



Instituto Geológico
y Minero de España



CONSEJO INSULAR
DE AGUAS
DE GRAN CANARIA

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DEFINICIÓN DE ÁREAS SOBREENPLOADAS O EN RIESGO DE SOBREENPLOACIÓN EN LA ZONA BAJA DEL ESTE DE GRAN CANARIA

CONVENIO ESPECÍFICO 1998-2003

CAPÍTULO VII. CALIDAD DEL AGUA

VII. CALIDAD DEL AGUA

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
2. TRABAJO REALIZADO
3. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA
 - 3.1. Correlaciones entre las formaciones geológicas y los contenidos iónicos de las aguas subterráneas
 - 3.1.1. Formación Basaltos Antiguos
 - 3.1.2. Serie Sálica
 - 3.1.3. Formación Fonolítica
 - 3.1.4. Formación Roque Nublo
 - 3.1.5. Formación Detrítica Las Palmas
 - 3.1.6. Formación Post Roque Nublo
 - 3.1.7. Materiales sedimentarios
 - 3.1.8. Depósitos gravitacionales
 - 3.2. Análisis de los resultados estadísticos
 - 3.3. Diagramas logarítmicos verticales (Schöeller – Berkloff)
4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE CALIDAD: CONDUCTIVIDAD, CLORUROS, SULFATOS Y NITRATOS EN LA ZONA DE ESTUDIO
 - 4.1. Metodología utilizada
 - 4.2. Isolíneas correspondientes a los períodos 1970-1974 y 1990-99
 - 4.2.1. Conductividad
 - 4.2.2. Cloruros
 - 4.2.3. Sulfatos
 - 4.2.4. Nitratos
 - 4.3. Resultados obtenidos
 - 4.4. Mapas de isocloruros para los períodos 1980-82, 1990-95 y 1997-99
5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS INDICADORES DE CALIDAD: RELACIONES IÓNICAS
 - 5.1. Metodología utilizada
 - 5.2. Relaciones iónicas: $rCl^-/r(CO_3^{2-}+CO_3H^-)$, rSO_4^{2-}/rCl^- , rNa^+/rCl^- , rNa^+/rK^+ , rMg^{+2}/rCl^- , rMg^{+2}/rCa^{+2}
 - 5.2.1. Relación $rCl^-/r(CO_3^{2-}+CO_3H^-)$
 - 5.2.2. Relación rSO_4^{2-}/rCl^-
 - 5.2.3. Relación rNa^+/rCl^-
 - 5.2.4. Relación rNa^+/rK^+
 - 5.2.5. Relación rMg^{+2}/rCl^-
 - 5.2.6. Relación rMg^{+2}/rCa^{+2}
 - 5.3. Resultados obtenidos

6. VARIACIONES PUNTUALES DE LA CALIDAD
 - 6.1. Análisis de las situaciones más desfavorables y su variación en el tiempo
7. ÁREAS CON PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUA
 - 7.1. Captaciones con indicios de intrusión marina
 - 7.2. Captaciones con indicios de contaminación por aguas residuales y/o indicios de contaminación agrícola
8. ISÓTOPOS AMBIENTALES
 - 8.1. Introducción y objetivos
 - 8.2. Resultados obtenidos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUADROS

- VII.1. Distribución de análisis y captaciones por formaciones geológicas
- VII.2. Parámetros estadísticos de las distintas formaciones geológicas

FIGURAS

- VII.1. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Basaltos Antiguos
- VII.2. Distribución espacial de los puntos que captan la Formación Basaltos Antiguos. Tipos de aguas y diagramas de Stiff asociados
- VII.3. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Serie Sálica
- VII.4. Distribución espacial de los puntos que captan la Serie Sálica y la Formación Fonolítica. Tipos de aguas y diagramas de Stiff asociados.
- VII.5. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Fonolítica
- VII.6. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Roque Nublo
- VII.7. Distribución espacial de los puntos que captan la Formación Roque Nublo y la Formación Detrítica Las Palmas. Tipos de aguas y diagramas de Stiff asociados
- VII.8. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Detrítica Las Palmas
- VII.9. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Post-Roque Nublo
- VII.10. Distribución espacial de los puntos que captan la Formación Post-Roque Nublo, Materiales Sedimentarios y Depósitos Gravitacionales. Tipos de aguas y diagramas de Stiff asociados
- VII.11. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de los Materiales Sedimentarios

- VII.12. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de los Depósitos Gravitacionales
- VII.13. Clasificación geoquímica por iones dominantes o clasificación de Schoeller.
- VII.14. Relación $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$ versus rCl^-
- VII.15. Relación $rSO_4^{=} / rCl^-$
- VII.16. Relación $rSO_4^{=} / rCl^-$ versus rCl^-
- VII.17. Relación rNa^+ / rCl^-
- VII.18. Relación rNa^+ / rCl^- versus rCl^-
- VII.19. Relación rNa^+ / rK^+ versus rCl^-
- VII.20. Relación rMg^{+2} / rCl^-
- VII.21. Relación rMg^{+2} / rCl^- versus rCl^-
- VII.22. Distribución espacial de captaciones con gráfico de evolución de cloruros

PLANOS

- VII. 1. Distribución espacial de las captaciones con diagramas logarítmicos verticales Schöeller-Berkaloff
- VII. 2. Isolíneas de conductividad eléctrica. Período 1970-74
- VII. 3. Isolíneas de conductividad eléctrica. Período 1990-99
- VII. 4. Isolíneas de cloruros. Período 1970-74
- VII. 5. Isolíneas de cloruros. Período 1990-99
- VII. 6. Isolíneas de sulfatos. Período 1970-74
- VII. 7. Isolíneas de sulfatos. Período 1990-99
- VII. 8. Isolíneas de nitratos. Período 1970-74
- VII. 9. Isolíneas de nitratos. Período 1990-99
- VII.10. Isolíneas de cloruros 1980-82
- VII.11. Isolíneas de cloruros 1990-95
- VII.12. Isolíneas de cloruros 1997-99
- VII.13. Zona afectada por la intrusión
- VII.14. Isolíneas relación iónica $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$
- VII.15. Isolíneas relación iónica $rSO_4^{=} / rCl^-$
- VII.16. Isolíneas relación iónica rNa^+ / rCl^-
- VII.17. Isolíneas relación iónica rNa^+ / rK^+
- VII.18. Isolíneas relación iónica rMg^{+2} / rCl^-
- VII.19. Isolíneas relación iónica rMg^{+2} / rCa^{+2}
- VII.20. Situación de captaciones con indicios de intrusión marina
- VII.21. Situación de captaciones con indicios de contaminación por aguas residuales
- VII.22. Situación de captaciones con indicios de contaminación agrícola

ANEJOS

- Anejo VII.1. Parámetros físico-químicos de aguas subterráneas
- Anejo VII.2. Análisis físico-químicos y diagramas de Stiff para las distintas formaciones geológicas
- Anejo VII.3. Diagramas Schöeller-Berkaloff de aguas subterráneas
- Anejo VII.4. Clasificación geoquímica de las aguas subterráneas

- Anejo VII.5. Valores medios de parámetros físico-químicos de aguas subterráneas por períodos
- Anejo VII.6. Relaciones iónicas de aguas subterráneas en puntos de agua representativos
- Anejo VII.7. Variaciones puntuales de la calidad
- Anejo VII.8. Captaciones afectadas por intrusión marina, retornos de riego y/o aguas residuales
- Anejo VII.9. Isótopos Ambientales
- Anejo VII.10. Calidad del agua. Tomo de planos I y II.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este apartado se realiza con el fin de caracterizar físico-químicamente las aguas subterráneas existentes en la zona de estudio lo que permite conocer el estado de las mismas así como su posible evolución en el tiempo.

Esta caracterización físico-química constituye una herramienta de gran peso dentro del estudio realizado en la zona Este de Gran Canaria, ya que basándose en ella se definirán las zonas con problemas de salinidad así como las posibles causas que lo producen.

Para ello se ha contado con un importante número de análisis químicos de distintas captaciones de la zona para distintos períodos de tiempo. Estos datos se han analizado con profundidad con el fin de ver la distribución espacial y temporal de los distintos componentes mayoritarios del agua subterránea.

Una vez caracterizada la zona se ha intentado definir áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación que a fin de cuentas es el fin último para el que se ha realizado este proyecto. Estas áreas definidas constituyen una herramienta eficaz a la hora de gestionar el uso de las aguas subterráneas.

2. TRABAJO REALIZADO

En primer lugar se procedió a la recopilación y elaboración de la información sobre análisis químicos de campo y laboratorio existente. Estos datos pertenecen, básicamente, a los muestreos realizados en los distintos proyectos realizados en la isla: el SPA-15 (1970-74), diversos proyectos del IGME desarrollados desde 1979 hasta la actualidad, el MAC-21 (1980-81), la Tesis Doctoral de D^a M^a Carmen Cabrera (1988-90), datos del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CIA) (1990-97) y datos del Servicio Hidráulico de Las Palmas de G.C.

Estos análisis fueron identificados y estructurados con la misma disposición de la Base de datos de aguas de Canarias del IGME (BAC), realizándose en muchos casos una carga manual de aquellos análisis recopilados en soporte papel así como una transformación a bases de datos actuales (ACCES) de aquellos análisis que se recopilaron en soporte informático. El total de análisis recopilados, para el período 1970–1999, ascendió a 2.845 registros, que se encuentran en la BAC del IGME.

Con objeto de valorar y discriminar los posibles errores existentes en la identificación de los distintos análisis recopilados, así como en la transcripción de los datos analíticos obtenidos, se realizó un balance de aniones y cationes a todos los datos existentes, según la fórmula de error (Custodio y Llamas 1983):

$$(\%) \text{ Error} = ((\sum \text{cat} - \sum \text{ani}) / (\sum \text{cat} + \sum \text{ani})) * 200 \text{ en meq/l}$$

El error admisible se evaluó en función de la conductividad según la tabla siguiente:

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	50	200	500	2000	>2000
Error admisible (%)	30	10	8	4	4

Todos aquellos análisis que superaron de forma notable los valores de error, no han sido considerados en este estudio.

Posteriormente, se realizaron diagramas logarítmicos verticales de Schöeller-Berkaloff a todas las captaciones con más de un análisis con el fin, entre otros, de determinar los distintos tipos de aguas existentes en la zona. En dichos diagramas se han representado, en un mismo gráfico, todos los análisis existentes para cada captación, exceptuándose aquellas captaciones con más de 25 análisis que se realizaron en dos gráficos. Estos gráficos permitieron detectar además los posibles errores de identificación de análisis que se hubiesen producido. De esta forma, todos aquellos análisis que no correspondían con la evolución propia del tipo de agua observado, se intentaron reidentificar, eliminándose finalmente aquellos análisis cuya identificación fue imposible.

El número de análisis eliminados corresponde a un 3 % del total de análisis recopilados, obteniéndose finalmente unos 2.769 análisis referidos a 682 puntos de aguas.

En el anejo VII.1, en la tabla VII.1.1 se recogen los análisis químicos de laboratorio en mg/l utilizados en este proyecto. La tabla VII.1.2. del mismo anejo muestra dichos análisis en meq/l.

Es preciso señalar que debido a la elevada cantidad de datos recopilados para la realización del estudio, las labores de comprobación y elaboración de la información constituyeron una fase importante dentro del proyecto.

Estos diagramas logarítmicos verticales de Schöeller-Berkaloff permitieron, a su vez, ver la evolución que había sufrido el agua subterránea de cada captación con el tiempo. Así se observa como algunas captaciones presenta una composición química bastante estable y otras han sufrido algún tipo de variación que podía ser gradual en el tiempo y que ha dado lugar a un empeoramiento progresivo, o una variación en un momento dado, lo que ha determinado un empeoramiento puntual.

En base a estos gráficos y a la evolución observada en los mismos se realizó una selección de "análisis tipo" para cada captación con el fin de tener una base de datos mas manejable que permitiera realizar la caracterización hidrogeoquímica de la zona. El criterio utilizado para la realización de esta selección fue considerar un solo análisis por captación en aquellos puntos con cierta estabilidad hidroquímica, en cuyo caso el análisis considerado como "tipo" correspondía al de fecha mas reciente. En aquellas captaciones que presentaban alguna variación hidroquímica se tomaron dos análisis "tipo" por punto, uno antes de la afección o variación y otro posterior a la misma y que correspondería al último análisis existente para la

captación. Finalmente, aquellas captaciones que contaban con un solo análisis se consideró este como análisis tipo independientemente de la fecha que tuviera.

En el anejo VII.1, en la tabla VII.1.3, se recogen todos los análisis “tipo” considerado en este estudio.

