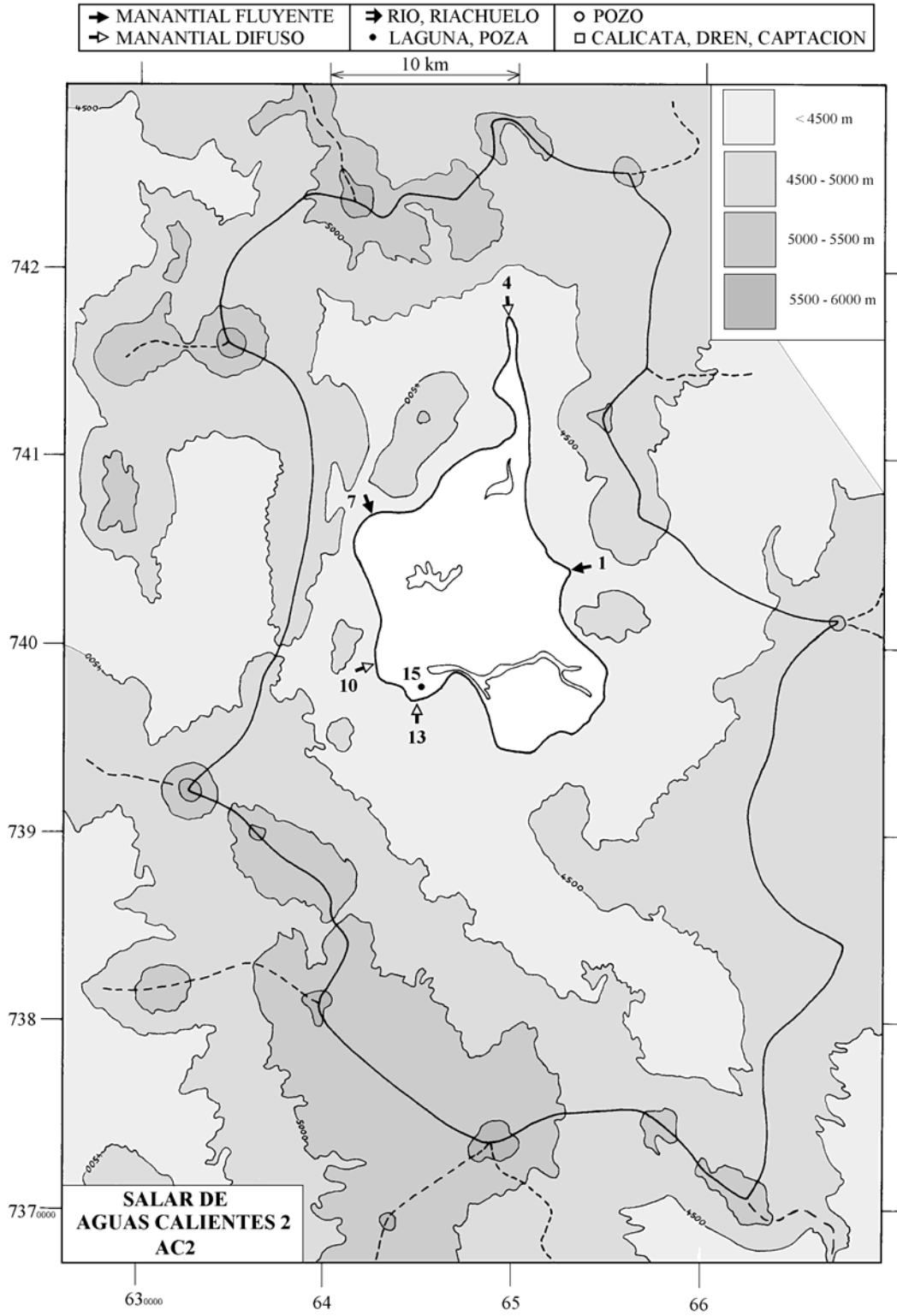
con: $S = 9 \times 10^6 \text{ m}^2$ $H_c = 1,5 \text{ m/año}$ $H_p = 0,15 \text{ m/año}$

Conclusiones

El salar de Aguas Calientes 2 recibe aguas de aporte salobres y saladas de mala calidad. Las sales disueltas en esas aguas provienen de la redisolución de antiguas evaporitas (halita y yeso) que se encuentran enteradas por debajo de las formaciones volcánicas de la cuenca de drenaje. Podría tratarse de la Formación San Pedro bien desarrollada al oeste de la cuenca en el sector del salar de Atacama. La única salmuera superficial analizada es de tipo Na-Ca / Cl. Pero falta contar con mayor cantidad de análisis de las lagunas y de la napa del salar para poder caracterizar más precisamente la química del salar.

