

PROYECTO CICYT, HID 1999-0205

Salinización Asociada a la Precipitación y a las Aguas Subterráneas en distintas Áreas del Territorio Español Continental e Insular.

Ejecutor: IGME en coordinación con DIT/UPC

Investigador principal: Emilio Custodio (IGME/UPC)
Investigadores asociados: M^{ra}. del Pilar de la Fuente (IGME-Laboratorio)
 Itziar Vázquez (IGME-Laboratorio)
 Loreto Fernández (IGME)
 Luis Moreno Merino (IGME)

Becario: Francisco J. Alcalá (IGME/UPC)

Informe interno n° 4

Título:

Ensayo del valor hidrogeológico de la relación Cl/Br en el acuífero de La Aldea (isla de Gran Canaria) y caracterización de la precipitación

Fecha: Junio 2003

Revisión: Octubre 2003

| | | |
|-----------------|--------------------------|----------|
| <i>Autores:</i> | María del Carmen Cabrera | ULPGC |
| | con la colaboración de: | |
| | Francisco J. Alcalá | IGME/UPC |
| | Emilio Custodio | IGME/UPC |
| | Josefina Muñoz | ULPGC |

Resumen:

A partir de los análisis químicos realizados por el IGME y por AGBAR (ambos mediante cromatografía iónica) se han interpretado los valores de la relación rCl/rBr para muestras de agua de lluvia y aguas subterráneas de la zona de La Aldea (Gran Canaria). El agua de lluvia se tomó en tres colectores instalados a distintas cotas entre octubre de 2000 y mayo de 2002, mientras que las aguas subterráneas de la zona tienen diversas procedencias: aluvial detrítico, basaltos miocenos, muestras afectadas por retornos de riego y otras que incluyen lavado de depósitos hidrotermales enriquecidos en halita.

La deposición total de Cl en el agua de lluvia asciende a 23,7; 4,1 y 2,9 g·m⁻²·año⁻¹ en los tres colectores según aumenta su altitud. La lluvia presenta un origen principal de la salinidad asociado al aerosol marino, con contribución importante de la litología local y ocasionalmente antrópica que aportarían cantidades no cuantificadas de Na, Cl y SO₄. El K, HCO₃ y Ca presenta un origen mayoritario no marino, que puede ser atribuido a la presencia de polvo atmosférico procedente de África. Los valores medios de la relación rCl/rBr para el agua de lluvia oscilan entre 1300 y 1500 para contenidos medios de Cl entre 65 y 550 mg/L, con una amplia dispersión de los resultados consecuencia del muestreo reducido, aportes con distinto origen y otros efectos ambientales.

El valor de rCl/rBr para el agua subterránea oscila entre 630 y 830, excepto para una muestra más claramente afectada por retornos de riego, que presenta un valor de R < 400, posiblemente debido a la adición de abonos y/o plaguicidas. Dos muestras asignadas a agua perteneciente a los basaltos presentan un valor de R ~ 1060, por lo que se apunta la posibilidad de que estas muestras sean principalmente agua de recarga de lluvia local, en contraposición con otros puntos del aluvial que pueden incorporar proporciones importantes de aguas procedentes del interior de la isla.

1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DE LLUVIA DE LA ZONA DE LA ALDEA

1.1. Características del muestreo

El muestreo de agua de lluvia se ha realizado mensualmente desde el inicio de octubre de 2000 a mayo de 2002, mediante 3 captadores de lluvia instalados junto a pluviómetros de la red Pluviométrica del Servicio Hidráulico de Las Palmas (Fig. 1). Se han obtenido pocas muestras al ser un periodo especialmente seco. El método de captación permite recoger lluvia y polvo atmosférico. Los captadores se acondicionaron con aceite de parafina para evitar la evaporación. El volumen de precipitación acumulada mensual se almacenó en un recipiente y posteriormente se analizó. El valor acumulado de los valores mensuales permite obtener la tasa de deposición total de Cl en el periodo. El periodo anual suele ser lo suficientemente amplio como para poder prescindir de transferencias de Cl de un periodo a otro, dado el tipo de vegetación y características geológicas y ambientales de la zona. El captador situado en Las Tabladas fue sustraído en dos ocasiones, optando por no colocarlo de nuevo a partir de mayo de 2001.

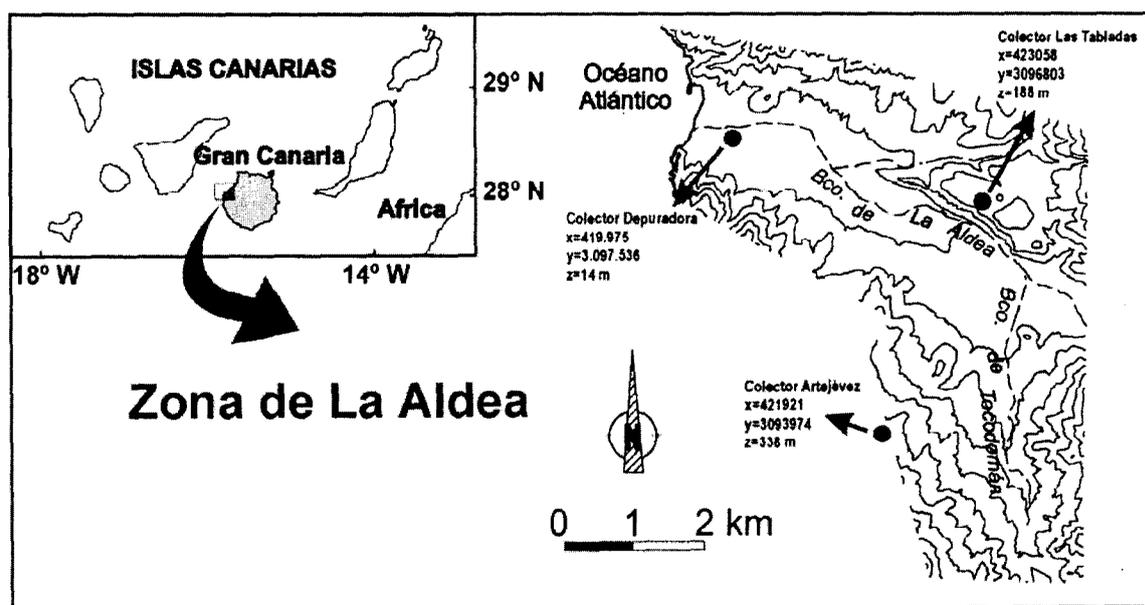


Figura 1. Situación de los captadores de lluvia en el Valle de La Aldea (Gran Canaria)

1.2. Resultados

Los análisis químicos (Tabla I) se han realizado en el Laboratorio del IGME en Tres Cantos (Madrid). La medición de la conductividad eléctrica y pH han sido instrumentales. La determinación de Cl, SO₄ y Br se ha realizado mediante

cromatografía iónica de alto rendimiento (paso lento, HPLC), que permite separar eficazmente los picos del Cl y del Br, y medir el Br con precisión a concentraciones de menos de $5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Custodio y Alcalá-García, 2003; informe nº 1 del proyecto CICYT, HID 1999-0205). El Na y K se han determinado mediante emisión atómica. El resto de sustancias se han determinado mediante espectrofotometría de absorción.

Los valores indicados en la Tabla I muestran concentraciones salinas altas para aguas de lluvia. Se ha observado una alta variación de las concentraciones de SO_4 , HCO_3 , Ca y Mg, con contenidos puntuales muy elevados. Los valores de pH varían de unos colectores a otros. El colector Depuradora, a cota 14 m, presenta un valor de pH básico ($8,1\pm 0,7$), el colector Tabladas, a cota 188 m, presenta un valor de pH = $6,6\pm 2,1$, poco definido por el escaso número de muestras estudiadas, aunque levemente ácido; y el Colector Artejévez, a cota 338 m, presenta un valor de pH = $7,6\pm 0,4$, que tiende a la neutralidad. Se sospecha que inicialmente el pH del agua de lluvia puede ser ácido y la posterior incorporación de polvo atmosférico basifica el agua de lluvia liberando HCO_3 , SO_4 y Ca, además de Na y K, lo que puede explicar el bajo valor de la relación $r\text{Na}/r\text{K}$.

1.3. Estudio hidroquímico

Los parámetros químicos analizados son incompletos en los diferentes colectores (Tabla I), no aportando una información demasiado amplia desde el punto de vista analítico y temporal. Sin embargo, pueden extraerse las siguientes características hidroquímicas:

- Todas las aguas son cloruradas sódicas, excepto la muestra 31-oct-00 del captador Depuradora, en la que existe un alto contenido de HCO_3 . Se supone que las muestras en las que no se ha determinado el Na siguen una tendencia similar.
- Los bajísimos valores de SO_4 de las muestras de 28-nov-01 y 11-feb-02 del colector Artejévez hacen sospechar una probable reducción por contaminación de tipo orgánico; al igual que en la muestra 04/01 del Colector Tabladas, que presenta un acusado exceso de Na y muy bajos valores de SO_4 .
- La muestra 31-dic-00 del colector Depuradora y la muestra de 31-ene-01 del colector Tabladas presentan altos valores en SO_4 , que puede ser debida a una mayor contribución de sales locales sobre las marinas.

Tabla I. Resultados de los análisis químicos de agua de lluvia de la zona de La Aldea (Gran Canaria) realizados en el laboratorio del IGME en Tres Cantos (Madrid)

| 107 (cota 14) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----|---------|--------|---------|-------------------------------------|--------------------|---------|--------|-------|
| Fecha muestreo | pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | P (mm) | AD (mm) | Dep. Total Cl (mg·m ⁻²) | relaciones iónicas | | | |
| | | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B | rCl/rBr | | | | rCl/rSO4 | rNa/rCl | rNa/rK | |
| 31-oct-00 | 8,0 | 1620 | 255 | 0,51 | 193 | | | | 300 | 79 | 28 | | 5,9 | nm | 1505 | 1122 | 1,79 | | |
| 31-dic-00 | 7,7 | 1665 | 163 | 0,16 | 292 | | | | 53 | 19 | 5 | 0,079 | 14,1 | nm | 2295 | 2345 | 0,76 | | |
| 31-ene-01 | 8,2 | 566 | 104 | 0,19 | 34 | | | | 12 | 8 | 2 | 0,032 | 1,6 | nm | 166 | 1248 | 4,11 | | |
| 07-abr-01 | 7,7 | 2503 | 481 | 1,26 | 96 | 333 | 27 | | | | | | 8,6 | nm | 4133 | 858 | 6,82 | 1,07 | 21,34 |
| 30-abr-01 | 8,2 | 1770 | 398 | 0,57 | 111 | 288 | 25 | | | | | | 12,2 | nm | 4851 | 1570 | 4,87 | 1,12 | 19,22 |
| 26-oct-01 | 8,2 | 12865 | 3380 | 5,31 | 851 | 2065 | 114 | | | | | | 3,2 | nm | 10817 | 1432 | 5,39 | 0,94 | 30,67 |
| 28-nov-01 | 8,0 | 411 | 52 | 0,06 | 17 | 32 | 5 | | | | | | 26,5 | nm | 1373 | 2119 | 4,17 | 0,96 | 10,85 |
| 11-feb-02 | 7,3 | 473 | 67 | 0,15 | 28 | 42 | 4 | | | | | | | nm | | 1036 | 3,29 | 0,95 | 17,25 |
| 02-abr-02 | 7,7 | 834 | 160 | 0,41 | 23 | 100 | 32 | | | | | | | nm | | 869 | 9,59 | 0,97 | 5,35 |
| 03-may-02 | 7,6 | 1589 | 405 | 0,97 | 81 | 215 | 18 | | | | | | | nm | | 937 | 6,79 | 0,82 | 19,87 |