Posteriormente, tras la depuración de los datos se procedió a la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea con el fin de determinar la relación existente entre la composición del agua subterránea y los materiales volcánicos existentes en el acuífero insular. Para ello se contó con la información procedente de las columnas geológicas realizadas en diversas captaciones. Los análisis procedentes de estas captaciones con información geológica se representaron en diagramas de Piper y Stiff y junto a los diagramas logarítmicos verticales de Schöeller-Berkaloff se procedió a la caracterización hidroquímica de la zona.

Paralelamente, se realizaron mapas de isolíneas y relaciones iónicas con el fin de caracterizar las variaciones espaciales existentes en el acuífero. El fin último de su elaboración fue el caracterizar e identificar las distintas áreas con problemas de calidad existentes en la zona. Para ello se realizaron mapas de isolíneas de cloruros, sulfatos y nitratos así como de isoconductividades eléctricas para dos períodos de tiempo 1970-74 y 1990-99. Para el trazado de los mismos se tomo el valor medio de cada parámetro por captación, dentro de cada uno de los períodos considerados. Respecto a las relaciones iónicas, el $\text{Cl}^-/(\text{CO}_3^{2-}+\text{CO}_3\text{H}^-)$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, Na^+/Cl^- , Na^+/K^+ , $\text{Mg}^{+2}/\text{Cl}^-$ y $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ se consideraron las relaciones mas adecuadas a la hora de definir los distintos procesos químicos modificadores que podían producirse en las aguas subterráneas de la zona.

Basándose en los resultados obtenidos, se procedió a la elaboración de otros mapas de isolíneas en cloruros, aunque en este caso se realizaron para los períodos, 1980-82, 1990-95 y 1997-99, coincidentes con los períodos definidos para los mapas de isopiezas. Para la elaboración de estos mapas no se tomaron los valores medios del cloruro, sino que se consideró un análisis “tipo” por captación y período de tiempo considerado.

Posteriormente, se realizaron diagramas XY de evolución de cloruros en algunas de las captaciones situadas próximas a la costa y que presentaban cota de fondo negativa. Así mismo, y con el fin de caracterizar toda la zona de estudio, se procedió a la realización de diagramas XY de evolución de cloruros a otras captaciones situadas en el interior. La selección de los mismos, vino dada en función del número de datos que presentaba así como del rango de cloruros presente en cada captación. Estos diagramas bidimensionales se realizaron con el fin de visualizar la variación temporal del parámetro considerado.

Otra herramienta de trabajo considerada en este estudio fueron los isótopos ambientales, concretamente los isótopos estables de O_{18} y Deuterio. Con ellos se pretendió aportar mayor información sobre el esquema conceptual de flujo de la zona así como el origen y la dinámica de las aguas

subterráneas. Conjuntamente se pretendía ratificar mediante esta técnica las distintas áreas de elevada salinidad.

Finalmente, y basándose en toda la información obtenida se han identificado y delimitado distintas áreas con problemas de contaminación, definiéndose en alguno casos, las posibles causas de los mismos: intrusión marina, contaminación por vertidos de aguas residuales y/o retornos de regadío.

3. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

3.1. Correlaciones entre las formaciones geológicas y los contenidos iónicos de las aguas subterráneas

En este apartado se pretende analizar la relación entre la composición química de las aguas subterráneas y las distintas formaciones geológicas existentes en los distintos ciclos volcánicos que constituyen el acuífero insular.

Para su realización se analizó la información correspondiente a las 263 descripciones de las columnas geológicas recopiladas durante la elaboración del capítulo III de geología. Dicho análisis se centró fundamentalmente en la descripción hidrogeológica referente a la situación del nivel o niveles acuíferos existente así como a la formación geológica que constituye el acuífero.

Para su desarrollo, en primer lugar, se eliminaron aquellos análisis de los pozos que no poseían columnas geológicas, así como aquellos análisis que correspondían a pozos con más de un nivel acuífero y que además correspondían a dos formaciones geológicas distintas. Su eliminación se basó en el desconocimiento de la realización de la toma de muestras así como de las características constructivas propias de las captaciones lo que hace suponer que las muestras de agua subterránea será el resultado de la mezcla del agua procedente de las formaciones productivas que atraviesa.

Así mismo, se desestimaron aquellos análisis en los que en sus columnas geológicas no se identificaba el nivel acuífero productivo ss, con el fin de realizar una caracterización del agua subterránea lo mas objetiva posible. Dicha eliminación se efectuó con el criterio abierto de realizar una posterior incorporación de la información procedente de estas columnas, tras su Interpretación, en aquellas zonas que presentaran un grado insuficiente de información. Sin embargo, esto último no fue necesario ya que se contó con información suficiente para cada una de las formaciones geológicas descritas.

Finalmente, se consideró para la realización de este apartado un total de 1.228 análisis pertenecientes a 203 columnas en las que se conoce con razonable seguridad la formación geológica de la que se extrae el agua. En el cuadro VII.1 se muestra la relación de análisis y captaciones obtenidas para cada formación hidrogeológica.

Para cada uno de estos grupos de análisis por formaciones geológicas se realizaron diagramas de Stiff y diagramas de Piper-Hill-Langelier y se analizaron conjuntamente con los diagramas logarítmicos verticales de Schöeller-Berkaloff. En los diagramas de Piper se han representando todos los “análisis tipo” existentes para cada formación hidrogeológica, realizándose un gráfico Piper por formación. Estos mismos análisis “tipo” se han utilizado para la representación de los diagramas de Stiff, realizándose un diagrama por punto o dos diagramas en aquellas captaciones que presentaban algún tipo de variación, agrupándose todos ellos según la formación hidrogeológica que captasen. Sin embargo, para la realización de los diagramas logarítmicos verticales se han representado en un mismo gráfico todos los análisis existentes para cada captación.

En el anejo VII.2 se han recopilado las características físico-químicas más relevantes de los análisis de aguas subterráneas correspondientes a las distintas formaciones geológicas en diversas tablas.

CUADRO VII.1

DISTRIBUCIÓN DE ANÁLISIS Y CAPTACIONES POR FORMACIONES GEOLÓGICAS

	Número de captaciones	Numero de análisis
Fm Basaltos antiguos	51	452
Serie Sálica	8	28
Fm Fonolítica	52	308
Fm Roque Nublo	47	172
Fm Detrítica Las Palmas	11	107
Fm Post Roque Nublo	28	107
Materiales Sedimentarios	5	52
Depósitos Gravitacionales	1	2
TOTAL	203	1.228

3.1.1. Formación Basaltos Antiguos

En la zona de estudio, incluida la zona periférica, se cuenta con datos de 452 análisis químicos correspondientes a 51 captaciones cuya agua subterránea, según la descripción de las columnas geológicas, procede de la Formación de Basaltos Antiguos.

Estas captaciones se sitúan fundamentalmente hacía el sureste de la zona de estudio en las proximidades de Santa Lucía de Tirajana en el interior y a medida que nos aproximamos hacia la costa encontramos captaciones en la zona de Vecindario y el Carrizal. En la zona norte, entre Santa Brígida y La Vega de San Mateo, existe un grupo de captaciones que también captan esta formación.

A grandes rasgos, tras el análisis del diagrama de Piper realizado para la Fm de Basaltos Antiguos, figura VII.1, se han podido diferenciar tres tipos de

aguas subterráneas. Un primer grupo de análisis, grupo A, que quedarían proyectados en el vértice inferior del romboide, formado por aguas bicarbonatadas sódicas y que corresponderían con aguas poco evolucionadas consideradas como aguas típicas de la formación. Un segundo grupo de análisis, grupo B, situados a la izquierda del grupo anterior, con aguas bicarbonatadas magnésico-cálcicas, consideradas como aguas un poco mas evolucionadas y finalmente un tercer grupo de análisis, grupo C, que se sitúan próximo al vértice superior del diagrama Piper, que corresponde con aguas cloruradas magnésico-cálcicas donde el grado de evolución es mayor.

Estos tres grupos de aguas subterráneas definidos quedan corroborados por los diagramas de Schöeller-Berkaloff y de Stiff realizados.

Los diagramas de Schöeller-Berkaloff correspondientes a esta formación se han agrupado conforme a estos tres tipos de aguas establecidos. De su análisis se confirma que las aguas correspondientes al grupo A son aguas bicarbonatadas sódicas fundamentalmente, aunque algunas captaciones presentan un contenido en Mg^{+2} importante. En general, son aguas muy estables con pocos cambios en su composición con el tiempo, y con una mineralización notable. En algunas captaciones se aprecia la presencia de CO_2 . Las aguas correspondientes al grupo B presentan una morfología de gráfico distinta al grupo anterior. Son aguas bicarbonatadas magnésico cálcicas o sódicas con una mineralización fuerte. En algunas captaciones se aprecia un alto contenido en bicarbonatos que se asocia a un contenido en CO_2 elevado. En general son aguas mas evolucionadas que las anteriores. Las aguas de tipo C son de tipo clorurada magnésico cálcicas con una fuerte mineralización. Este grupo de captaciones presenta un agua mas evolucionada que las anteriores.

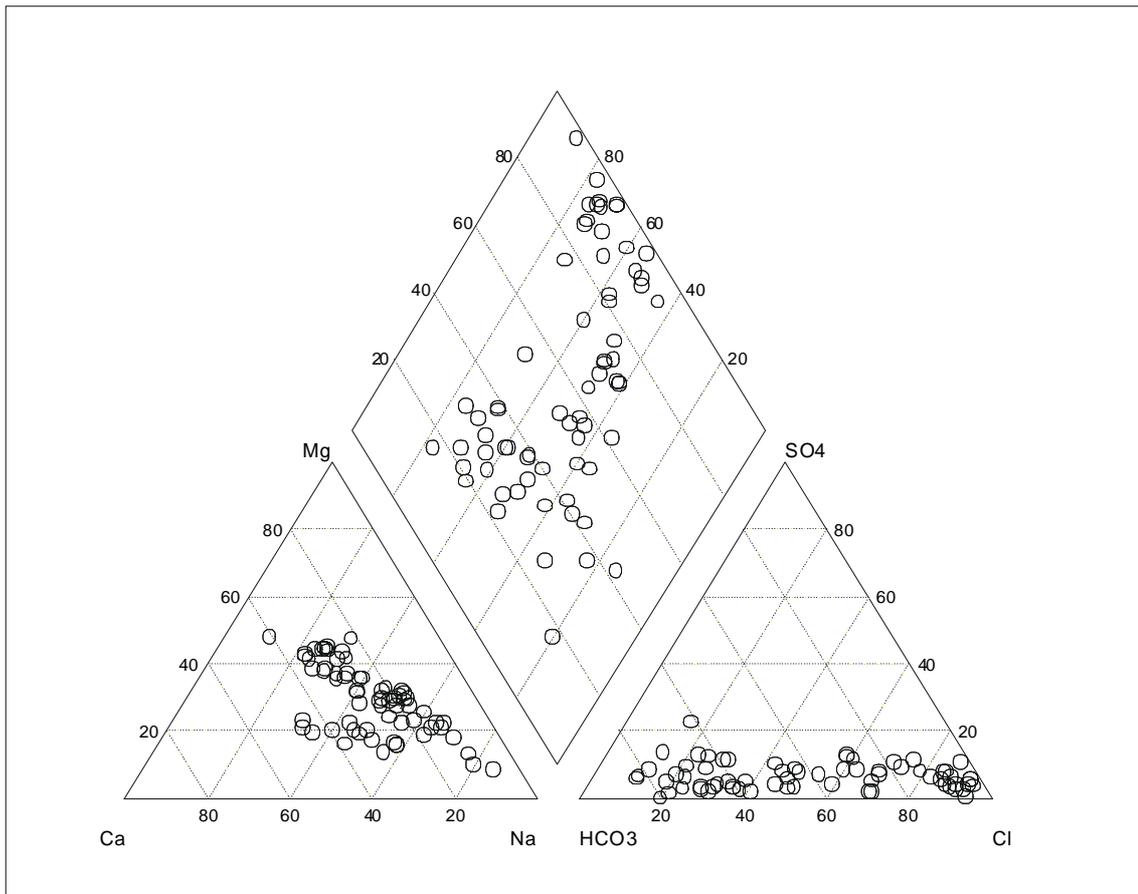


Figura VII.1 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Basaltos Antiguos

Dentro de este grupo C se observa que algunas captaciones como la 424330017, 424330027, 424330044 o la 424330052, entre otras, presentan cierto grado de contaminación marina o intrusión pero sin una evolución clara. En dichas captaciones los contenidos en cloruros aumentan con el tiempo pero sin embargo los sulfatos disminuyen lo que puede hacer pensar en un aporte de cloruros externo. Se han barajado diversas hipótesis sobre este echo, como que se este captando aguas con un contenido en sulfatos mas bajo o que este precipitando sulfato cálcico, o que el sulfato reaccione con el Fe_2 de la roca y forme sulfuros, aunque esto último es mas común en aguas termales y conlleva una disminución de Mg^{+2} que no se está produciendo. Para su determinación se precisa de un estudio de mayor detalle que se escapa del objetivo de este trabajo por lo que se apunta posibles opciones sin decantarse finalmente por una de ellas.