Referencias y estudios anteriores

Alonso, H. y Vargas, L. 1988. Hidroquímica de lagunas del Altiplano, Segunda Región. V Congreso Geológico Chileno, Santiago, 8-12 Agosto de 1988, Actas, tomo II, D35-D43.



**SALAR DE AGUAS CALIENTES 2
AC2**

| NUMERO | FECHA | HORA | COORDENADAS UTM | | ALTURA METROS | TIPO DE MUESTRA |
|--------|----------|--------------------|-----------------|---------|------------------|---------------------|
| | | | ESTE | NORTE | | |
| AC2-1 | 11/10/93 | 11 ^H 30 | 653425 | 7404025 | 4200 | Vegas de Chamaca |
| AC2-4 | 11/10/93 | 12 ^H 35 | 649550 | 7417750 | 4250 | Manantial difuso |
| AC2-7 | 11/10/93 | 13 ^H 30 | 642350 | 7406950 | 4230 | Manantial corriente |
| AC2-10 | 11/10/93 | 14 ^H 15 | 642675 | 7398575 | 4200 | Manantial difuso |
| AC2-13 | 13/10/93 | 16 ^H 40 | 645300 | 7396950 | 4200 | Manantial difuso |
| AC2-15 | 13/10/93 | 17 ^H 00 | 645750 | 7398225 | 4200 | Laguna |

| NUMERO | CEL | T | DS | PH | ALC | F | CL | Br | I | SO4 | NO3 | PO4 | B | SI | AS | NH4 | NA | K | LI | CA | MG |
|--------|-------|----|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| AC2-1 | 3500 | 3 | 1,002 | 8,22 | 4,12 | 4,18 | 689 | 0,209 | 0,028 | 720 | 0,12 | nd | 4,23 | 22,1 | 0,046 | 0,14 | 444 | 19,2 | 1,00 | 298 | 43,7 |
| AC2-4 | 5680 | 16 | 1,003 | 9,27 | 1,78 | 3,55 | 1260 | 0,615 | 0,023 | 1100 | 0,19 | nd | 10,1 | 27,0 | 0,485 | 0,25 | 869 | 111 | 3,22 | 329 | 29,6 |
| AC2-7 | 5930 | 15 | 1,004 | 7,28 | 8,60 | 1,98 | 1420 | 0,943 | 0,131 | 781 | nd | 0,5 | 17,4 | 35,0 | 1,19 | 0,16 | 840 | 77,8 | 2,80 | 277 | 143 |
| AC2-10 | 25600 | 17 | 1,010 | 8,03 | 3,34 | 1,18 | 7700 | 2,25 | 0,170 | 743 | 0,12 | 0,1 | 25,5 | 27,5 | 1,76 | 0,11 | 3220 | 234 | 5,83 | 914 | 486 |
| AC2-13 | 5210 | 14 | 1,003 | 7,81 | 2,55 | 1,81 | 1250 | 1,05 | 0,062 | 1030 | 0,06 | nd | 5,57 | 46,8 | 0,734 | 0,25 | 566 | 95,0 | 1,10 | 501 | 79,5 |
| AC2-15 | 16960 | 14 | 1,009 | 7,67 | 1,62 | 1,94 | 5860 | 3,58 | 0,113 | 1350 | 0,99 | 0,1 | 18,3 | 47,3 | 1,38 | 0,14 | 1920 | 196 | 3,61 | 1720 | 231 |