| Colector Tabladás, nº 263 (cota 188) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----|---------|--------|---------|-------------------------------------|--------------------|---------|--------|------|
| Fecha muestreo | pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | P (mm) | AD (mm) | Dep. Total Cl (mg·m ⁻²) | relaciones iónicas | | | |
| | | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B | rCl/rBr | | | | rCl/rSO4 | rNa/rCl | rNa/rK | |
| 31-oct-00 | | | 186 | 0,13 | 90 | | | | 490 | 80 | 20 | 0,361 | 2,3 | nm | 427 | 3211 | 2,8 | | |
| 31-dic-00 | 7,9 | 434 | 61 | 0,22 | 48 | | | | 101 | 91 | 12 | 0,351 | 37,7 | nm | 2307 | 626 | 1,75 | | |
| 31-ene-01 | 7,6 | 486 | 64 | 0,10 | 84 | | | | 150 | 59 | 7 | 0,079 | 0,0 | nm | | 1447 | 1,04 | | |
| 30-abr-01 | 7,7 | 310 | 17 | 0,04 | 7 | 15 | 22 | | | | | | 20,4 | nm | 345 | 950 | 3,21 | 1,36 | 1,15 |

| Colector Artejévez, nº 219 (cota 338) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----|---------|--------|---------|-------------------------------------|--------------------|---------|--------|------|
| Fecha muestreo | pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | P (mm) | AD (mm) | Dep. Total Cl (mg·m ⁻²) | relaciones iónicas | | | |
| | | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B | rCl/rBr | | | | rCl/rSO4 | rNa/rCl | rNa/rK | |
| 31-oct-00 | 7,2 | 157 | 198 | 0,11 | 56 | | | | 183 | 78 | 16 | 0,204 | 0,5 | nm | 99 | 4040 | 4,76 | | |
| 31-dic-00 | 8 | 255 | 39 | 0,02 | 10 | | | | 98 | 41 | 7 | 0,116 | 40,0 | nm | 1556 | 4376 | 5,17 | | |
| 31-ene-01 | 7,7 | 102 | 18 | 0,28 | 4 | | | | 85 | 46 | 7 | 0,140 | 0,0 | nm | | 144 | 5,52 | | |
| 30-abr-01 | 7,2 | 157 | 17 | 0,02 | 5 | 13 | 11 | | | | | | 34,4 | nm | 586 | 1916 | 4,81 | 1,18 | 2,06 |
| 26-oct-01 | | | 795 | 0,95 | 209 | 386 | 148 | | | | | | 0,8 | nm | 636 | 1873 | 5,17 | 0,75 | 4,44 |
| 28-nov-01 | 7,5 | 254 | 17 | 0,04 | 0,11 | 13 | 14 | | | | | | 40,9 | nm | 694 | 954 | 209,03 | 1,17 | 1,58 |
| 11-feb-02 | 7 | 122 | 10 | 0,03 | 0,23 | 7 | 10 | | | | | | | nm | | 783 | 61,54 | 1,09 | 1,22 |
| 02-abr-02 | 7,6 | 463 | 52 | 0,23 | 22 | 21 | 63 | | | | | | | nm | | 512 | 3,19 | 0,61 | 0,55 |
| 03-may-02 | 8,1 | 180 | 24 | 0,06 | 5 | 13 | 10 | | | | | | | nm | | 896 | 6,44 | 0,87 | 2,23 |

P Pluviometría mensual en mm
CE Conductividad eléctrica en µS/cm a 25°
pH Valor de pH a 25°
AD Volumen de agua destilada añadido (nm = no medido)

La comparación de los resultados aquí obtenidos con los análisis realizados en el Macizo de Betancuria en Fuerteventura (Herrera, 2001), permiten caracterizar el agua de la zona de La Aldea como más salina que aquella, especialmente en el colector más costero (Depuradora). Los tipos de agua son similares, aunque sin la presencia en La Aldea de las aguas de tipo bicarbonatado cálcico que se encontraban en Fuerteventura en alguna muestra de menor salinidad.

La Tabla II incluye algunos parámetros estadísticos de la precipitación recogida, contenidos de los diferentes compuestos y relaciones iónicas. El número reducido de muestras estudiadas conlleva inevitablemente una incertidumbre importante de los resultados, en relación con la heterogeneidad de la precipitación, importantes variaciones del contenido y origen salino, de acuerdo con peculiaridades climáticas y ambientales de la zona.

Tabla II. Caracterización de la precipitación, composición química de la deposición total y algunas relaciones iónicas

| Colector Depuradora, nº 107 (cota 14) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------|--------------------|----------------------|---------|--------|------|
| pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | relaciones iónicas | | | | |
| | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B ³⁺ | P (mm) | rCl/rBr | rCl/rSO ₄ | rNa/rCl | rNa/rK | |
| n | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 7 | 7 | 3 | 3 | 3 | 2 | 7 | 10 | 10 | 7 | 7 |
| Σ | | 5465 | 9,6 | 1724 | 3075 | 226 | 365 | 106 | 35,0 | 0,11 | 72,1 | | | | | |
| x | 8,1 | 2430 | 546,5 | 0,96 | 172,4 | 385,3 | 29,1 | 121,7 | 35,3 | 11,7 | 0,06 | 10,3 | 1328 | 5,2 | 1,7 | 16,4 |
| σn | 0,7 | 3538 | 955,4 | 1,50 | 240,7 | 645,1 | 33,7 | 155,8 | 38,2 | 14,2 | 0,03 | 7,8 | 459 | 2,8 | 2,0 | 7,8 |
| m | 7,9 | 1605 | 209,1 | 0,46 | 88,2 | 215,4 | 25,4 | 53,0 | 19,0 | 5,0 | 0,06 | 8,6 | 1177 | 4,5 | 1,0 | 19,2 |
| m/x | 0,97 | 0,66 | 0,38 | 0,48 | 0,51 | 0,56 | 0,87 | 0,44 | 0,54 | 0,43 | 1,00 | 0,84 | 0,89 | 0,86 | 0,56 | 1,17 |

| Colector Tabiadas, nº 263 (cota 188) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------|--------------------|----------------------|---------|--------|------|
| pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | relaciones iónicas | | | | |
| | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B ³⁺ | P (mm) | rCl/rBr | rCl/rSO ₄ | rNa/rCl | rNa/rK | |
| n | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| Σ | | 327,9 | 0,49 | 228,5 | 14,87 | 22,0 | 741 | 230 | 39,0 | 0,79 | 60,4 | | | | | |
| x | 6,6 | 308 | 66,4 | 0,90 | 46,5 | 14,9 | 22,0 | 247,0 | 76,7 | 13,0 | 0,26 | 12,9 | 1247 | 2,6 | 1,4 | 1,2 |
| σn | 2,1 | 187 | 64,1 | 1,55 | 36,5 | | | 211,9 | 16,3 | 6,6 | 0,16 | 14,3 | 1088 | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| m | 7,7 | 434 | 62,8 | 0,12 | 65,8 | 14,9 | 22,0 | 150,0 | 80,0 | 12,0 | 0,35 | 11,4 | 1198 | 2,3 | 1,4 | 1,2 |
| m/x | 1,18 | 1,41 | 0,95 | 0,13 | 1,41 | 1,00 | 1,00 | 0,61 | 1,04 | 0,92 | 1,33 | 0,88 | 0,96 | 0,89 | 1,00 | 1,00 |

| Colector Artejévez, nº 219 (cota 338) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------|--------------------|----------------------|---------|--------|------|
| pH | CE | aniones y cationes en mg/L | | | | | | | | | | relaciones iónicas | | | | |
| | | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | B ³⁺ | P (mm) | rCl/rBr | rCl/rSO ₄ | rNa/rCl | rNa/rK | |
| n | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 8 | 9 | 6 | 6 |
| Σ | | 1170 | 1,745 | 311,8 | 453,1 | 256 | 366 | 165 | 30,0 | 0,46 | 116,6 | | | | | |
| x | 7,6 | 189 | 117,9 | 0,20 | 34,6 | 65,6 | 37,4 | 122,0 | 55,0 | 10,0 | 0,15 | 19,4 | 1432 | 31,5 | 1,7 | 2,6 |
| σn | 0,4 | 120 | 231,9 | 0,30 | 63,7 | 130,8 | 48,7 | 53,2 | 20,1 | 5,2 | 0,05 | 19,1 | 1252 | 61,5 | 1,8 | 1,8 |
| m | 7,6 | 169 | 23,9 | 0,05 | 5,0 | 13,3 | 12,3 | 98,0 | 46,0 | 7,0 | 0,14 | 17,6 | 925 | 5,2 | 1,0 | 1,8 |
| m/x | 0,99 | 0,89 | 0,20 | 0,24 | 0,15 | 0,20 | 0,33 | 0,80 | 0,84 | 0,70 | 0,91 | 0,91 | 0,65 | 0,16 | 0,59 | 0,70 |

n número de muestras P pluviometría en mm/mes
 Σ Cantidad acumulada durante todo el periodo estudiado CE Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18°
 x valor medio
 σn desviación típica
 m mediana

1.3.1. Análisis de los coeficientes de correlación de las sustancias estudiadas

Un análisis de coeficientes de correlación para las muestras de los diferentes colectores indica, de forma general, la existencia de grupos de variables bien relacionadas respecto de otras con una correlación escasa o nula (Tabla III).