Posteriormente, se han analizado los diagramas de Stiff realizados. En el anejo VII.2. se encuentra la figura VII.2.1 que muestra los diagramas de Stiff de cada una de las captaciones. Para su trazado se ha considerado una escala fija de 110 meq/l para todos los gráficos lo que permite la comparación de los gráficos entre sí. Esta escala viene definida por el máximo de concentración obtenido en el conjunto de las muestras. En contraposición a la escala escogida y debido al amplio rango de concentraciones iónicas existentes en el conjunto de muestras, no es posible apreciar bien la morfologías de los gráficos y por tanto sus concentraciones

en aquellos análisis con un menor contenido iónico. Así vemos que los gráficos correspondientes al grupo de aguas A no se pueden apreciar el tipo de agua que presenta y sin embargo los análisis que pertenecen al grupo C sí. Las aguas de tipo B estarían en un caso intermedio.

En la figura VII.2 se ha representado la distribución espacial de las captaciones utilizadas para la caracterización hidroquímica de esta formación. Basándose en los diagramas de Stiff y el tipo de aguas que presenta se ha podido apreciar una zonación espacial muy definida. Las aguas tipo A se localizan en el norte de la zona de estudio, en las captaciones ubicadas en la zona de periferia y en la zona sur en las captaciones situada hacia el interior con cotas de 400 hasta 900 m. Las de tipo B corresponden a captaciones más próximas a la costa cerca de los núcleos de Agüimes y Carrizal y las de tipo C se situarían al sur de la anterior, en la zona de Vecindario.

Considerando una hipotética línea de flujo desde la zona de cumbre hasta la costa se aprecia que las aguas de tipo A se corresponden con aguas con un menor tiempo de residencia que las B. Asimismo, las aguas de tipo C también tendrían un tiempo de residencia mayor que las de tipo A aunque en este caso se observa que dichas aguas han sufrido además un proceso de salinización adicional.

A cada uno de estos tres grupos de aguas se le ha asignado un gráfico de Stiff “característico” tal como se aprecia en la figura. En este caso los diagramas se han pintado a una escala fija de 6 meq/l con el fin de poder apreciar gráficamente los cambios de salinidad existentes entre ellos. Las aguas de tipo A corresponden a aguas menos salinas frente a las de tipo C que presentan una salinidad elevada. En este caso si se aprecia el contenido iónico de cada grupo de agua confirmándose lo obtenido en los gráficos de Piper y Schöeller-Berkaloff.

En el anejo VII.2 en la tabla VII.2.1 se han recopilado las características físico-químicas más relevantes de los análisis de aguas subterráneas de la Fm. de Basaltos antiguos, así como un campo de origen del dato (ODA) y otro de “evolución”. En el campo “evolución” se indica la estabilidad hidroquímica a lo largo del tiempo observado en los diagramas de Schöeller-Berkaloff. Así se designa con una E cuando son estables, con una A si tiene una evolución hidroquímica ascendente y con una D si tiene una evolución hidroquímica descendente.

Al final de esta misma tabla, se han incluido una serie de parámetros estadísticos de centralización (media, mediana y moda) y de dispersión (desviación estándar) con el fin caracterizar las muestras. Para realizar el cálculo de estos parámetros estadísticos se han seleccionado sólo aquellos análisis que se consideran intrínsecos a la Fm. de Basaltos Antiguos. El criterio utilizado para su selección fue que los análisis tuvieran cierta estabilidad en el tiempo, y que pertenecieran al grupo A definidos en el gráfico de Piper, considerado como grupo característico de la Fm. de Basaltos Antiguos. También se han incluido algún que otro análisis que se consideró por su contenido iónico agua típica de la Fm Basaltos Antiguos.

Los análisis utilizados para el cálculo estadístico se han reseñado con un asterisco (*) en la columna de evolución.

En esta tabla se observa como algunas captaciones como la 424330044, 424330048 y 424330060, entre otras, presentan un contenido en cloruros mayor de 3000 mg/l así como unas conductividades eléctricas mayor de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El agua de estas tres captaciones se han clasificado como de grupo C que corresponden con aguas que presentan cierto grado de contaminación marina.

3.1.2. Serie Sálica

Para la caracterización hidrogeoquímica de esta formación se cuenta con 8 puntos de inventario con un total de 28 análisis.

Estas captaciones están situadas mayoritariamente, al norte de la zona de estudio en las proximidades de la Vega de San Mateo, Santa Brígida y Valsequillo. En la zona de Telde y en las proximidades de Santa Lucía de Tirajana existe un conjunto de puntos que también captan esta formación.

En la figura VII.3 se han representado en un diagrama de Piper los análisis "tipo" correspondientes a esta Serie Sálica. En este caso se han establecido dos grupos de aguas, por un lado las que se han denominado aguas de tipo A situadas en el vértice inferior del diagrama y que corresponderían a aguas menos evolucionadas bicarbonatadas sódicas. Y por otro, un segundo grupo B cuyos análisis aparecen proyectadas a la derecha del diagrama romboidal que corresponden con aguas cloruradas sódicas con un mayor grado de evolución y permanencia en el acuífero.

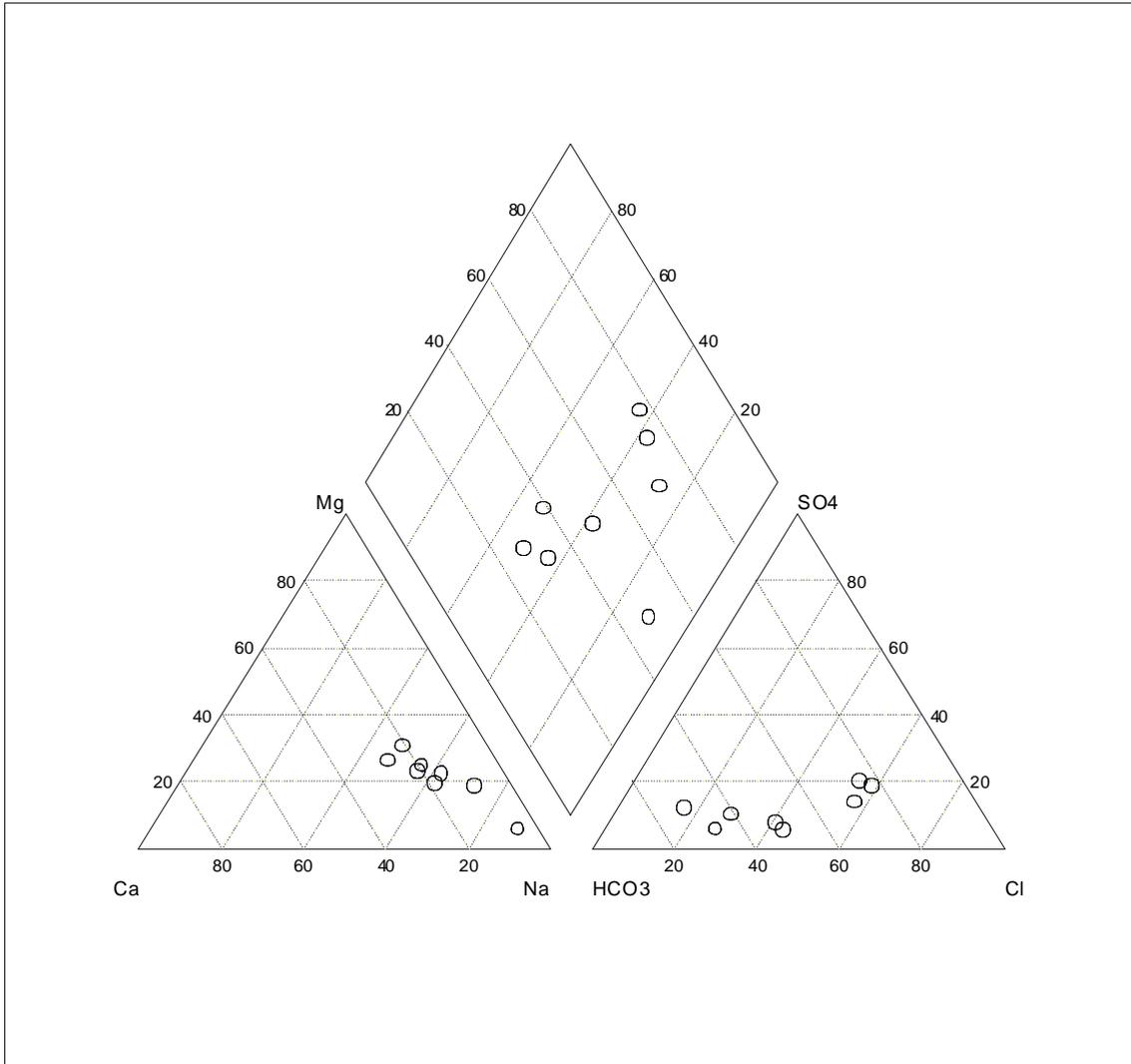


Figura VII.3 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Serie Sálica

Posteriormente se han agrupado los diagramas de Schöeller-Berkaloff realizados a estas captaciones, confirmándose los dos tipos de aguas establecidos. Estos diagramas permiten, a su vez, estimar la mineralización presente en las captaciones, así se observa que en las captaciones 424230040 y 424230037 próximas a Valsequillo, consideradas como tipo A, presentan una mineralización ligera frente las captaciones 424220038 y 424220040 próximas a San Mateo y también de tipo A que presenta una mineralización notable. Dentro del grupo B se observa que las muestras situadas en las inmediaciones de Telde presentan una fuerte mineralización.

La figura VII.2.2. que se encuentra en el anejo VII.2 muestra los diagramas de Stiff realizados. Se ha considerado una escala fija de 23 meq/l que permite comparar los distintos diagramas entre sí. En estos gráficos se confirma las mineralizaciones definidas en los gráficos de Schöeller-Berkaloff así como la clasificación de los dos tipos de aguas determinados, las de tipo bicarbonatada sódica y las de tipo clorurada sódica.

En la figura VII.4 se observa la distribución espacial de aquellos puntos que captan la Serie Sálca. En base al tipo de agua que presentan se han agrupado estas captaciones en los dos tipos de aguas establecidos anteriormente, asignándose un diagrama de Stiff tipo para cada uno de estos grupos. En esta figura se aprecia como las aguas consideradas como de tipo A corresponden a aguas menos evolucionadas propias de la zona de cabecera según el sentido del flujo, y las de tipo B corresponden con zonas próximas a la costa y/o con mayor permanencia en el acuífero.

En la tabla VII.2.2, en el Anejo VII.2, se recogen todos los análisis considerados para la caracterización hidroquímica de esta formación. Se observa como la captación 424230044 sería la que presenta un mayor contenido en cloruros así como unas conductividades eléctricas del orden de unos 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta captación se ha caracterizado como de tipo B y presenta una cota de fondo negativa, donde la cota bombeo está por debajo del nivel del mar lo que hace pensar que pueda tener cierta influencia marina.

En esta tabla también se han calculado datos estadísticos de centralización y dispersión con aquellos análisis que se consideraban menos evolucionados.

3.1.3. Formación Fonolítica

En la zona de estudio, incluida la zona periférica, se cuenta con un total de 57 puntos que captan materiales de la Formación Fonolítica, con un total de 308 análisis.

La distribución espacial de estas captaciones es relativamente homogénea en toda la zona, tal y como se observa en la figura VII.4, aunque se aprecia un mayor número de captaciones en la mitad norte de la zona de estudio, así como en la zona costera al sur de Vecindario.

En la figura VII.5 se ha representado en un gráfico de Piper los análisis tipo que captan la Fm Fonolítica. En base a su representación y a los gráficos de Schöeller-Berkaloff y Stiff realizados, se han definido cuatro tipos de agua. Un primer tipo A constituido, fundamentalmente, por aguas bicarbonatadas sódicas aunque en ocasiones llegan a ser bicarbonatadas sódicas magnésicas y/o sódicas cálcicas. Un segundo grupo B que estaría formado por aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cloruradas o sulfatadas sódicas. Un tercer tipo C estaría formado, fundamentalmente, por aguas cloruradas sódicas, y finalmente un cuarto grupo de aguas, tipo D, que estaría formado por aguas cloruradas magnésico sódicas. En principio, según el diagrama de Piper, los tipos de aguas A y B no están netamente diferenciados, sin embargo según se observa en los diagramas Schöeller-Berkaloff, en los que se aprecia las concentraciones de dichos iones, si se puede establecer dicha diferenciación.