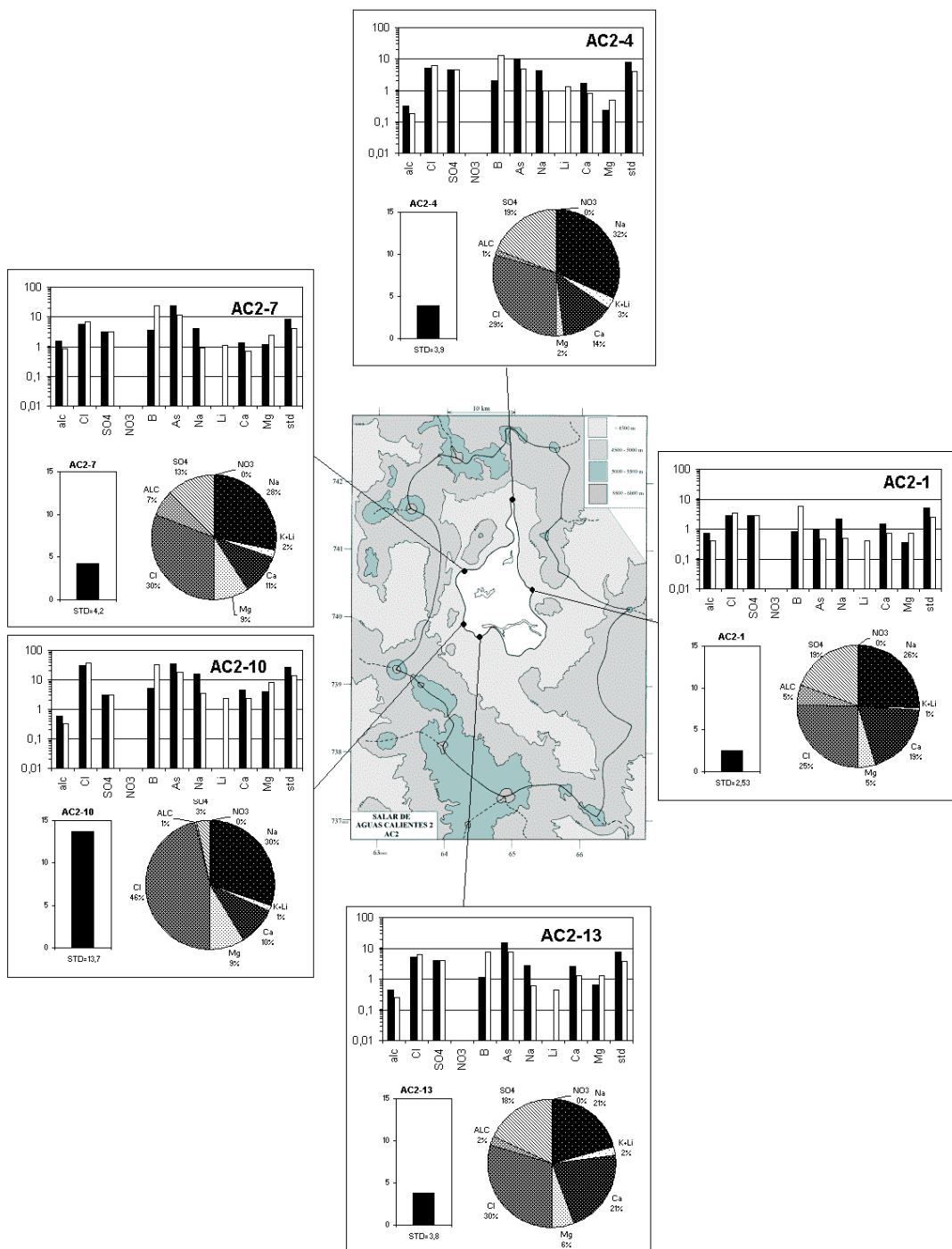
T = temperatura en C. DS = densidad en g/ml. ALC = alcalinidad en meq/l.

CEL = conductividad en micromhos/cm. Otros componentes en mg/l. nd = no detectado. na = no analizado.

| NUMERO | STD | HCO3 | CO3 | CO2 | S(+) | S(-) | DIF. % |
|--------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|
| AC2-1 | 2530 | 239 | 5,16 | 2,9 | 38,42 | 38,74 | 0,83 |
| AC2-4 | 3902 | 37,2 | 13,0 | 0,03 | 59,96 | 60,48 | 0,86 |
| AC2-7 | 4202 | 519 | 2,10 | 40 | 64,50 | 65,01 | 0,79 |
| AC2-10 | 13656 | 170 | 8,52 | 2,1 | 232,4 | 235,9 | 1,5 |
| AC2-13 | 3797 | 148 | 2,40 | 3,5 | 58,74 | 59,26 | 0,88 |
| AC2-15 | 11544 | 88,5 | 2,28 | 2,8 | 193,6 | 195,0 | 0,70 |

Valores calculados (en mg/l). STD = sales totales disueltas.

S(+) = suma de los cationes; S(-) = suma de los aniones (meq/l); DIF.% = diferencia en %



MAPA GEOLOGICO Y VIAS EVOLUTIVAS

AC2

Q : *Cuaternario*. Sedimentos fluviales, lacustres, glaciales, eólicos aluviales, coluviales y laháricos.

TQ1 : *Plioceno - Pleistoceno*. Ignimbritas dacíticas, tobas e intercalaciones de sedimentitas clásticas continentales.

TQ2 : *Plioceno - Pleistoceno*. Coladas, tobas y brechas andesíticas y basálticas con intercalaciones de sedimentitas detríticas.

Picc : *Plioceno*. Depósitos piroclásticos no consolidados de cenizas, pómez y bloques.

Tmp2 : *Mioceno - Plioceno*. Ignimbritas riolíticas y riodacíticas con intercalaciones sedimentarias.