Tabla III. Matrices de coeficientes de correlación de las diversas variables estudiadas en los colectores Depuradora, Tabladas y Artejévez. El B no ha sido incluido en el colector Depuradora porque sólo ha sido determinado en 2 muestras. En negrita se indican aquellos valores superiores a $\pm 0,7$.

| Colector Depuradora, nº 107 (cota 14) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|---|
| | pH | CE | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ⁼ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | P |
| pH | 1 | | | | | | | | | | |
| CE | 0,19 | 1 | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 0,20 | 1,00 | 1 | | | | | | | | |
| Br ⁻ | 0,15 | 0,99 | 0,99 | 1 | | | | | | | |
| SO ₄ ⁼ | 0,19 | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 1 | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,34 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 1 | | | | | |
| K ⁺ | 0,19 | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 1 | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | -0,02 | 0,58 | 0,96 | 0,98 | 0,27 | | | 1 | | | |
| Ca ⁺⁺ | -0,03 | 0,59 | 0,97 | 0,98 | 0,28 | | | 1,00 | 1 | | |
| Mg ⁺⁺ | 0,01 | 0,56 | 0,96 | 0,98 | 0,24 | | | 1,00 | 1,00 | 1 | |
| P | -0,30 | 0,87 | 0,85 | 0,83 | 0,91 | 0,93 | 0,93 | -0,05 | -0,03 | -0,07 | 1 |

| Colector Tabladas, nº 263 (cota 188) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------|---|
| | pH | CE | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ⁼ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | B | P |
| pH | 1 | | | | | | | | | |
| CE | -0,10 | 1 | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 0,13 | 0,97 | 1 | | | | | | | |
| Br ⁻ | 0,79 | 0,54 | 0,28 | 1 | | | | | | |
| SO ₄ ⁼ | -0,30 | 0,98 | 0,77 | 0,33 | 1 | | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | -1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,39 | 0,69 | 1 | | | | |
| Ca ⁺⁺ | 1,00 | -1,00 | 0,16 | 0,90 | -0,67 | 0,06 | 1 | | | |
| Mg ⁺⁺ | 1,00 | -1,00 | 0,92 | 0,11 | 0,26 | 0,87 | 0,54 | 1 | | |
| B | 1,00 | -1,00 | 0,51 | 0,67 | -0,36 | 0,42 | 0,93 | 0,81 | 1 | |
| P | 0,97 | -0,33 | -0,49 | 0,51 | -0,65 | -0,55 | 0,80 | -0,08 | 0,52 | 1 |

| Colector Artejévez, nº 219 (cota 338) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------|---|
| | pH | CE | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ⁼ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | B | P |
| pH | 1 | | | | | | | | | | | |
| CE | 0,26 | 1 | | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | -0,24 | 0,01 | 1 | | | | | | | | | |
| Br ⁻ | 0,26 | 0,28 | 0,91 | 1 | | | | | | | | |
| SO ₄ ⁼ | -0,21 | 0,14 | 1,00 | 0,90 | 1 | | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,49 | 0,91 | 1,00 | 0,98 | 1,00 | 1 | | | | | | |
| K ⁺ | 0,16 | 0,95 | 0,94 | 0,98 | 0,96 | 0,936 | 1 | | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | -0,88 | -0,04 | 1,00 | -0,63 | 1,00 | | | 1 | | | | |
| Ca ⁺⁺ | -0,97 | -0,28 | 0,97 | -0,42 | 0,97 | | | 0,97 | 1 | | | |
| Mg ⁺⁺ | -0,93 | -0,16 | 0,99 | -0,53 | 0,99 | | | 0,99 | 0,99 | 1 | | |
| B | -0,99 | -0,41 | 0,93 | -0,29 | 0,93 | | | 0,93 | 0,99 | 0,96 | 1 | |
| P | 0,25 | 0,82 | -0,54 | -0,56 | -0,56 | -0,99 | -0,99 | -0,38 | -0,60 | -0,49 | -0,70 | 1 |

1.3.1.1. Colector Depuradora

| Variable | Grado de Correlación | | | Comentarios |
|------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------|
| | Bueno (> 70 %) | Moderado (30-70 %) | Escaso (< 30%) | |
| pH | | Na, P | Resto de variables | Aporte silicatos |
| CE | Cl, Br, SO ₄ , Na, K, P | HCO ₃ , Ca, Mg | pH | |
| Cl | Resto de variables | | pH | |
| Br | Resto de variables | | pH | |
| SO ₄ | Resto de variables | | pH, HCO ₃ , Ca, Mg | Alteración |
| Na | Resto de variables | pH | | Aporte silicatos |
| K | Resto de variables | | pH | |
| HCO ₃ | Resto de variables | CE | pH, SO ₄ , Na, K, P | |
| Ca | Resto de variables | CE | pH, SO ₄ , P | |
| Mg | Resto de variables | CE | pH, SO ₄ , P | |
| B | --- | --- | --- | Solo 2 muestras |
| P | Resto de variables | pH | HCO ₃ , Ca, Mg | |

1.3.1.2. Colector Tabladas

| Variable | Grado de Correlación | | | Comentarios |
|------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|---------------|
| | Bueno (> 70 %) | Moderado (30-70 %) | Escaso (< 30%) | |
| pH | Resto de variables | SO ₄ | CE, Cl | Alteración |
| CE | Resto de variables | Br, P | pH | Alteración |
| Cl | Resto de variables | B, P | pH, Br, Ca | |
| Br | pH, Ca | Resto de variables | Cl, Mg | |
| SO ₄ | CE, Cl | Resto de variables | Mg | Origen marino |
| HCO ₃ | pH, CE, Cl, Mg | Resto de variables | Ca | Concentración |
| Ca | Resto de variables | Br, B, P | Cl, HCO ₃ | |
| Mg | Resto de variables | Ca | Br, SO ₄ , P | |
| B | pH, CE, Ca, Mg | Resto de variables | | |
| P | pH, Ca | Resto de variables | Mg | |

1.3.1.3. Colector Artejévez

| Variable | Grado de Correlación | | | Comentarios |
|------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | Bueno (> 70 %) | Moderado (30-70 %) | Escaso (< 30%) | |
| pH | HCO ₃ , Ca, Mg, B | Na | Resto de variables | Aporte silicatos |
| CE | Na, K, P | B | Resto de variables | |
| Cl | Resto de variables | P | pH, CE | |
| Br | Cl, Na, K | Resto de variables | pH, CE, B | |
| SO ₄ | Resto de variables | P | pH, CE | Origen marino |
| Na | Resto de variables | pH | | Aporte silicatos |
| K | Resto de variables | pH | | Aporte silicatos |
| HCO ₃ | Resto de variables | Br, P | CE | |
| Ca | Resto de variables | Br, P | CE | |
| Mg | Resto de variables | Br, P | CE | |
| B | Resto de variables | CE, P | Br | |
| P | CE, Na, K | Resto de variables | pH | |

Los escasos análisis realizados, algunos de ellos incompletos, no han permitido obtener criterios válidos de correlación para el HCO_3 , Ca, Mg y B en el colector Depuradora, y para el Na y K en el colector Artejévez. Se ha observado que el índice de correlación para una misma sustancia es muy variable de un colector a otro.

Los resultados obtenidos en cada colector indican buena correlación entre sustancias que, a priori, derivan de diferentes fuentes de salinidad. De forma general, salvo en el colector Depuradora, existe escasa correlación entre Cl, Na, SO_4 y Br que inicialmente han de asociarse a un origen marino. La correlación de la precipitación con Ca y HCO_3 es buena en todos los colectores, salvo en el colector Depuradora, lo que induce a pensar que su origen no es marino. El SO_4 está habitualmente bien correlacionado con el resto de sustancias aunque presenta una correlación escasa respecto al pH. El Cl presenta, en general, buena correlación con el resto de variables, al igual que el Na y K. El HCO_3 muestra buena correlación positiva con el Cl, variable con el SO_4 , y buena y negativa con el pH. La correlación del Na con el pH, y en parte del K con el pH, puede indicar un aporte por alteración de silicatos.

1.3.2. Estudio de las relaciones iónicas

Todos los colectores presentan valores medios de $r_{\text{Cl}/r_{\text{Br}}}$ superiores al típico marino (655 ± 4), entre 1200 y 1400 (Tabla II). Los valores de $r_{\text{Cl}/r_{\text{Br}}}$ obtenidos a partir de la cantidad acumulada de Cl y Br en cada estación para todo el periodo de estudio (Tabla II) oscilan entre 1300 y 1500, similares a los anteriores. Este cálculo, a partir de valores acumulados, se justifica para minimizar los posibles errores de determinación de Br de unas muestras a otras y de esta forma obtener un valor conjunto más representativo. La Figura 2 muestra la representación gráfica de la relación $r_{\text{Cl}/r_{\text{Br}}}$ vs. Cl en las aguas de lluvia, indicando el captador de donde procede cada muestra.

El captador Depuradora, situado cerca del mar y en una zona muy ventosa, presenta valores de R más bajos que los otros 2 colectores ($R \sim 1300$), aunque son sistemáticamente superiores al marino y con una gran variación del contenido de Cl. En el colector Tabladas, a cota 188 m, $R \sim 1500$, habiéndose constatado valores puntuales muy bajos que pueden estar asociados a un aporte mineral de origen no marino (litológico, agrícola u otros). Los valores de R para el colector Artejévez (situado a cota 338 m) son muy variables. A partir de los contenidos acumulados de Cl y Br se ha obtenido un valor de $R \sim 1500$ para niveles de salinidad bajos.

Los valores medios de $r_{\text{Cl}/r_{\text{SO}_4}}$ son inferiores al marino en los tres colectores (Tabla II). El valor de $r_{\text{Cl}/r_{\text{SO}_4}}$ obtenido a partir del contenido

acumulado de Cl y SO₄ en los colectores Depuradora, Tabladas y Artejévez son inferiores al valor marino y respectivamente de 4,3; 1,9 y 5,1. Los valores más bajos en el Colector de Tabladas deben estar asociados a una mayor contribución relativa de aportes salinos diferentes al marino, que pueden estar ligados al polvo atmosférico o tener un origen antrópico.

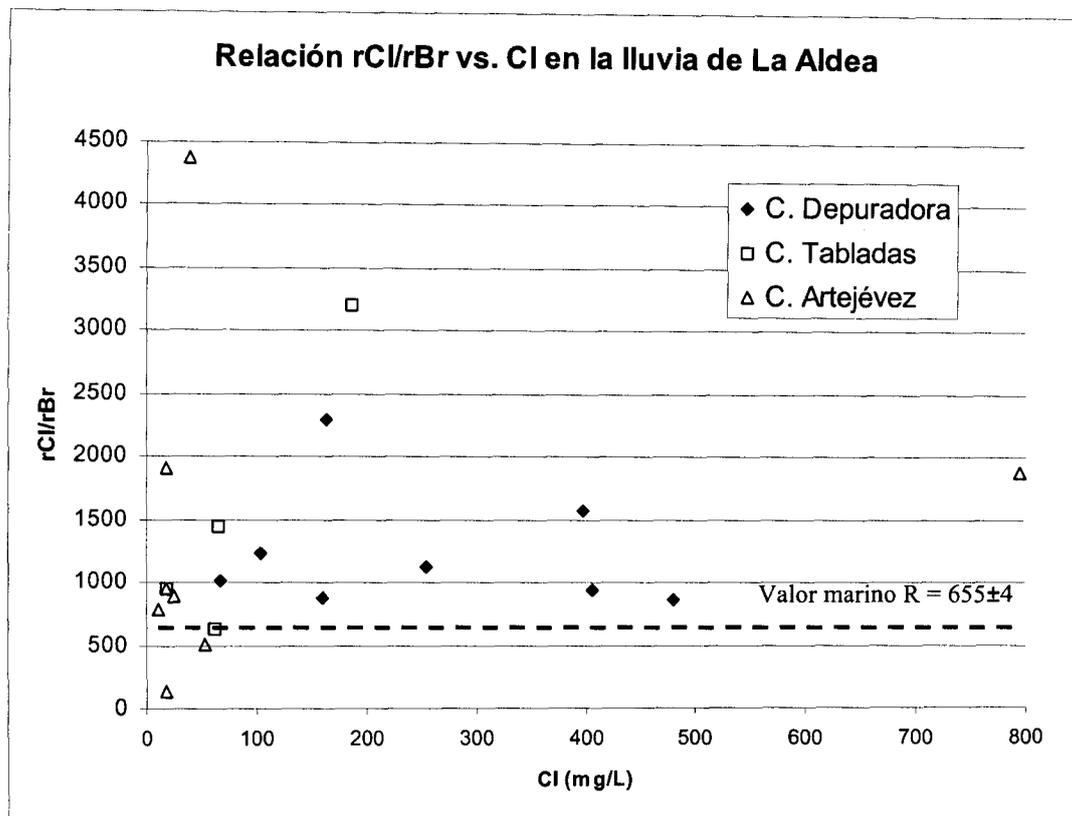


Figura 2. Relación rCl/rBr vs. Cl de las muestras de lluvia de los colectores instalados en La Aldea