En los gráficos Schöeller-Berkaloff se aprecia que las aguas de tipo A serían aguas con un menor grado de evolución y un menor tiempo de permanencia

en el acuífero y las aguas tipo B, C, y D serían aguas más evolucionadas con mayor tiempo de residencia, pudiendo alguna de las captaciones presentar efectos de contaminación marina. En algunas captaciones se aprecia además la presencia de CO₂ post volcánico en sus aguas.

Estos cuatro tipos de aguas se han definido a grandes rasgos a partir de su composición iónica. Sin embargo, dentro de cada uno de estos se pueden diferenciar subtipos en función de las concentraciones así como de los iones dominantes.

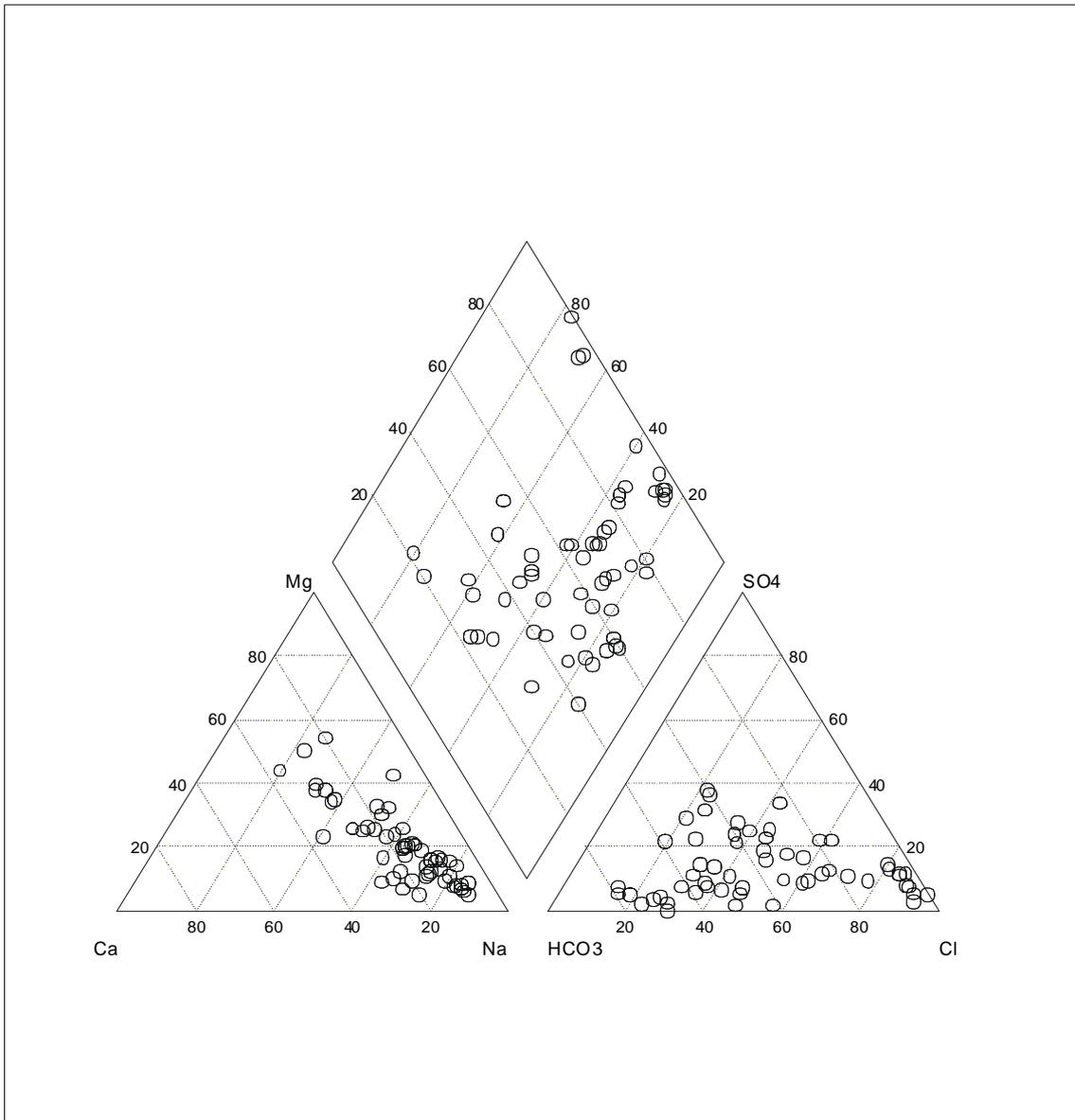


Figura VII.5 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Fonolítica.

En la figura VII.4 aparecen agrupadas las distintas captaciones según los cuatro tipos de aguas establecidos, así como el gráfico de Stiff característico para cada uno de ellos. Siguiendo una línea de flujo imaginaria desde la cumbre hasta la costa, en esta figura, se aprecia que las aguas de tipo A serían las aguas con menor mineralización, más jóvenes y más próximas al

área de recarga. Las aguas tipo B serían aguas intermedias. Y las aguas tipo C y D las correspondientes a captaciones más próximas a la costa y por tanto con mayor mineralización. Las aguas tipo D corresponden concretamente con aguas próximas a la zona de Vecindario donde se constata claros signos de intrusión marina.

En el anejo VII.2 en la figura VII.2.3 se recogen los diagramas de Stiff realizados con los análisis tipo. Para su elaboración se tomó una escala fija para todos los gráficos de 110 meq/l lo que permite la comparación entre ellos. Debido a la escala utilizada, en aquellos tipos de aguas con mineralización menor no es posible determinar el tipo de aguas que presenta, pero sí su grado de mineralización. Así las aguas tipo A presentan una mineralización de ligera a notable frente a las aguas de tipo B, C, y D que presentan una mineralización fuerte. Respecto a las aguas de tipo B, estos gráficos confirman la naturaleza bicarbonatada sódica; así como la naturaleza clorurada sódica y clorurada magnésica-cálcica de las aguas de tipo C y D respectivamente.

En este anejo, en la tabla VII.2.3, se recogen todos los análisis utilizados para caracterizar esta formación, así como un campo de origen de dato (ODA) y otro de evolución como ya se ha mencionado anteriormente. En este último campo se ha indicado mediante un asterisco aquellos análisis utilizados para el cálculo de los parámetros estadísticos que encontramos al final de esta tabla. Los parámetros estadísticos calculados son la moda, media, mediana y desviación estándar.

Tras la observación de los datos de esta tabla se aprecia que en algunas captaciones existen valores de cloruros próximos o mayores de 3.000 mg/l, captaciones 424330066 y 424330068, y unas conductividades eléctricas del orden de los 7.000 y 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ambas captaciones se han agrupado dentro del grupo de aguas de tipo D en donde se ha constatado procesos claros de intrusión marina.

3.1.4. Formación Roque Nublo

En la zona de estudio, incluida la zona de periferia, se cuenta con 47 captaciones que captan materiales de la Formación Roque nublo, con un total de 142 análisis.

Estas captaciones se sitúan fundamentalmente en la mitad norte del área de estudio en los alrededores de la Vega de San Mateo, Santa Brígida, Valsequillo y Telde.

Tras el análisis conjunto de los distintos gráficos elaborados, Piper, Stiff y Schöeller-Berkaloff realizados con los análisis químicos de las aguas subterráneas que captan materiales correspondientes a la Fm. Roque Nublo, se han diferenciado tres tipos de aguas. Estos tres grupos definidos no están, en esta ocasión, netamente diferenciados en el diagrama Piper como en otras formaciones. Un primer grupo de aguas, tipo A, que quedarían proyectados en el centro del romboide de la figura VII.6 estaría formado por

aguas de tipo bicarbonatado sódico. Dichas aguas se han considerado como aguas poco evolucionadas y típicas de la formación. Un segundo grupo, denominadas como tipo B, estaría constituido por aguas bicarbonatadas cloruradas o sulfatadas sódicas y corresponderán con aguas un poco más evolucionadas y con un mayor tiempo de residencia en el acuífero. Y un tercer grupo, denominadas tipo C, estaría formado por aguas cloruradas sódicas donde el grado de evolución es mayor.

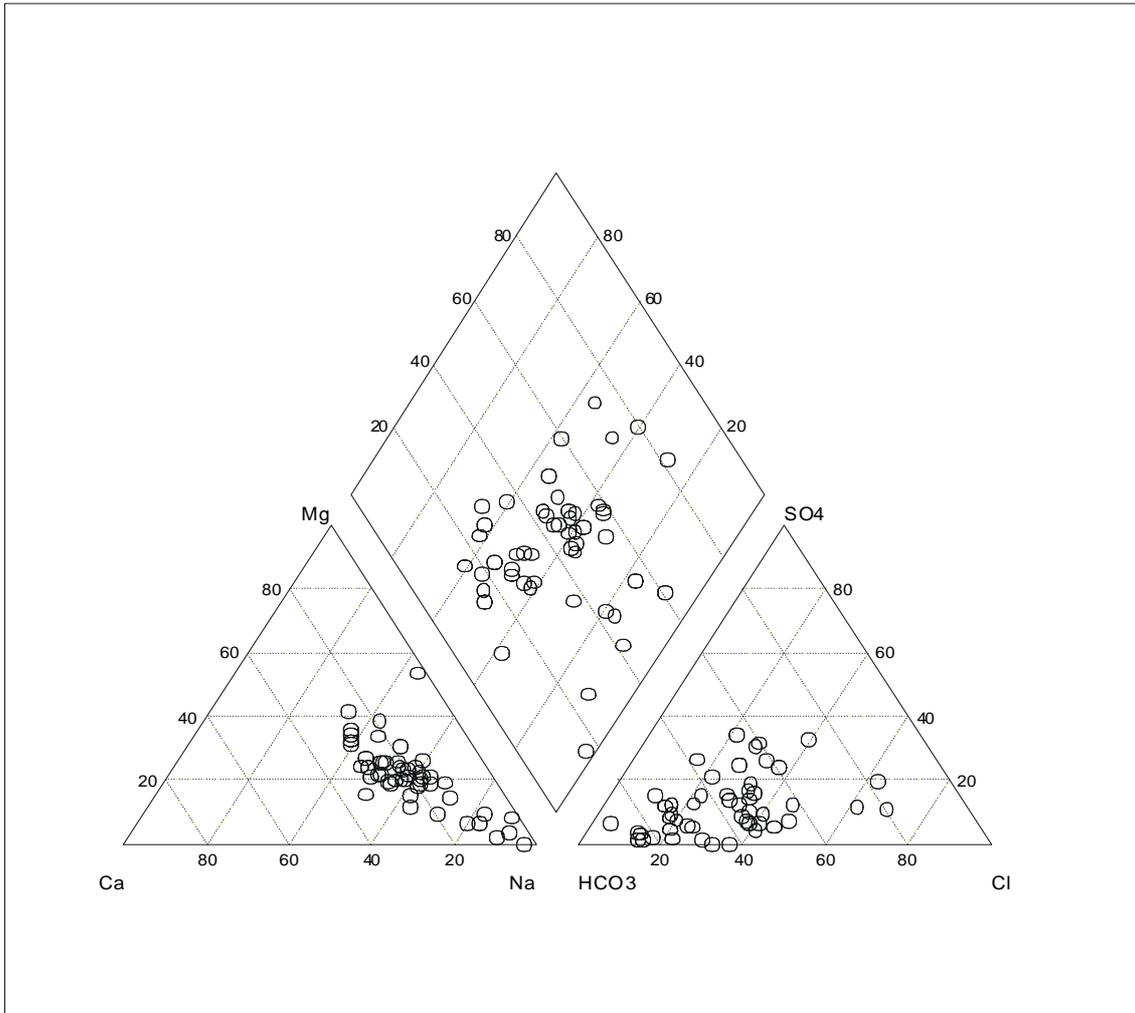


Figura VII.6 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Roque Nublo

Los diagramas de Schöeller-Berkaloff realizados con los análisis correspondientes a esta formación, se han agrupado según estos tres tipos de aguas establecidos. Las aguas de tipo A, son en general aguas estables con pocas variaciones en su composición con el tiempo, son aguas blandas con una mineralización ligera. Las aguas de tipo B presentan una morfología de gráfico distinta al grupo anterior. Son aguas más evolucionadas de dureza media y con una mineralización notable. Finalmente las aguas de tipo C son aguas más evolucionadas, son aguas duras y de mineralización fuerte. Las aguas correspondientes a la captación 424230043 que pertenece a este último grupo presentan una influencia marina aunque también presenta indicios de procesos de interacción roca-agua.

En el anejo VII.2, la figura VII.2.4 muestra los diagramas de Stiff realizados con los análisis tipo de cada una de las captaciones pertenecientes a la Fm. Roque Nublo. Para su trazado se ha tomado una escala fija de 50 meq/l. Esta escala no permite ver la morfología de los gráficos pertenecientes a las aguas definidas como de tipo A debido a la poca mineralización de las mismas en contraposición con las muestras de tipo B y C cuyo grado de mineralización es mayor. A pesar de la escala, en algunos gráficos correspondientes a las aguas de tipo A se aprecia un contenido en bicarbonatos importante, así como el carácter bicarbonato sódico de las aguas de tipo B y clorurado sódico de las aguas de tipo C.

En la figura VII.7 se observa la distribución espacial de las captaciones junto a los diagramas tipo de Stiff definido para cada uno de los grupos de aguas definida. Siguiendo una línea de flujo desde la zona de cumbres hasta la costa, las aguas de tipo A se localizan en cotas elevadas que van desde los 1.500 m hasta los 500 m. Serían aguas de cabecera, de ahí su escasa mineralización. Las aguas tipo B y C se sitúan entre los 400 y 100 m atribuyéndosele un tiempo mayor de residencia en el acuífero así como una cierta influencia marina debido a su proximidad a la costa.

En el anejo VII.2, en la tabla VII.2.4, se recogen todas las características físico-químicas de los análisis utilizados para caracterizar la formación Roque Nublo. Al final de esta misma tabla se han incluido una serie de parámetros estadísticos de centralización, (media, mediana y moda) y de dispersión (desviación estándar) con el fin de caracterizar las muestras.

Según se observa en la analítica de las distintas captaciones en dicha tabla, en general son aguas de buena calidad, con un contenido iónico medio.

3.1.5. Formación Detrítica Las Palmas

Para la caracterización de esta formación se cuenta con un total de 107 análisis químicos correspondientes a 11 captaciones cuyas aguas subterráneas según la descripción de las columnas geológicas proceden de la Formación Detrítica Las Palmas.

Estas captaciones se sitúan en las proximidades del núcleo de Telde y hacia la costa, a una cota topográfica de 100 m sobre el nivel del mar. En la figura VII.7 se observa la distribución espacial de las captaciones

Una vez más se han representado los análisis químicos en sendos diagramas de Piper, figura VII.8, Stiff y Schöeller-Berkaloff y se han establecido familias o tipos de aguas. En este caso se han definido cuatro tipos aunque realmente tres de ellas no constituyen un tipo de agua en sí ya que sólo se cuenta con un análisis por tipo de agua para su definición.

El agua de tipo A es un agua de tipo bicarbonatado clorurado magnésico sódico, y se encuentra en la captación 424270006. Esta captación presenta

una cota de fondo negativa así como indicios de presencia de CO_2 en el agua. Es un agua dura con una mineralización notable.

El agua de tipo B es de tipo clorurado magnésico y se encuentra en la captación 424280035. Según el diagrama Schöeller-Berkaloff hay indicios de contaminación marina en este punto, con una evolución ascendente en el tiempo. Esta captación presenta una cota de fondo negativa y un elevado contenido en cloruros. Es un agua muy dura con una mineralización fuerte.

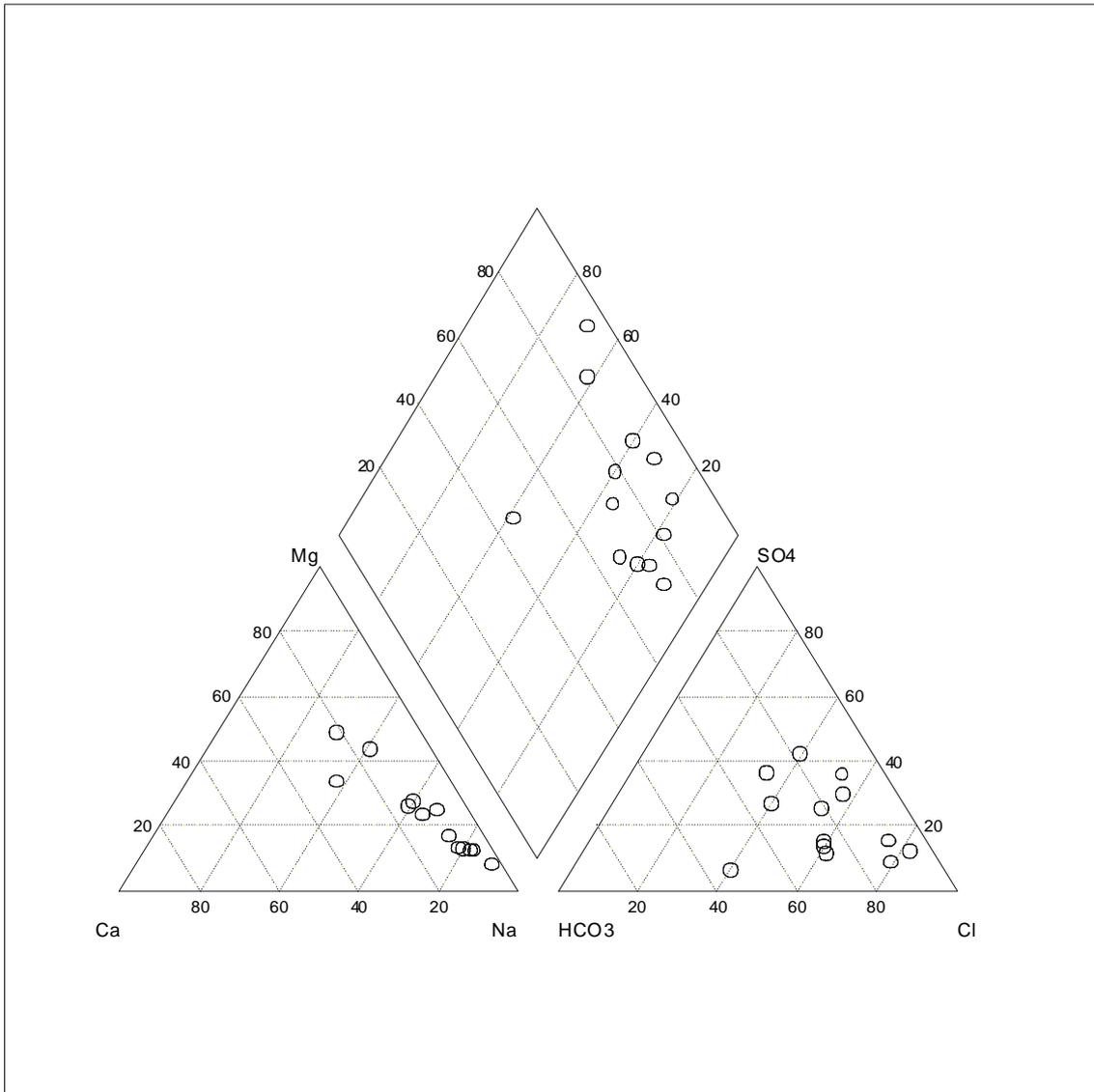


Figura VII.8 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Detrítica Las Palmas

El agua de tipo C es de tipo clorurado sódico-magnésico y pertenece a la captación 424240024. Según el diagrama de Schöeller-Berkaloff se observa un empeoramiento del agua con el tiempo, aunque en este caso puede ser debido a retornos de riego ya que tras consultar la analítica completa se aprecia un contenido en sulfatos y nitratos elevado. Además, el empeoramiento observado no presenta la evolución típica de contaminación marina. Se trata de un agua muy dura con una mineralización fuerte.

Las aguas que constituyen el grupo D están caracterizadas por los análisis correspondientes a ocho captaciones. En el diagrama de Piper estas aparecerían proyectadas en el vértice derecho del romboide. Un aspecto común en la mayoría de las captaciones es la de presentar una cota de fondo negativa. Según los diagramas de Schöeller-Berkaloff las aguas de este grupo presentan una evolución ascendente en el tiempo, con claros signos de empeorar. La mayoría de las captaciones presentan un contenido en nitratos y sulfatos elevado lo que indica la existencia de aguas de retornos de riego a lo que habría que añadir un aumento de la salinidad como consecuencia de la intrusión marina que se produce en algunos puntos. Se trata de un agua con un grado de dureza medio y una mineralización fuerte.

En la figura VII.7 se observa la distribución espacial de los cuatro tipos de agua establecidos así como el diagrama tipo de Stiff definido. En general, según se aprecia en la morfología de dichos gráficos, se trata de aguas con una importante mineralización en las cuales predomina un elevado contenido en cloruros.

En el anejo VII.2, en la figura VII.2.5 se recogen los diagramas de Stiff realizados a los análisis tipo de la Fm. Detrítica Las Palmas. Para su trazado se ha considerado una escala fija de 90 meq/l definida por el máximo de concentración obtenido del conjunto de muestras. Estos gráficos confirman los distintos tipos de aguas definidos anteriormente.

En la tabla VII.2.5, en el anejo VII.2, se incluyen todos los análisis utilizados para la caracterización geoquímica de esta formación. Al final de la misma se recogen una serie de parámetros estadísticos de centralización media, mediana y moda, así como de dispersión, desviación estándar, con el fin de caracterizar el agua de la Formación.

En esta tabla se observa que algunas captaciones, como la 424280035 considerada como del grupo B, presentan un contenido en cloruros elevado del orden de 3.000 y 4.000 mg/l así como una conductividad eléctrica mayor de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como se indicó anteriormente esta captación presenta indicios de contaminación marina. La captación 424280051, considerada como de tipo D también presenta un elevado contenido en cloruros del orden de los 2.000 mg/l y una conductividad eléctrica mayor de 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según se observa en el gráfico de Schöeller-Berkaloff y su evolución en el tiempo, existen claros indicios de contaminación marina.

3.1.6. Formación Post Roque Nublo

En la zona de estudio, incluida la zona periférica, se cuenta con 28 captaciones con un total de 107 análisis cuya agua subterránea, según la descripción de las columnas geológicas, procede de la Formación Post Roque Nublo.

Estas captaciones se sitúan en la zona nordeste del área de estudio, en las proximidades de la Vega de San Mateo y Santa Brígida y un segundo grupo en las inmediaciones de los núcleos de Telde y Aguimes.

Tras el análisis del diagrama de Piper realizado para la Fm. Post Roque Nublo, figura VII.9, se han establecido tres tipos de aguas subterráneas. Un primer tipo A que quedaría proyectado en la zona centro izquierda del romboide formado por aguas bicarbonatadas sódicas o magnésico-sódicas que corresponden con aguas poco evolucionadas. Un segundo tipo B que queda proyectado más próximo al vértice derecho del romboide formado por aguas cloruradas sódicas o sulfatadas cloruradas sódicas consideradas como aguas más evolucionadas, con un mayor tiempo de permanencia en el acuífero. Y finalmente un tercer grupo, tipo C, formado por aguas cloruradas sódico-magnésicas, con un mayor grado de evolución.