Los valores medios de rNa/rCl para cada colector (Tabla II) difieren del valor obtenido en cada colector a partir de las cantidades acumuladas de Na y K; que han sido respectivamente para los colectores Depuradora, Tabladas y Artejévez de 0,96; 1,35 y 0,76. Dichos valores indican cierta contribución de Na, posiblemente de origen litológico, en los colectores Depuradora y especialmente en Tabladas; mientras que en el colector Artejévez el valor inferior al marino parece indicar cierta contribución de Cl.

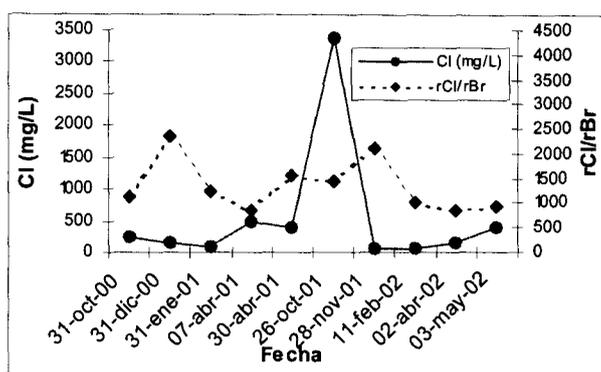
Los valores medios de rNa/rK en los tres colectores son inferiores al marino (Tabla II) y similares a los obtenidos mediante acumulación del contenido de Na y K, lo que debe estar asociado a un aporte externo mayor de K que de Na. Se observa un mayor contribución relativa de K respecto de Na en los colectores de Tabladas y Artejévez, con valores respectivamente de 1,2

y 3,0; respecto al colector Depuradora, con valores de 23,2; asociado a una mayor contribución marina.

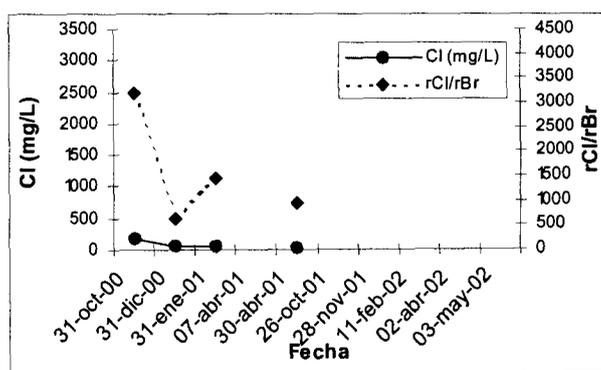
Los valores de relaciones iónicas que hacen referencia al valor marino se han tomado de Custodio y Llamas (1983; Cap. 12.2; pág. 1080).

1.3.3. Evolución temporal del contenido de Cl y de la relación rCl/rBr

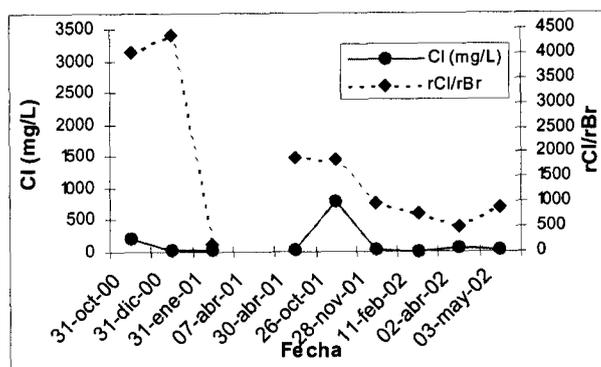
La Figura 3 recoge la evolución temporal de los contenidos en Cl (mg/L) y de la relación rCl/rBr en los tres captadores de agua de lluvia.



a) Colector Depuradora



b) Colector Tabladas



a) Colector Artejévez

Figura 3. Evolución temporal de los contenidos en Cl y rCl/rBr para las aguas de lluvia en los tres captadores de la zona de La Aldea

Se han obtenido valores anormalmente altos de CI en las muestras de octubre de 2001 en los tres colectores, más pronunciado en el captador Depuradora que en el captador Artejévez (no se dispone de muestra del captador Tabladas), que van asociados a los valores más altos de R. Este aumento de CI y de R se observa de forma generalizada entre marzo y octubre de 2001, asociado a un periodo sin lluvia de 6 meses (Fig. 4) y velocidades del viento altas (Fig. 5) que dan lugar a que el mar esté muy abatido por el oleaje y que se produzca un mayor aporte y posterior lavado de polvo atmosférico depositado en los colectores durante este tiempo.

En enero de 2002, justo después de un periodo lluvioso (Fig. 4) y de escaso viento (Fig. 5) se detectan valores bajos de rCI/rBr en los colectores Artejévez y Tabladas; posiblemente asociados a un lavado de la atmósfera y menor aporte de sales marinas en el polvo atmosférico. Igual circunstancia se observa en las muestras de abril y mayo de 2002 de los colectores Artejévez y Depuradora (no se dispone de muestra del captador Tabladas).

Los valores bajos de la relación rCI/rBr de febrero de 2001 y 2002 en el captador de Artejévez deben estar asociados a un aporte de Br producto de ciertas actividades antrópicas, como el quemado de plásticos en la agricultura intensiva, hipótesis que aun no se ha confirmado.

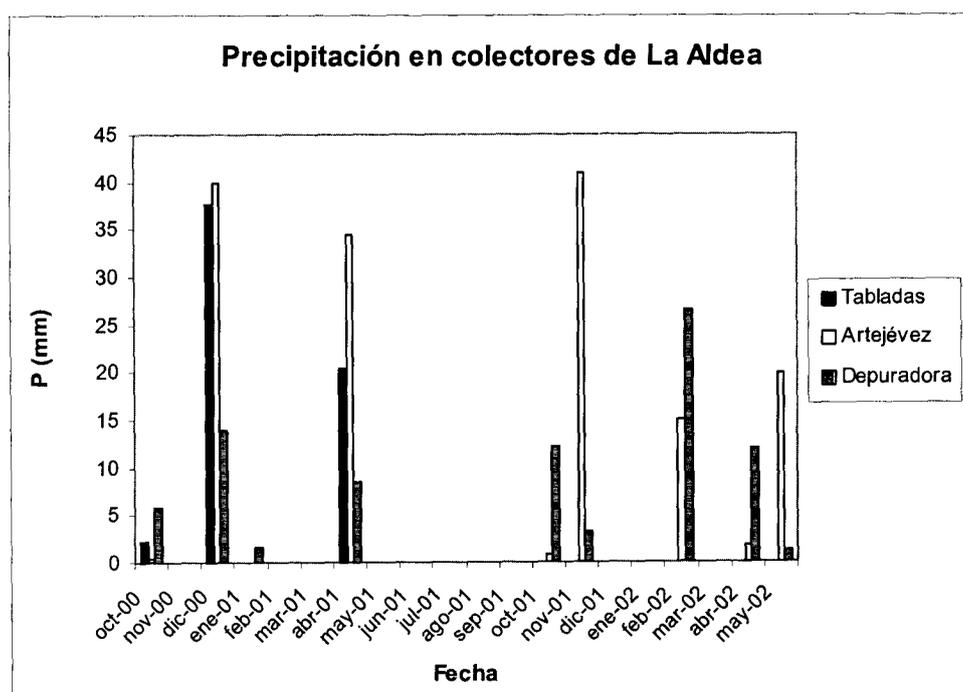


Figura 4. Histograma representativo de las precipitaciones recogidas en los pluviómetros situados junto a los captadores de lluvia de la zona de La Aldea (Gran Canaria)

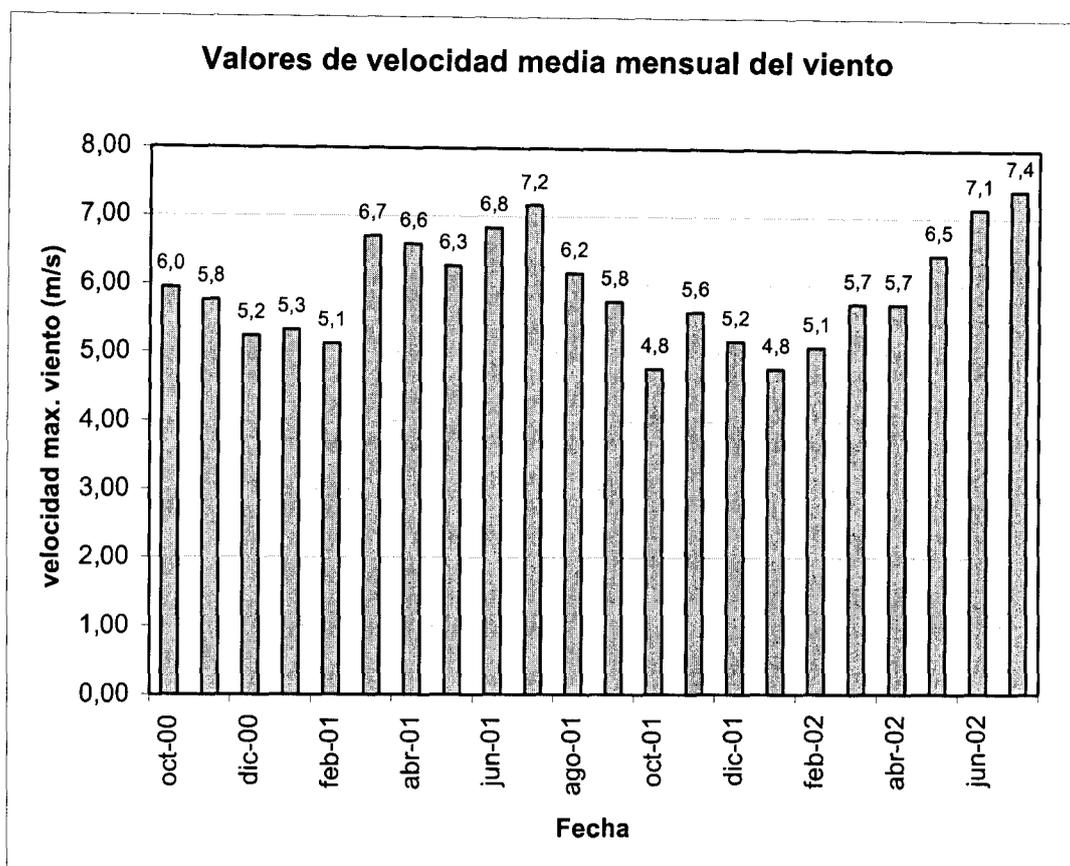


Figura 5. Histograma con la velocidad media mensual del viento tomado en una estación automatizada situada en el núcleo urbano de la población de San Nicolás de Tolentino, a cota 37 m

1.4. Deposición total de Cl

Los valores de deposición total de Cl obtenidos cada mes permiten obtener el valor anual de deposición total de Cl por acumulación del valor obtenido en cada periodo mensual. Los valores obtenidos (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) para los colectores Depuradora, Tabladas y Artejévez han sido de 23,7; 4,1 y 2,9 respectivamente. En la Tabla IV se indican dichos valores y otras características geográficas de interés.