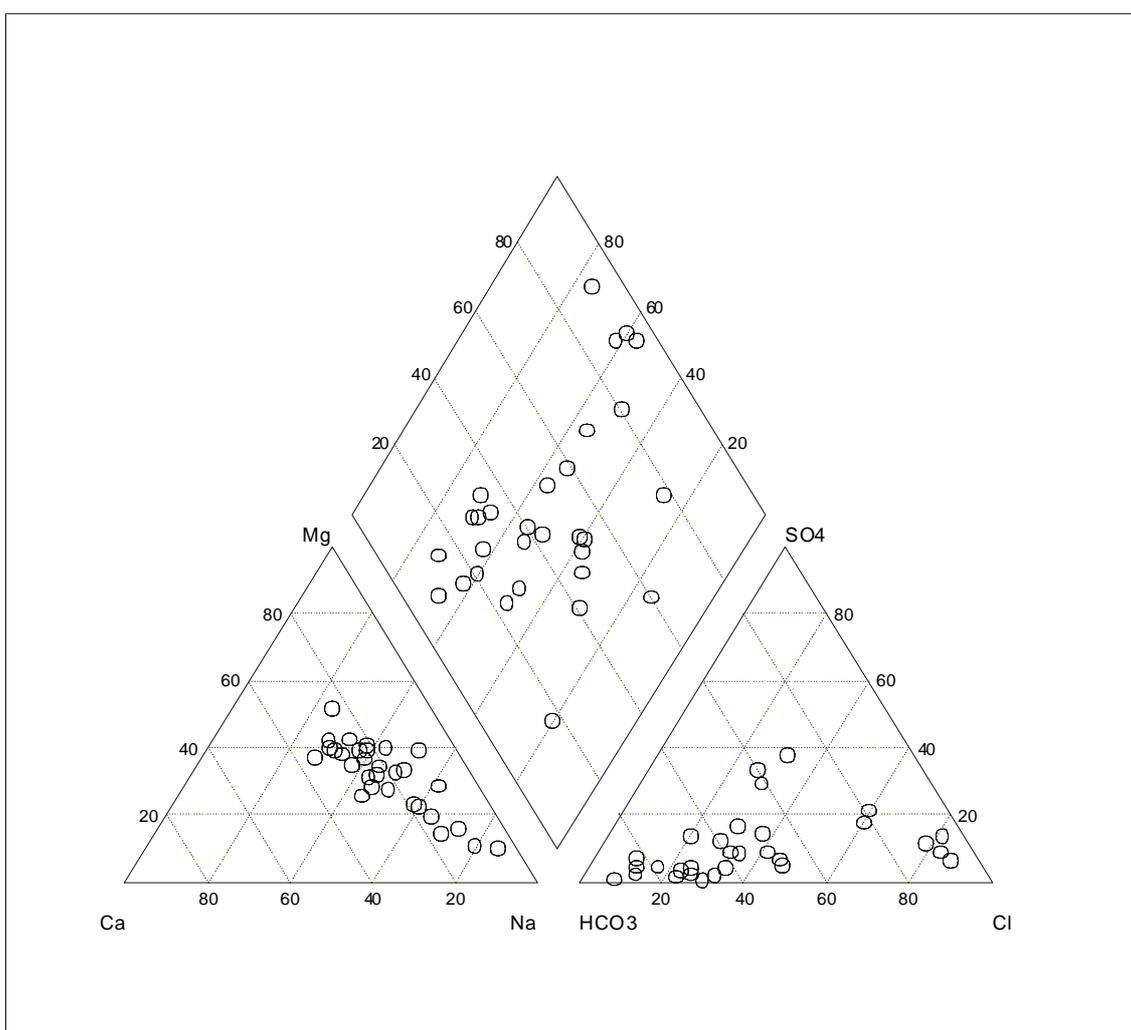
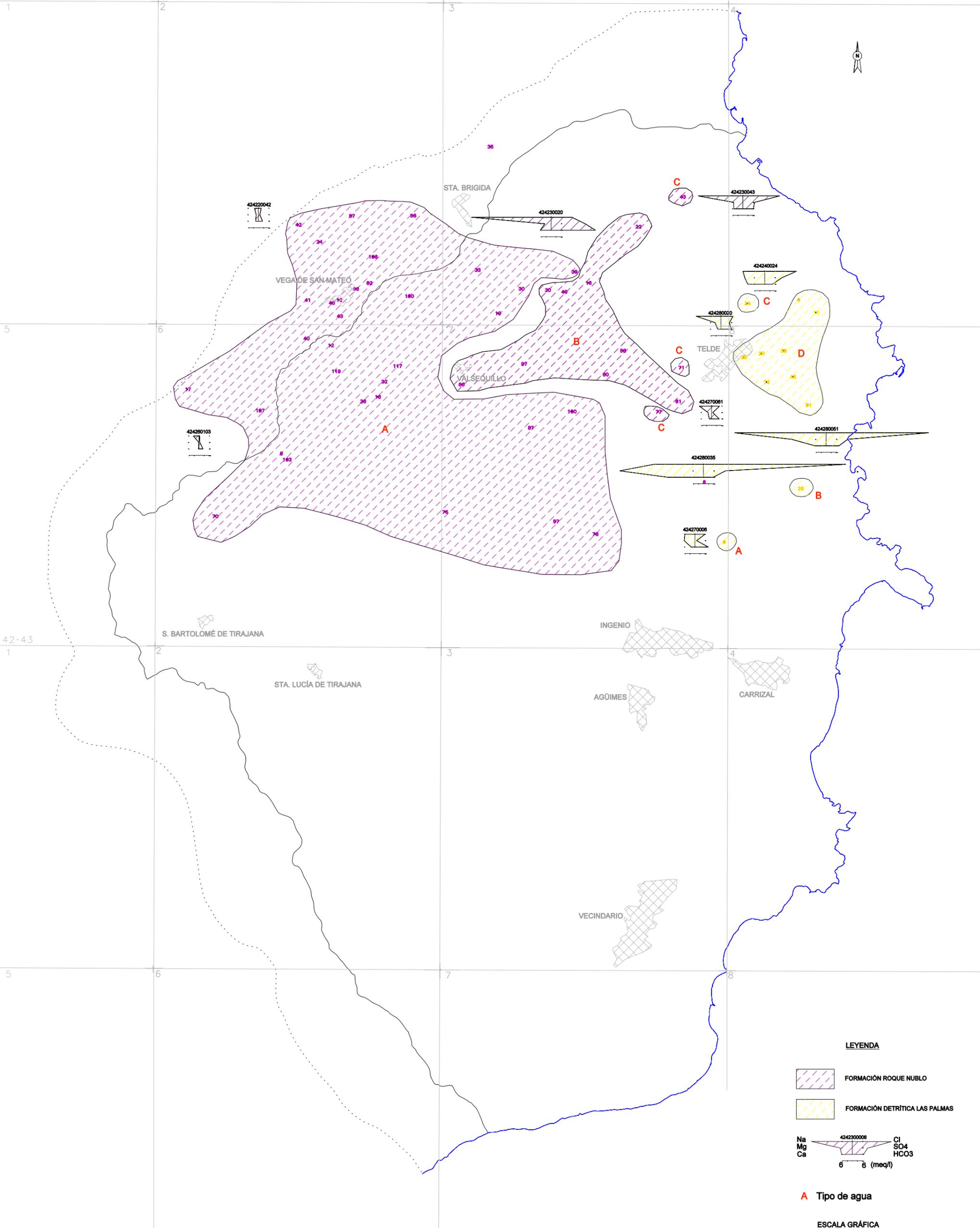


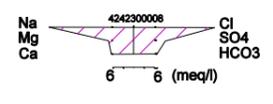
Figura VII.9 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de la Formación Post-Roque Nublo

Estos tres grupos de aguas subterráneas también se observan en los diagramas de Stiff y Schöeller-Berkaloff.



LEYENDA

- FORMACIÓN ROQUE NUBLO
- FORMACIÓN DETRÍTICA LAS PALMAS



A Tipo de agua

ESCALA GRÁFICA



Fig. VII.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS QUE CAPTAN LA FORMACIÓN ROQUE NUBLO Y LA FORMACIÓN DETRÍTICA LAS PALMAS. TIPOS DE AGUAS Y DIAGRAMAS DE STIFF ASOCIADOS

Del análisis de los diagramas de Schöeller-Berkaloff se confirma que las aguas pertenecientes al grupo A son aguas bicarbonatada sódica o magnésico sódica, de mineralización notable y dureza media. En algunas captaciones se aprecia cierto contenido en CO₂ en el agua. En general son aguas muy estables con poca evolución geoquímica en el tiempo. Las captaciones pertenecientes al grupo B presentan un agua dura con un grado de mineralización fuerte. Presentan un tipo de gráfico diferente al grupo anterior y es posible que estén afectadas por retornos de riego. Según se observa en la analítica completa de algunas captaciones estas aguas presentan un contenido en nitratos mayor de 150 mg/l. El tercer tipo de aguas, el grupo C, esta representado por tres captaciones situadas próximas a la costa, con una cota de fondo negativa y que presenta un contenido en cloruros elevado. Dichas captaciones presentan unas aguas muy duras con una mineralización fuerte. Según se observa en la analítica completa la conductividad eléctrica, el contenido en cloruros y el de sulfatos es elevado. Concretamente, en la captación 424240011, el contenido en cloruros aumenta con el tiempo, apreciándose cierta tendencia a la relación marina con intercambio iónico.

Si se tiene en cuenta el sentido del flujo del agua subterránea, las aguas de tipo A corresponderían con aguas menos evolucionadas situadas en un tramo medio de su recorrido hasta el mar. Las aguas de tipo B y C corresponden a fases más distales que han sufrido algún o algunos procesos modificadores en el quimismo de sus aguas como, mezcla con aguas procedentes de riego, procesos de salinización y/o intercambio iónico roca-agua.

En la figura VII.10 se observan las distintas familias de aguas establecidas así como los gráficos de Stiff asociados. En el se aprecia como los diagramas de las aguas de tipo C presentan una mayor mineralización respecto a las aguas de tipo A. La escala definida en estos gráficos es de 6 meq/l. Esta figura permite a su vez ver la distribución espacial de las muestras, observándose que las aguas de tipo C están situadas próximas a la costa y las de tipo A hacia el interior. Las aguas de tipo B estarían situadas en una posición intermedia.

La figura VII.2.6, en el anejo VII.2, recoge todos los diagramas de Stiff realizados con los análisis tipo de esta formación, especificando el tipo de agua en cada uno de ellos. Para su trazado se ha considerado una escala fija de 130 meq/l. Debido al menor grado de mineralización de las aguas de tipo A no es posible apreciar el tipo de aguas que presentan, siendo esto posible en las aguas de tipo B y C.

En el Anejo VII.2, tabla VII.2.6, se recogen todas las características físico-químicas de las aguas procedentes de esta formación. Al final de la misma se incluyen una serie de parámetros estadísticos de centralización media, mediana y moda, así como de dispersión, desviación estándar, con el fin de caracterizarla.

En esta tabla se observa un elevado contenido en cloruros y una conductividad eléctrica alta en dos captaciones, la 424240011 y la 424280025, consideradas de tipo C.

3.1.7. Materiales Sedimentarios

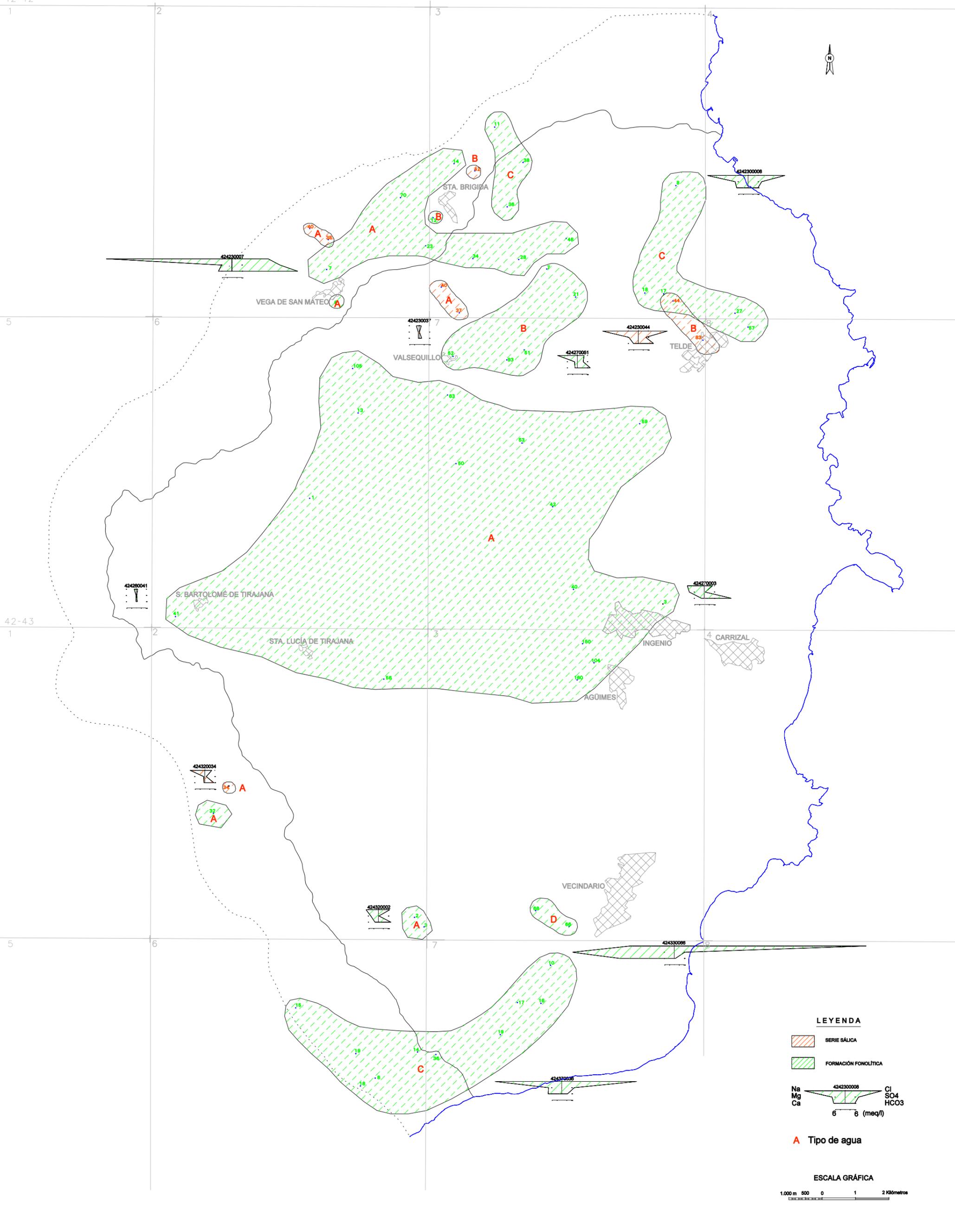
En la zona de estudio se cuenta con datos de cinco captaciones cuya agua subterránea procede de los Materiales Sedimentarios. Estas captaciones se sitúan principalmente en la zona S-SE de la isla, en las inmediaciones de Vecindario y próximo a la costa.

Tras la representación en distintos tipos de gráficos, Stiff, Schöeller-Berkaloff y Piper, de los 52 análisis correspondientes a estas captaciones se han diferenciado dos tipos de agua: un tipo A que engloba a las captaciones 424340010, 424370015 y la 424370020 y un tipo B que engloba a las captaciones 424370013 y 424370014.

Las aguas procedentes de las captaciones que se han considerado como de tipo A, aparecen proyectadas próximas al vértice derecho del diagrama Piper, figura VII.11, lo que indica que se trata de aguas cloruradas sódicas. Las aguas correspondientes al tipo B se sitúan próximas al vértice superior del romboide y se corresponden con aguas cloruradas cálcicas magnésicas.

En los diagramas de Stiff y Schöeller-Berkaloff se aprecia cierta similitud entre las aguas de las distintas captaciones que comprenden el tipo A. Según el contenido iónico observado en la analítica completa de dichas captaciones se deduce que existen problemas de contaminación marina claro en la captación 424370015, donde la conductividad alcanza valores de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el contenido en cloruros y sulfatos es elevado. En esta captación se aprecia un empeoramiento en la composición del agua con el tiempo. Se trata de aguas muy duras con una mineralización fuerte. Las aguas procedentes de la captación 424370020 presentan similares características aunque son más estables en el tiempo. Su conductividad eléctrica no es tan elevada. Ambas captaciones presentan una cota de fondo negativa. El diagrama de Schöeller-Berkaloff realizados a las aguas procedentes de la captación 424340010 parece indicar un fuerte empeoramiento en la calidad de la misma, aunque no existen muchos datos para su definición. Se observa que presenta una tendencia similar a las captaciones anteriores y que esta salinizada aunque se precisa de mas datos para su análisis. Se trata de un agua muy dura con una mineralización fuerte.

Las aguas procedentes de las captaciones que se han considerado de tipo B presentan cierta similitud según queda reflejado en los diagramas de Stiff y Schöeller-Berkaloff. En ambas captaciones se aprecia una evolución ascendente en el tiempo lo que se traduce como un empeoramiento del agua. Los análisis químicos procedentes de estos puntos presentan una conductividad elevada, aproximadamente 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y un contenido en cloruros y sulfatos alto. El contenido en nitrato también es elevado mayor de 100 mg/l lo que indica un retorno de riegos importante. Además hay que



LEYENDA

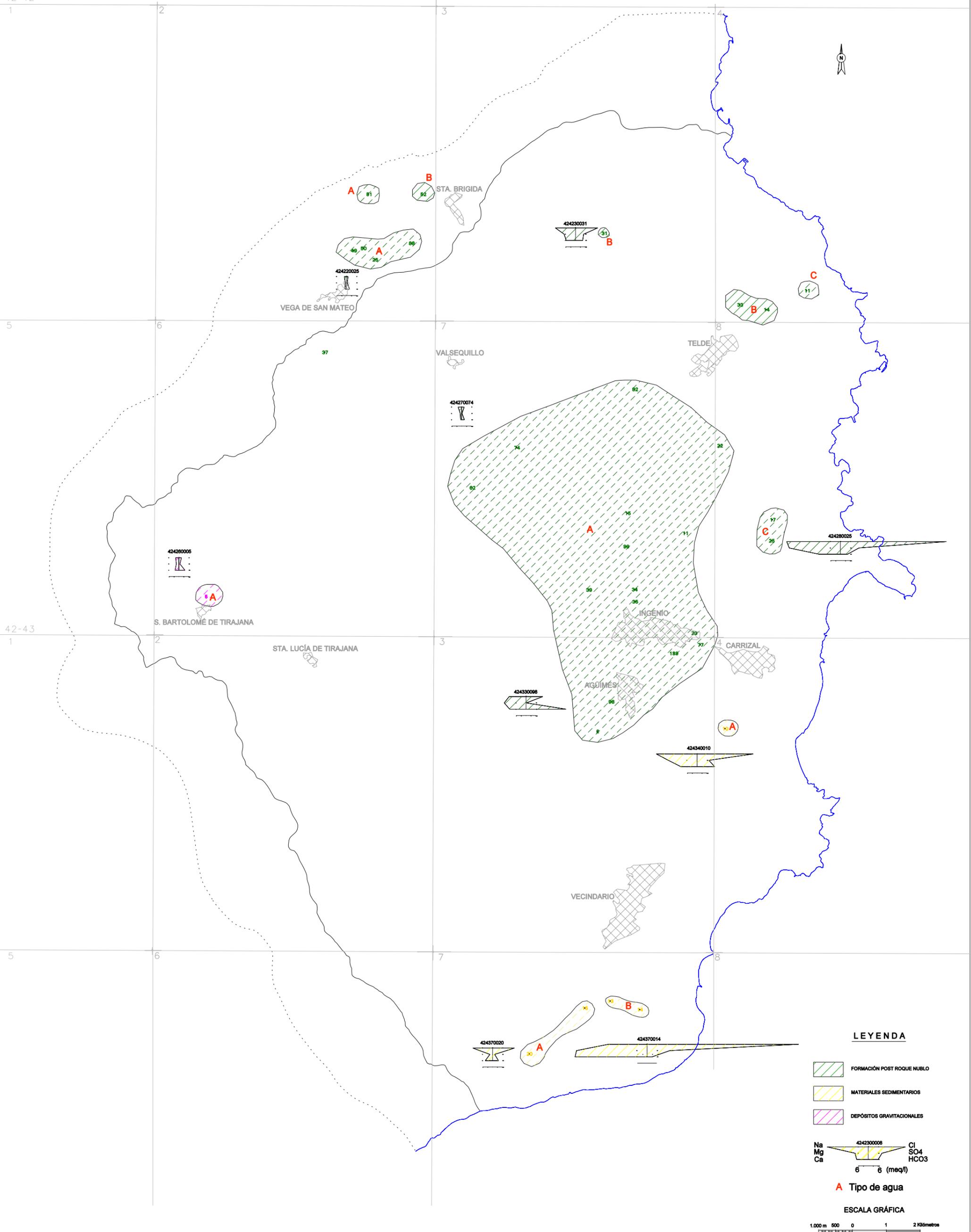
- SERIE SÁLICA
- FORMACIÓN FONOLÍTICA

Na Mg Ca Cl SO4 HCO3
6 6 (meq/l)

A Tipo de agua

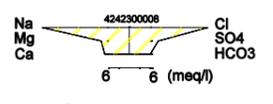
ESCALA GRÁFICA
1.000 m 500 0 1 2 Kilómetros

Fig. VII.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS QUE CAPTAN LA SERIE SÁLICA Y LA FORMACIÓN FONOLÍTICA. TIPOS DE AGUAS Y DIAGRAMAS DE STIFF ASOCIADO.



LEYENDA

- FORMACIÓN POST ROQUE NUBLO
- MATERIALES SEDIMENTARIOS
- DEPÓSITOS GRAVITACIONALES



A Tipo de agua

ESCALA GRÁFICA



Fig. VII.10 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS QUE CAPTAN LA FORMACIÓN POST ROQUE NUBLO, MATERIALES SEDIMENTARIOS Y DEPÓSITOS GRAVITACIONALES. TIPOS DE AGUAS Y DIAGRAMAS DE STIFF ASOCIADOS.

destacar que ambas captaciones presentan una cota de fondo negativa. En estas captaciones el agua es dura y con un grado de mineralización fuerte.

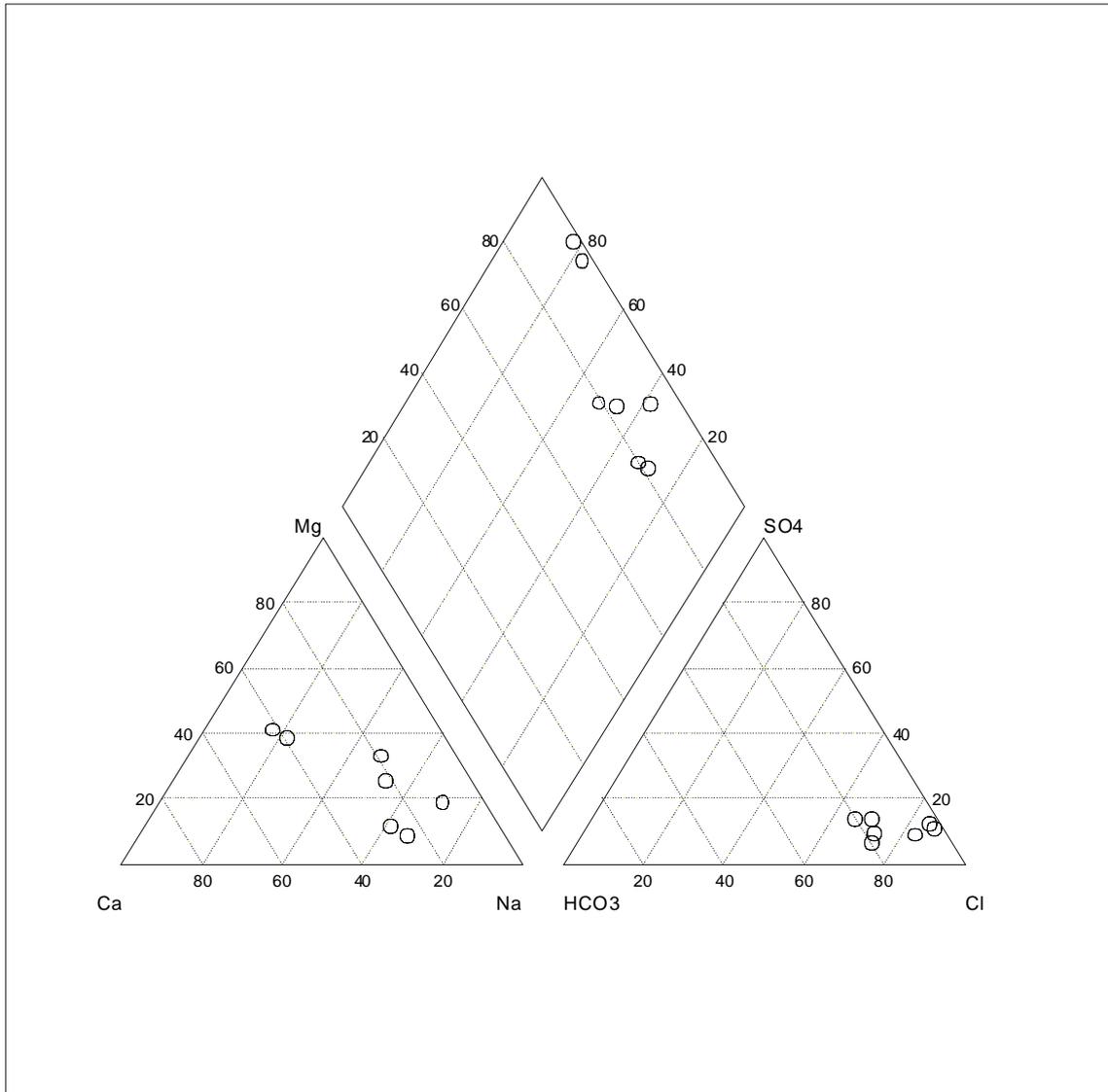


Figura VII.11 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de los Materiales Sedimentarios

En la figura VII.10, se observa la distribución espacial de las captaciones así como el diagrama de Stiff tipo asignado a los dos grupos de aguas definidos. En ellos se aprecia el marcado carácter clorurado de las aguas, siendo de tipo cálcico o sódico en función del tipo de agua definido.