Tabla IV. Caracterización geográfica y valores de deposición total de Cl de los colectores estudiados

| | Fecha de inicio | Fecha de finalización | P (mm) anual | Dep. Total ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) | Cota (m) | Distancia al mar (km) |
|------------|-----------------|-----------------------|--------------|---|----------|-----------------------|
| Depuradora | 31-oct-00 | 28-nov-01 | 45,6 | 23,7 | 14 | ~ 0,5 |
| Tabladas | 31-oct-00 | 30-abr-01 | 60,5 | 4,1 | 188 | ~ 4 |
| Artejévez | 31-oct-00 | 28-nov-01 | 75,8 | 2,9 | 338 | ~ 4 |

El colector Tabladas sólo ha funcionado durante 7 meses (Tabla IV). La lluvia recogida durante estos 7 meses corresponde a la caída durante todo el año en los 3 colectores (Tabla I). El cálculo de la deposición total anual de Cl en este colector se ha estimado extrapolando el valor de deposición total obtenido en 7 meses (periodo con precipitación) respecto al producido en los otros 2 colectores para todo el periodo anual. Este valor obtenido se ha de considerar con las reservas oportunas. En la Figura 6 se indican las relaciones obtenidas entre los valores de deposición total calculados (Tabla IV).

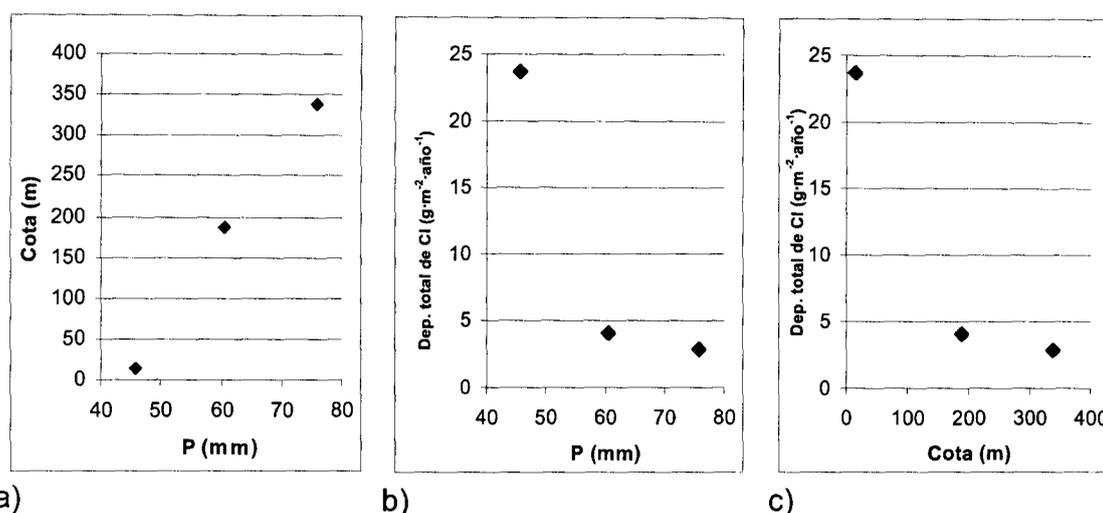


Figura 6. Relación entre variables estudiadas y deposición total. a): relación entre cota topográfica y precipitación total anual; b): relación entre la deposición total de Cl y precipitación total anual; c): relación entre la deposición total de Cl y cota topográfica

Se ha observado un aumento lineal de la precipitación respecto a la cota topográfica (Fig. 6a), aún cuando los valores de precipitación son bajos y responden a condiciones puntuales del año estudiado. El gradiente obtenido es de 20 mm/100 m, algo inferior a los 35 mm/100 m obtenidos por Gasparini (1989) para una estación más lluviosa en la vertiente sur de Gran Canaria.

Asimismo se observa una disminución de la deposición total de Cl respecto al aumento de cota topográfica (Fig. 6c). Considerando la incertidumbre que ocasiona el reducido periodo temporal estudiado, las diferentes fuentes posibles de aporte de Cl y la incertidumbre en la estimación del valor de deposición total del colector Tabladas, se ha obtenido un gradiente de $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}/100 \text{ m}$, algo superior al obtenido por Gasparini (1989) de $\sim 3,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}/100 \text{ m}$.

El valor anual de deposición total de Cl obtenido en el colector más costero (Depuradora) es muy superior al obtenido en los colectores del interior (Tabladas y Artejévez). Ambos están situados a $\sim 4 \text{ km}$ del mar, pero a

diferente cota topográfica (188 y 338 m.s.n.m. respectivamente). El gradiente de deposición total de Cl respecto a la distancia al mar para un incremento topográfico medio (colector Tabladas) y para un incremento topográfico alto (colector Artejévez) es respectivamente de 4,4 y 4,7 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$.

Con los datos disponibles se observa un alto rango de variación de los gradientes de deposición total de Cl, que es consecuencia del efecto de dilución del contenido salino con el aumento de precipitación a cotas más elevadas, la variación de aportes de Cl de origen no marino, direcciones del viento y otros efectos locales. Los valores obtenidos quedan dentro del mismo orden de magnitud que los obtenidos por Gasparini (1989), aunque algo superiores en todos los casos.

1.5. Conclusiones

La lluvia de la zona costera presenta un origen principal de la salinidad asociado al aerosol marino, aunque pueden existir otras contribuciones de la litología local, ocasionalmente antrópica, que podría aportar contenidos importantes de SO_4 en el polvo atmosférico, lo que puede tener un peso importante después de prolongados tiempos sin lluvia. El K, HCO_3 y Ca presenta un origen mayoritario no marino.

Los colectores Depuradora y Artejévez presentan un valor de R ~ 1500; mientras que en el colector Tabladas, R ~ 1300, debe asociarse a una mayor contribución de Br tal vez de origen antrópico, aspecto que debe comprobarse. Todos ellos son claramente superiores al marino y no totalmente asociados a un origen marino. Los valores del resto de relaciones iónicas son claramente diferentes al marino y se relacionan con una influencia variable no cuantificada de polvo atmosférico de origen antrópico y litológico. Este aspecto es más visible en el colector Tabladas, algo menos en el colector Artejévez y mucho más atenuado por la mayor influencia marina en el colector Depuradora.

Los valores de deposición total de Cl (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) desde octubre de 2000 a noviembre de 2001, para los colectores Depuradora, Tabladas y Artejévez, han sido respectivamente de 23,7; 4,1 y 2,9. El valor de Tabladas se ha de considerar con reservas al haberse estimado únicamente a partir de 7 meses de medidas.

Los datos disponibles indican un alto rango de variación de los gradientes de deposición total de Cl, que es la posible consecuencia del efecto de dilución del contenido salino con el aumento de precipitación, la variación de aportes de Cl de origen no marino, direcciones del viento y otros efectos locales; además del reducido periodo de observación considerado.

2. ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

2.1. Características y equipo de estudio

Se ha realizado el estudio de la relación Cl/Br en algunas muestras tomadas en el Barranco de LA ALDEA (Gran Canaria). Las muestras fueron tomadas en tres muestreos que posteriormente se analizaron en tres laboratorios diferentes:

abril de 1999 (enviadas a AGBAR)

abril de 2001 (enviadas a IGME)

febrero y junio de 2002 (enviadas a IGME)

El objetivo del estudio es determinar el valor de rCl/rBr en muestras del acuífero de La Aldea, cuyas aguas están afectadas por varios tipos de salinidad de origen conocido. Las características sobre el muestreo realizado se especifican en la Tabla 1.

2.2. Características geológicas e hidrogeológicas del acuífero

El Valle de La Aldea (Fig. 1) se puede describir como un lecho de barranco excavado en Basaltos Miocenos (sucesión de coladas y piroclastos de caída). En la parte superior del barranco afloran materiales de la Fm. Traquítico-Riolítica (tobas, ignimbritas y lavas), en contacto tectónico con los basaltos. Al NE de la zona destaca un relieve residual denominado Las Tabladas, en el que afloran materiales sedimentarios y depósitos volcánicos más modernos. El lecho del barranco consiste en una capa de conglomerados aluviales, con un espesor medio de 15-20 m. Todos los pozos situados en la parte central del acuífero explotan agua de los conglomerados aluviales, aunque algunos llegan a los basaltos, extrayendo agua conjuntamente de ambos materiales (SPA-15, 1975; MAC-21, 1980). Los basaltos funcionan como un acuitardo frente a los conglomerados, que constituyen el acuífero principal (Muñoz *et al.*, 1996). En total hay más de 300 captaciones en la zona (pozos de gran diámetro) cuya explotación intensiva intensifica el flujo desde los materiales basálticos a los conglomerados. A esta recarga se une la recarga en superficie de eventuales escorrentías, infiltraciones de canales que proceden de aguas arriba y retornos de riego. La transmisividad media del acuífero basáltico es de 70 m²/día y la del sistema aluvial de 1000-3500 m²/día. Sólo se observa intrusión marina muy local en algún pozo de la zona costera.

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, el acuífero se caracteriza por un flujo de aguas arriba de agua de buena calidad por el aluvial que sufre una

progresiva mezcla con aguas salinas a lo largo de su recorrido hacia el mar. Existen tres fuentes distintas de salinidad (Cabrera *et al.*, 2000): aguas procedentes de Las Tabladas (al NE), con una contaminación de origen geológico por lavado de unos depósitos hidrotermales llamados azulejos (cloruradas sódicas, con conductividades eléctricas que pueden llegar a los 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$); aguas con salinidad asociada a la presencia de retornos de riego (con altos contenidos en nitratos); y aguas cloruradas magnésicas salinas en Basaltos (situadas en el Barranco del Salobre, al SE del acuífero principal). Durante épocas de sequía y al disminuir el flujo de agua dulce procedente de aguas arriba, de recarga más o menos rápida, se reduce la dilución de las aguas salinas antes indicadas, lo cual conlleva un aumento en la salinidad del agua explotada procedente del aluvial. El tiempo de renovación del agua en el acuífero aluvial es muy pequeño, quizás de meses en años secos, por lo que la comparación de muestras puede resultar difícil.

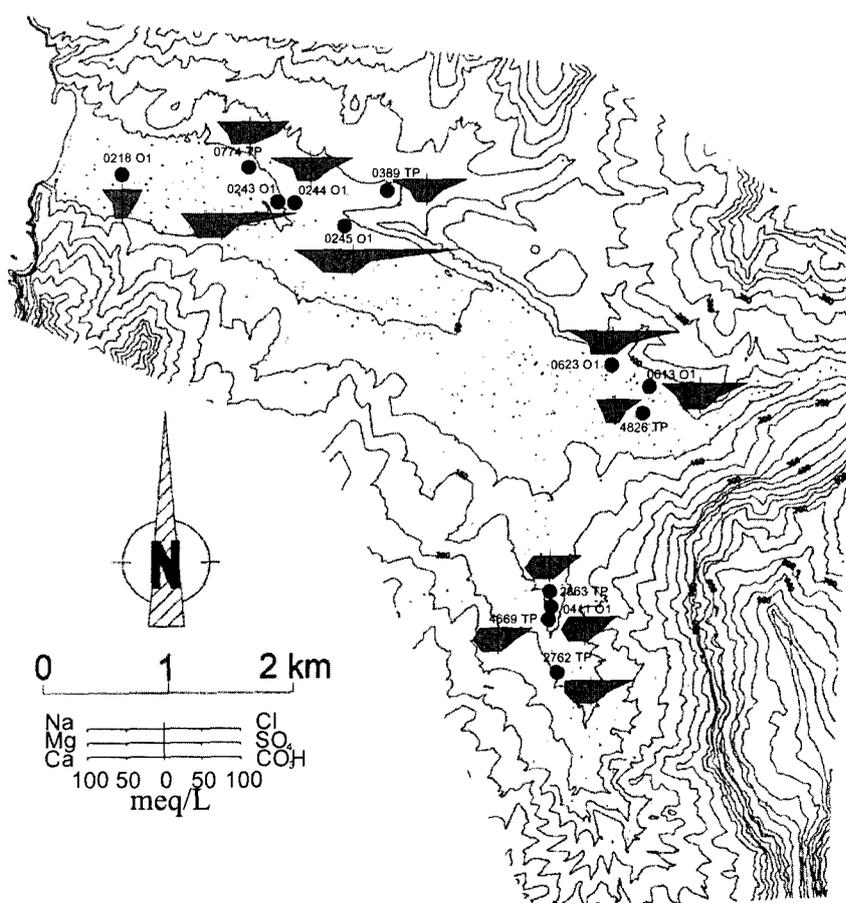


Figura 1.- Situación espacial de algunos pozos muestreados en abril de 1999 en el Barranco de La Aldea (isla de Gran Canaria). Los diagramas de Stiff corresponden a algunas de las muestras incluidas en este informe

2.3. Resultados

Se han estudiado 61 muestras para periodos similares analizadas en 4 laboratorios diferentes (Tabla 1 y Tabla 2). De los 4 laboratorios, solo los laboratorios del IGME y de AGBAR determinan el Br mediante cromatografía iónica, método idóneo para la determinación de este elemento (Tabla 2 y Fig. 3).

Tabla 1.- Resultados obtenidos por los diferentes laboratorios

| T. Municipio / Paraje | Topónimo | Captación | N. Muestra | F. Muestreo | Laboratorio | Br (mg/l) | Cl (mg/l) | rCl/Br |
|-----------------------------------|--|-----------|------------|-------------|---------------------|-----------|-----------|--------|
| LAS MARCEGAS | 0218 O1-Familia de Mario. Junto Depuradora. Paco León | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 17,578 | 1030,6 | 132 |
| LOS MANANTIALES | 0243 O1-Hermínio Velázquez | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 50,338 | 2558,8 | 114 |
| BCO.FUREL | 0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 3 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 46,343 | 2487,8 | 121 |
| ROSILLO-LA PUNTA | 0245 O1-Angulo 5 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 75,906 | 4193,6 | 124 |
| LAS ROSILLAS | 0247 O1-Juan José del Pino | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 57,529 | 3056,2 | 120 |
| CASTAÑETAS | 0309 TP-Teresa Malías | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 28,764 | 1634,8 | 128 |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 4 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 35,955 | 1705,8 | 107 |
| LOS PASITOS | 0411 O1-Antonio Castellano | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 27,166 | 1598,9 | 132 |
| CERCADILLOS | 0613 O1-Celestino | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 39,950 | 1741,3 | 98 |
| CASTAÑETAS | 0623 O1-Juan Velázquez. Tras Invernadero. Reinaido | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 37,553 | 2061,1 | 123 |
| BCO. LA ALDEA | 0779 TP-Romertor 3 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 16,779 | 824,7 | 111 |
| BCO. TOCODOMAN | 2762 TP-Paco godoy2. Detrás venta | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 37,553 | 2274,5 | 136 |
| | 2863 TP-Señor coleta. Carolina | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 25,568 | 1457,3 | 128 |
| BCO. DE TOCODOMAN | 4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 27,965 | 1492,8 | 120 |
| LA RENTA | 4826 TP-Pozo Naranjos. Daniel 1 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 19,176 | 1037,7 | 122 |
| LADERA DEL PALOMAR. Martel | 485 TP-TRQ-3 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 158,204 | 7676,5 | 109 |
| BCO. LA ALDEA. Martel | 4858A TP-TRQ (Cuco) 1 | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 65,519 | 3305,1 | 113 |
| BCO. LA ALDEA | 4860 TP-Pozo del alcalde (Celestino). | PB | MBP | 01-nov-97 | Hidroanalítica S.L. | 63,122 | 2843,2 | 101 |
| LAS MARCEGAS | 0218 O1-Familia de Mario. Junto Depuradora. Paco León | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 2,820 | 1041,1 | 831 |
| LOS MANANTIALES | 0243 O1-Hermínio Velázquez | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 8,200 | 2813,1 | 772 |
| BCO.FUREL | 0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 4 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 6,210 | 2042,2 | 740 |
| ROSILLO-LA PUNTA | 0245 O1-Angulo 6 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 16,100 | 5255,8 | 734 |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 5 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 5,570 | 1912,1 | 772 |
| LOS PASITOS | 0411 O1-Antonio Castellano | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,690 | 1561,7 | 749 |
| CERCADILLOS | 0613 O1-Celestino | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 13,700 | 2302,5 | 378 |
| CASTAÑETAS | 0623 O1-Juan Velázquez. Tras Invernadero. Reinaido | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 10,400 | 3453,8 | 747 |
| BCO. LA ALDEA | 0774 TP-Romertor 1 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 5,770 | 1842,0 | 718 |
| BCO. TOCODOMAN | 2762 TP-Paco godoy2. Detrás venta | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,170 | 1972,2 | 1064 |
| BCO. DE TOCODOMAN | 4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,900 | 1671,8 | 768 |
| LA RENTA | 4826 TP-Pozo Naranjos. Daniel 2 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 3,820 | 1311,4 | 772 |
| BCO.FUREL | 0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 5 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 9,838 | 1947,7 | 445 |
| ROSILLO-LA PUNTA | 0245 O1-Angulo 7 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 21,868 | 5166,0 | 532 |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 6 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 9,056 | 1934,2 | 480 |
| CASTAÑETAS | 0623 O1-Juan Velázquez. Tras Invernadero. Reinaido | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 14,782 | 3458,4 | 526 |
| BCO. LA ALDEA | 0779 TP-Romertor 4 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 6,499 | 1261,2 | 444 |
| EL ARABE | 1622 TP-Paquito Juan | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 3,750 | 787,5 | 573 |
| BCO. LA ALDEA | 2714 TP-Bajo el palmeral. San Clemente. José Medina | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 3,694 | 832,8 | 507 |
| EL FARROGERO. La Cruz | 2760 TP-Eufemiano Godoy. Casita pequeña. Juan Godoy Araujo | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 2,041 | 482,9 | 532 |
| BCO. DE TOCODOMAN | 4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 4,427 | 992,0 | 504 |
| LA RENTA | 4826 TP-Pozo Naranjos. Daniel 3 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 5,115 | 1125,8 | 495 |
| S. NICOLAS | 4834 TP-TRQ. torreta. Tino 2 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 6,287 | 1319,0 | 472 |
| LADERA DEL PALOMAR. Martel | 4858 TP-TRQ-4 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 31,627 | 7800,5 | 555 |
| BCO. LA ALDEA. Martel | 4858A TP-TRQ (Cuco) 2 | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 21,686 | 5108,0 | 530 |
| BCO. LA ALDEA | 4858B TP-TRQ (Cuco) | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 19,857 | 4428,1 | 502 |
| BLLO. CAIDERILLO. Los Cercadillos | 5107 TP-Polo Castellano. Equilibrismo | PB | MBP | 01-may-00 | CSIC-Jaume Almera | 9,339 | 1927,3 | 464 |
| Bco. La Aldea | Desalinizadora Daniel (agua bruta) | DEP | REC | 30-abr-01 | IGME | 4,310 | 1437,6 | 750 |
| Bco. La Aldea | 0774TP-ROMERTOR-1 (AGUA BRUTA) | DEP | REC | 30-abr-01 | IGME | 6,740 | 1910,9 | 638 |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 12-feb-02 | IGME | 6,557 | 1531,9 | 526 |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 08-jun-02 | IGME | 5,920 | 1727,1 | 656 |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 5,843 | 1719,8 | 652 |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 2,463 | 690,1 | 630 |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 9,716 | 3352,2 | 776 |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 08-jun-02 | IGME | 10,940 | 3342,2 | 687 |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 9,179 | 3381,5 | 829 |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 12,157 | 4235,9 | 784 |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 4 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 4,591 | 1523,1 | 746 |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 5 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 9,716 | 3352,2 | 776 |
| BCO. LA ALDEA. Martel | 4858A TP-TRQ (Cuco) 1 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 12,226 | 3906,7 | 719 |
| LADERA DEL PALOMAR. Martel | 485 TP-TRQ-3 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 22,140 | 6786,7 | 690 |
| EL ARABE | 1622 TP-Paquito Juan | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 2,036 | 958,5 | 1059 |

CLAVES CAPTACIÓN

Pozo en Bombeo PB
Depósito DEP

CLAVES MET. MUESTREO

Muestra de Bombeo de Pozo MBP
Recipiente REC

Se dispone de muestras analizadas en laboratorios diferentes: Hidroanalítica S.L. (año 1997); AGBAR (4/1999); CSIC-Institut Jaume Almera (5/2000) e IGME (02/2002 y otras del 2002), todas ellas indicadas en la Tabla 1 y representadas en la Figura 2. Se han desestimado los resultados procedentes de Hidroanalítica por presentar errores sistemáticos en la determinación de Br; se analizaron por colorimetría a tiempo controlado; la comparación inicialmente con el laboratorio de AGBAR y posteriormente con el laboratorio del IGME dejó claro la existencia de un error sistemático. El mismo motivo hace desestimar las muestras del laboratorio CSIC-Jaume Almera, analizadas mediante ICP-masas. La determinación de Br se hace conjunta con la de Cl, con lo que se elimina el error de dilución.

Por ello solo se estudian los 28 resultados analíticos que han obtenido mediante cromatografía iónica (Tabla 2 y Fig. 3), que pertenecen a muestreos selectivos realizados en diferentes fechas de muestras afectadas parcialmente por lavado de los azulejos (A), muestras tomadas en el aluvial detrítico (AL), muestras captadas mayoritariamente en los basaltos miocenos (B) y muestras tomadas en el aluvial que están claramente afectadas por retornos de riego (R).

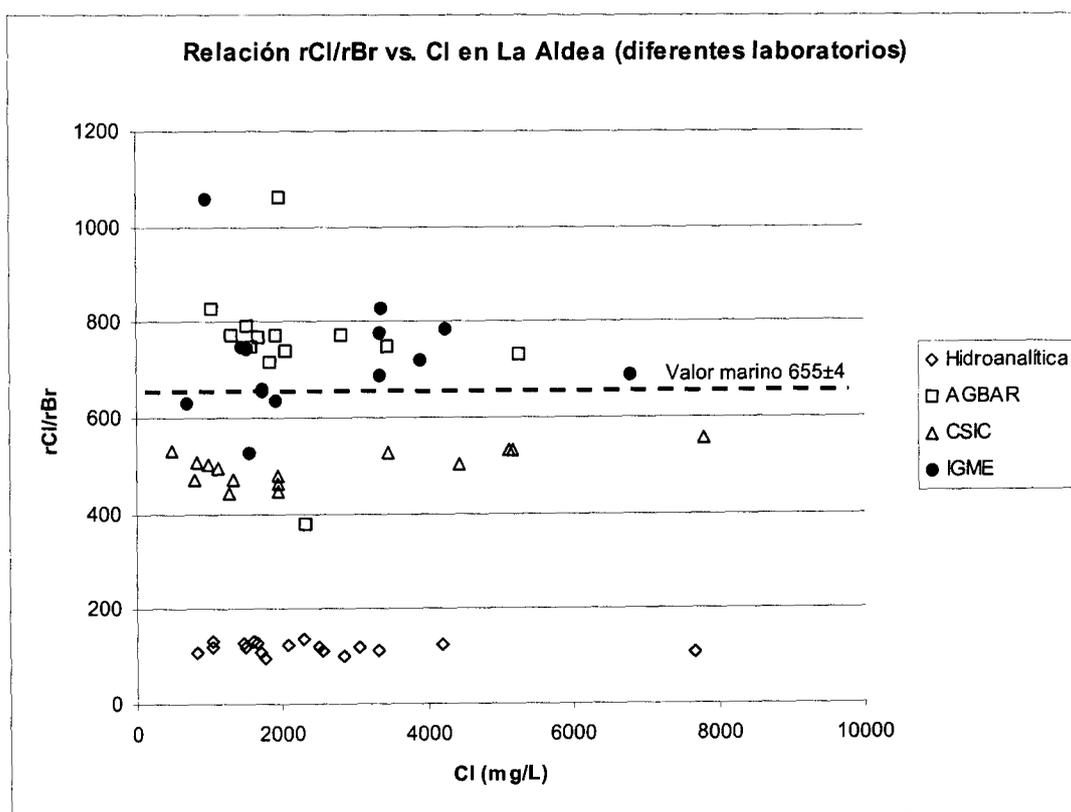


Figura 2.- Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl (mg/L) a partir de los resultados obtenidos por cada laboratorio

En la Tabla 2 se indican únicamente los valores obtenidos por el laboratorio AGBAR de la campaña de abril de 1999, dos muestras de agua bruta de desalinizadoras tomadas en abril de 2001 y analizadas en el laboratorio de IGME; y varias muestras tomadas en dos puntos del acuífero (0774 TP y 0245 O1) en diferentes fechas y otras muestras tomadas en febrero de 2002 analizadas por el IGME. Su representación gráfica aparece en la Figura 3.

Tabla 2.- Resultados obtenidos por los laboratorios de AGBAR e IGME. La clave de cada muestra responde al origen de la salinidad propuesto antes del muestreo para cada muestra

| T. Muestr. / Paraje | Topónimo | Captación | M. Muestreo | F. Muestreo | Laboratorio | Br (mg/l) | Cl (mg/l) | rCárb. | Clave |
|----------------------------|--|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--------|-------|
| LAS MARCIEGAS | 0218 O1-Familia de Meru. Junto Depuradora. Paco León | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 2,820 | 1041,1 | 831 | AL |
| LOS MANANTIALES | 0243 O1-Hermínio Velázquez | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 8,200 | 2813,1 | 772 | AL |
| BCO.FUREL | 0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 4 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 6,210 | 2042,2 | 740 | AL |
| ROSILLO-LA PUNTA | 0245 O1-Angulo 6 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 16,100 | 5255,8 | 734 | A |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 5 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 5,570 | 1912,1 | 772 | AL |
| LOS PASITOS | 0411 O1-Antonio Castellano | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,890 | 1561,7 | 749 | B |
| CERCADILLOS | 0613 O1-Celestino | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 13,700 | 2302,5 | 378 | R/A |
| CASTAÑETAS | 0623 O1-Juan Velázquez. Tras invernadero. Reinaldo | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 10,400 | 3453,8 | 747 | A |
| BCO. LA ALDEA | 0774 TP-Romertor 1 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 5,770 | 1842,0 | 718 | R |
| BCO. TOCODOMAN | 2762 TP-Paco godoy2. De trás venta | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,170 | 1972,2 | 1064 | B |
| | 2863 TP | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,310 | 1521,87 | 794 | B |
| BCO. DE TOCODOMAN | 4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 4,900 | 1671,8 | 768 | B |
| LA RENTA | 4826 TP-Pozo Naranjos. Daniel 2 | PB | MBP | 01-abr-99 | Agbar | 3,820 | 1311,4 | 772 | AL |
| Bco. La Aldea | Desalinizadora Daniel (agua bruta) | DEP | REC | 30-abr-01 | IGME | 4,310 | 1437,6 | 750 | B |
| Bco. La Aldea | 0774TP-ROMERTOR-1 (AGUA BRUTA) | DEP | REC | 30-abr-01 | IGME | 6,740 | 1910,9 | 638 | B |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 12-feb-02 | IGME | 6,557 | 1531,9 | 526 | R |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 08-jun-02 | IGME | 5,920 | 1727,1 | 656 | R |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 5,843 | 1719,8 | 662 | R |
| Bco. La Aldea | 0774 TP- ROMERTOR 1 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 2,463 | 690,1 | 630 | R |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 9,716 | 3352,2 | 776 | AL |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 08-jun-02 | IGME | 10,940 | 3342,2 | 687 | AL |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 9,179 | 3381,5 | 829 | AL |
| Bco. La Aldea | 0245 O1 - ANGULO 5 | PB | MBP | 01-oct-02 | IGME | 12,157 | 4235,9 | 784 | AL |
| BCO.FUREL | 0389 TP-Juan Angulo 4 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 4,591 | 1523,1 | 746 | A |
| BCO. LA ALDEA, Martel | 4858A TP-TRQ (Cuco) 1 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 12,228 | 3906,7 | 719 | AL |
| LADERA DEL PALOMAR, Martel | 485 TP-TRQ-3 | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 22,140 | 6786,7 | 690 | AL |
| EL ARABE | 1822 TP-Paquito Juan | PB | MBP | 13-feb-02 | IGME | 2,036 | 958,5 | 1059 | B |

AL Muestras tomadas en pozos que captan el Aluvial del Bco. de La Aldea
A Muestras afectadas parcialmente por lavado de los Azulejos
B Aguas que explotan total o parcialmente los basaltos
R Muestras afectadas por retornos de riego

Para observar el grado de variación entre laboratorios se procedió a muestrear de nuevo dos pozos y enviar muestras de los mismos a los tres laboratorios: CSIC, AGBAR e IGME. Como puede observarse en la Tabla 3 y en su representación gráfica (Fig. 4), los resultados obtenidos son dispares, aunque siguen la misma pauta en ambos pozos. El laboratorio CSIC muestra los contenidos de Cl más bajos y el laboratorio IGME los más altos. El contenido de Br es similar en los laboratorios CSIC e IGME y algo inferior en el laboratorio AGBAR. Se indica que el laboratorio IGME ha conseguido determinar el contenido de Br con precisión a concentraciones de menos de $5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ mediante la cromatografía iónica de alto rendimiento (paso lento, HPLC), técnica que ha permitido separar eficazmente los picos del Cl y del Br (Custodio y Alcalá-García, 2003; informe nº 1 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

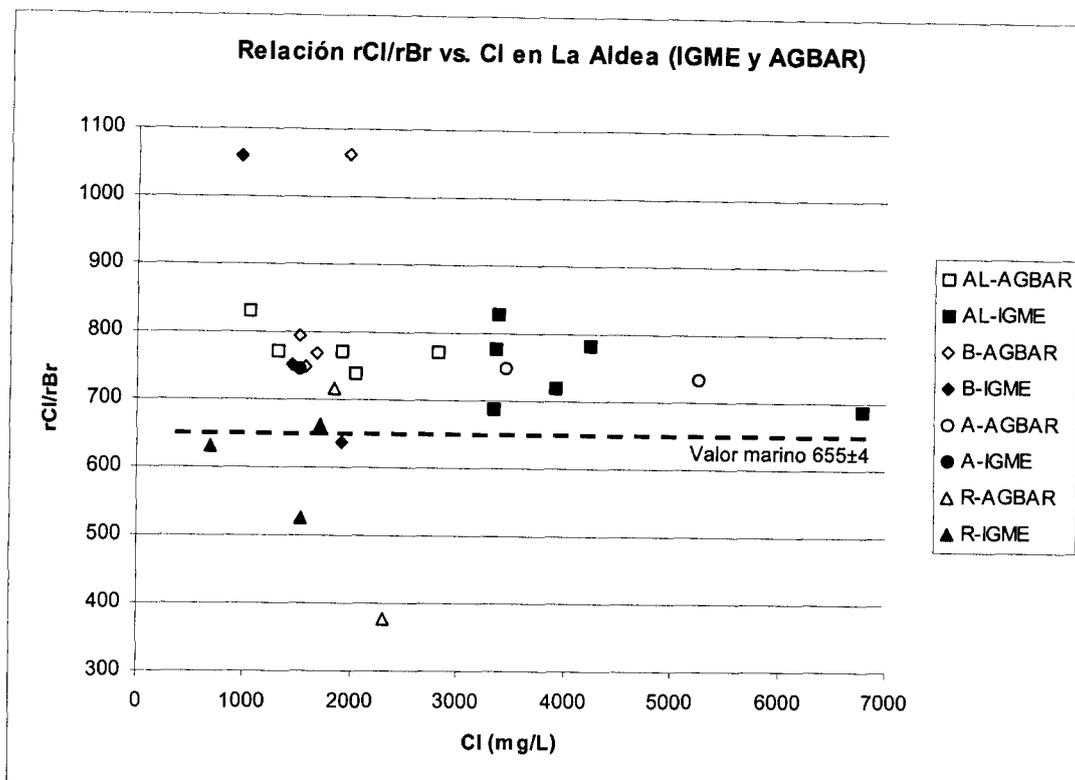


Figura 3.- Relación rCl/rBr vs. Cl en diversas muestras del Barranco de La Aldea analizadas en los laboratorios de AGBAR e IGME. AL-AGBAR y AL-IGME: muestras del aluvial, B-AGBAR y B-IGME: muestras que explotan parcialmente los basaltos, A-AGBAR y A-IGME: muestras afectadas parcialmente por lavado de los Azulejos, R-AGBAR y R-IGME: muestras afectadas por retornos de riego; todas ellas analizadas respectivamente en el laboratorio de AGBAR y laboratorio del IGME. Sin sombreado aparecen las muestras analizadas en AGBAR y con sombreado las muestras analizadas en el IGME

Tabla 3.- Seguimiento de resultados, obtenidos en diferentes laboratorios, de dos puntos muestreados el 08/06/02. Valores expresados en meq/L

| Expediente | rCl | rBr | rCl/rBr | Lab. | Expediente | rCl | rBr | rCl/rBr | Lab. |
|------------|-------|---------|---------|-------|------------|-------|---------|---------|-------|
| 0245 O1 | 90,25 | 0,13087 | 690 | CSIC | 0774 TP | 41,94 | 0,07663 | 547 | CSIC |
| 0245 O1 | 91,28 | 0,11013 | 829 | AGBAR | 0774 TP | 56,96 | 0,07046 | 808 | AGBAR |
| 0245 O1 | 94,25 | 0,13692 | 688 | IGME | 0774 TP | 48,70 | 0,07409 | 657 | IGME |

Las diferencias encontradas en las muestras aquí incluidas para ambos laboratorios (AGBAR e IGME) son muy escasas, lo que permite realizar la interpretación conjunta de resultados.

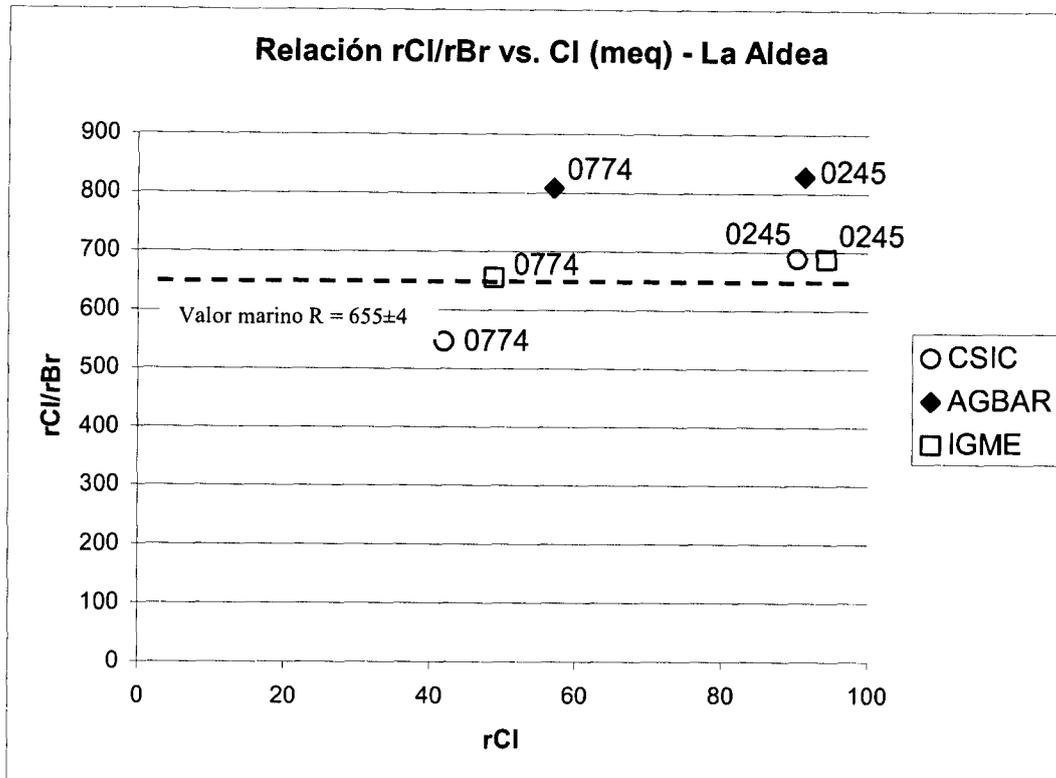


Figura 4.- Relación rCl/rBr en varias muestras tomadas en varios pozos y analizadas por varios laboratorios. Intercalibración entre laboratorios

Además de los resultados aquí incluidos, se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas; y también de localización geográfica de los puntos de agua y las características de muestreo.

2.4. Discusión

Las muestras interpretadas como características de las aguas del aluvial detrítico (AL) incluyen aguas de diferentes procedencias y orígenes de salinidad (retornos de riego, afección antrópica, lavado de azulejos, basaltos...) (Fig. 3). Las muestras analizadas en el laboratorio AGBAR en 1999 y otras con valores de R similares y mismo origen analizadas en el laboratorio del IGME en 2002 dan un valor de $R = 760 \pm 50$. Posteriores muestreos realizados entre febrero y octubre de 2002 en el punto 0245 O1, cuyas muestras fueron analizadas en el laboratorio del IGME, han dado valores de R entre 690 y 830, con dos de sus valores en torno a 780; que son muy similares a los obtenidos por el laboratorio de AGBAR.

Se observa que muestras tomadas en el mismo pozo no presentan variaciones temporales significativas del valor de R, aunque ocasionalmente sí del contenido de Cl. Esto se relaciona con el escaso tiempo de renovación del

agua en el acuífero y las numerosas fuentes de salinidad natural y antrópicas descritas en el mismo. El valor de R entre 700 y 800 para aquellas muestras características del aluvial detrítico.

Los pozos que explotan directamente los basaltos (B), con aguas cloruradas magnésicas, presentan un valor de $R = 740 \pm 60$; estos datos incluyen 2 muestras de agua bruta tomadas en 2 desalinizadoras (Fig. 3) y analizadas en el laboratorio del IGME. La muestra 2772 TP analizada por AGBAR y la muestra 1622 TP analizada por el IGME, ambas atribuidas a agua de los basaltos, presentan un valor de $R \sim 1060$ que podría reflejar el valor de la precipitación local, que oscila entre 1200 y 1400. Los valores están condicionados por la presencia significativa de agua proveniente de recarga local, en contraposición con otros puntos del aluvial que pueden incorporar proporciones importantes de aguas procedentes del interior de la isla. No se descarta la posibilidad de afección por la presencia de aguas de origen urbano.

Los pozos muestreados con una presumible afección de lavado parcial de los azulejos en la zona de Las Tabladas (A) tienen un valor de $R = 740 \pm 10$, igual al obtenido para las muestras tomadas en los basaltos (Fig. 3). Existe una muestra anómala (0613 O1) que tiene un valor de $R = 378$ y altos contenidos en nitratos y sulfatos, lo que hace sospechar que su alto contenido en Br sea debido a la presencia de aguas de retornos de riego que pueden incluir plaguicidas con Br en su composición química. El análisis realizado por el IGME para la muestra tomada en febrero de 2002 en el punto 0389 TP presenta un valor de $R = 746$, que está dentro del orden de magnitud obtenido por el laboratorio AGBAR en 1999 para las muestras asociadas al lavado de los azulejos.

El único pozo muestreado en la campaña de 1999 que presenta afección por retornos de riego (R) ha sido el 0774 TP. El análisis químico en el laboratorio de AGBAR ha dado un valor de $R = 718$. Posteriores muestreos realizados entre febrero y octubre de 2002, cuyas muestras fueron analizadas en el laboratorio del IGME, han dado inicialmente un valor de $R = 525$ y posteriormente tres valores de R entre 630 y 660. A diferencia del resto de grupos de muestras, parece existir una variación temporal del valor de R, posiblemente no debida al laboratorio sino a la variación temporal del grado de dilución de los retornos de riego en el acuífero aluvial.

2.5. Conclusiones

Los análisis químicos realizados por el IGME y otros realizados por AGBAR han sido utilizados para la interpretación de resultados, por ser los más confiables.

Se han obtenido los valores de la relación r_{Cl}/r_{Br} para muestras de agua procedentes de pozos que explotan el aluvial detrítico del acuífero de La Aldea, los basaltos miocenos, muestras afectadas por retornos de riego y otras que incluyen lavado de los azulejos. El valor de R para estos 4 grupos oscila entre 630 y 830. A pesar de esta variación, las muestras claramente afectadas por retornos de riegos en épocas de escaso volumen hídrico en el acuífero presentan $R < 400$. Dos muestras asignadas a los basaltos presentan un valor de $R \sim 1060$, que puede ser debido a agua de recarga por lluvia local.

3. REFERENCIAS ESPECÍFICAS

- Cabrera, M. C., Delgado, F., Muñoz, J., Pérez Torrado, F. J. y La Moneda, E. (2000). Caracterización de las familias hidrogeoquímicas en el acuífero de La Aldea (Gran Canaria). *Geotemas*. 1(2): 47-50.
- Custodio E. y Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega. Barcelona (2 Vols): 1-2350.
- Custodio, E. y Alcalá-García, F. J. (2003). El potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los acuíferos costeros españoles. En: *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*. Alicante. 1: 401-412.
- Gasparini, A. (1989). *Hydrochimie et géochimie isotopique de circulations souterraines en milieu volcanique sous climat semi-aride (Grande Canarie, Iles Canaries)*. Tesis Doctoral. Univ. de Paris XI, 261 pp.
- Herrera, C. (2001). *Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias*. Tesis Doctoral. Dpto. de Ing. del Terreno y Cartográfica. Univ. Pol. Cataluña (Barcelona).
- HID 1999-0205 (2003). *Errors involved in the analytical determination of the ratio Cl/Br*. Informe nº 1. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 6 pp.
- MAC-21 (1980). Proyecto de planificación y explotación de los recursos de agua en el Archipiélago Canario. Com. Interministerial coord. Est. Mat. Aguas Canarias.
- Muñoz, R., Cabrera, M. C., Hernández, F. y Socorro, A. R. (1996). Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers. Final Project Report. EU Contract EV5V-CT93-0322-Group 4. 87 pp + Appendix.
- SPA-15 (1975). Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Minist. Obras Públ., Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 Vol. + Mapas.