En el anejo VII.2, figura VII.2.7 se recogen los distintos diagramas de Stiff realizados a los análisis tipo que caracterizan esta Formación. Debido a la gran mineralización del agua subterránea, la escala asignada a estos gráficos es de 110 meq/l.

En la tabla VII.2.7, del anejo VII.2 se recogen todas las características físico-químicas de los análisis utilizados para la caracterización de esta formación. También se han incluido los parámetros estadísticos básicos de

centralización media, mediana y moda, así como de dispersión, desviación estándar, con el fin de caracterizarla.

Según se aprecia en esta tabla el contenido en cloruros es elevado en la mayoría de las captaciones, en algún caso se ha llegado a obtener 3.800 mg/l y conductividades eléctricas del orden de las 10.000 $\mu\text{S/cm}$. Como se ha indicado en este apartado en algunas de estas captaciones hay indicios claros de contaminación marina.

3.1.8. Depósitos gravitacionales

En la zona de estudio sólo se cuenta con la información analítica de una captación la 424260005, con dos análisis, que capta los materiales detríticos correspondientes a Depósitos gravitacionales.

Dicha captación se sitúa en las inmediaciones de San Bartolomé de Tirajana en la zona de cumbres y por tanto de la zona de recarga. En la figura VII.10 se puede apreciar su situación.

En la figura VII.12 se observa la representación gráfica mediante un diagrama Piper del agua de esta captación. Esta muestra se sitúa próxima al vértice izquierdo del romboide que corresponde con aguas bicarbonatadas cálcicas.

Según el diagrama de Schöeller-Berkaloff y el contenido iónico observado se trata de aguas de buena calidad, que se ha mantenido más o menos estable en el tiempo. Son aguas blandas y con una mineralización que va desde ligera a notable.

La figura VII.2.8, del anejo VII.2, muestra el diagrama de Stiff realizado para esta captación en donde se corrobora el carácter bicarbonatado cálcico de sus aguas. La figura VII.10 también muestra el gráfico de Stiff tipo asignado a la captación.

En el Anejo VII.2, en la tabla VII.2.8, se recogen los análisis utilizados para la caracterización de estos materiales, así como los parámetros estadísticos que lo definen. Según el contenido iónico observado se trata de aguas de buena calidad propias de zonas de recarga.

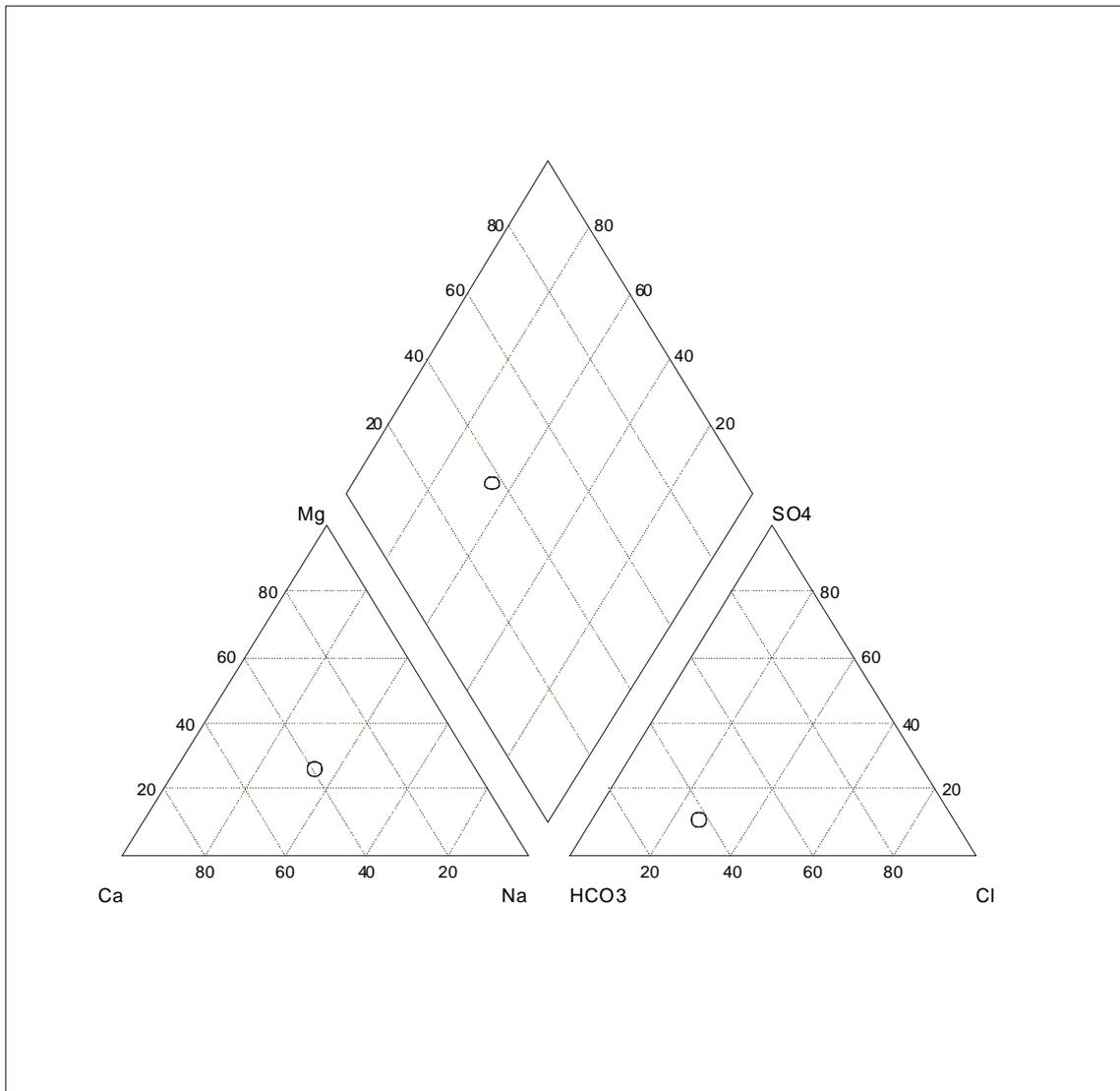


Figura VII.12 Diagrama de Piper de las aguas subterráneas procedentes de los Depósitos Gravitacionales

3.2. Análisis de los resultados estadísticos

En este apartado se pretende realizar un análisis somero de los datos estadísticos calculados a los distintos parámetros físico-químicos característicos de cada formación acuífera. Dichos parámetros aparecen agrupado según las distintas formaciones geológicas en el cuadro VII.2.

Tal y como se indicó en el apartado anterior, estos parámetros estadísticos se han calculado con aquellos análisis considerados como representativos para cada formación. El criterio utilizado para su selección fue fundamentalmente que los análisis tuvieran cierta estabilidad en el tiempo, y que pertenecieran al grupo A, definidos mediante el gráfico de Piper, y considerados como aguas típicas de la formación. Así mismo, se han incluido algún que otro análisis que se consideró por su contenido iónico como agua típica de la Formación. Los análisis utilizados para este cálculo

estadístico se han reseñado con un asterisco (*) en la columna de evolución de cada una de las tablas (Anejo VII.2, Tablas VII.2.1. a VII.2.8.).

En líneas generales, el pH no presenta grandes variaciones en los distintos parámetros estadísticos calculados para las distintas formaciones geológicas. Sin embargo, en el resto de los parámetros hidroquímicos si se aprecian ciertas variaciones entre las distintas formaciones.

La media de la conductividad eléctrica es del orden de los 350-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la mayoría de las formaciones volcánicas, siendo del orden de los 1.500-2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aquellos acuíferos de naturaleza detrítica, como son la Fm. Detrítica Las Palmas y los Mat. Sedimentarios.

Algo similar ocurre con los valores medios obtenidos para los aniones Cl^- , SO_4^{-2} y CO_3H^- y cationes Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , y Mg^{+2} , una vez mas los valores mas elevados se obtienen en los materiales sedimentarios y en las formaciones detríticas.

Respecto a los valores obtenidos para la moda y mediana, los más altos se obtienen para la Fm. Detrítica Las Palmas y los Mat. Sedimentarios. Aunque en este caso no existe tanta diferencia en dichos estadísticos para los cationes de K^+ , Ca^{+2} , y Mg^{+2} respecto a otras formaciones.

3.3. Diagramas logarítmicos verticales (Schöeller-Berkaloff)

Para la caracterización química del agua subterránea de la zona de estudio se procedió, como ya se ha indicado anteriormente, a la realización de diagramas logarítmicos verticales Schöeller-Berkaloff en aquellas captaciones que tuvieran más de un análisis para el período de estudio 1970-1999. Los diagramas logarítmicos verticales se encuentran en el anejo VII.3.I y VII.3.II.

Debido a la procedencia de los datos, el número de análisis por captación así como la fecha de recogida de muestras es variable. No obstante, tras su representación se ha visto que se cuenta con una distribución espacial y temporal bastante homogénea. En el plano VII.1, en el tomo de planos, se observa la distribución espacial de los 482 diagramas logarítmicos verticales Schöeller-Berkaloff obtenidos para la zona.

Estos diagramas permitieron visualizar las variaciones hidroquímicas producidas en el tiempo en cada captación así como las relaciones existentes entre los distintos iones. Estas variaciones hidroquímicas se corresponden fundamentalmente con períodos de sobrebombes realizados en las captaciones así como con las reperforaciones realizadas en las mismas con el fin de satisfacer las demandas de agua existentes.

Las variaciones en la explotación se traducen a su vez en una modificación en la química del agua como consecuencia de varios factores: captación de aguas más salinas al tratarse de aguas más antiguas y con mayor

permanencia en el acuífero, procesos de intrusión de agua del mar y/o a la captación de aguas salinas atrapadas.

El análisis de la información hidroquímica existente permitió a su vez suspender la incipiente campaña de muestreo de aguas subterráneas que se estaba realizando en la zona, al considerarse suficiente la información con que se contaba.

Así mismo, estos gráficos permitieron realizar una selección de aquellos análisis químicos representativos del total de análisis recopilados, unos 2.769, con el fin de tener un mejor manejo de los datos sin perjuicio de la información y caracterización hidroquímica de la zona. Finalmente se obtuvo un total de 751 análisis representativos en la zona.

Como ya se indicó anteriormente, uno de los criterios de selección considerados fue el de incluir todos aquellos análisis químicos correspondientes a aquellas captaciones con un solo análisis independientemente de la fecha de muestreo con el fin de no perder la información química de ese punto. En aquellas captaciones con más de un análisis se optó por tomar la analítica más reciente y tras la observación de su diagrama logarítmico vertical considerar un segundo análisis en aquellos puntos que aportaran alguna información sobre variaciones y modificaciones de la química del mismo.

Posteriormente, se realizó una clasificación geoquímica a estos 751 análisis representativos según los iones dominantes o clasificación de Schöeller cuya relación se encuentran en el anejo VII.4, Tabla VII.4.1.

En la figura VII.13 se observa la distribución espacial de esta clasificación geoquímica por iones dominantes o clasificación de Schöeller, indicándose en color verde la clasificación de aquellas captaciones que cuentan con más de un análisis representativo. Se observa como la mayoría de las captaciones con más de un análisis representativo se sitúan en las proximidades de la costa lo que indica que esta es la zona donde se produce una mayor modificación en las condiciones de explotación y consecuentemente en la hidroquímica de las aguas subterráneas.

Según esta clasificación de Schöeller, el 22% de las muestras corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas, seguidas de un 19,6 % de aguas cloruradas sódicas, y en menor porcentaje, un 9,6 %, bicarbonatadas sódico-magnésica, el resto serían de muy diversos contenido iónico. Atendiendo al contenido aniónico las aguas son bicarbonatadas en un 53,5%, clorurada un 42,9% y el 3,6% restante serían aguas sulfatadas. Según su contenido catiónico serían un 81% sódicas, seguidas de 17% magnésicas y en menor proporción un 2% cálcicas.

4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE CALIDAD: CONDUCTIVIDAD, CLORUROS, SULFATOS Y NITRATOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Con el fin de caracterizar los distintos procesos que tienen lugar en la zona, se ha estudiado de forma detallada la distribución espacial de cuatro parámetros indicadores de calidad: conductividad, cloruros, sulfatos, y nitratos. Para ello se han elaborado mapas de isolíneas para los períodos más extremos en el tiempo y con mayor cobertura espacial. Se ha tomado como período de partida, los datos correspondientes a los años 1970-74 pertenecientes al estudio del SPA 15 y como período final, los datos correspondientes a los años 1990-1999, que proceden de distintos informes del IGME y del CIAGC. Estos mapas se encuentran en el Tomo de Planos.

Así mismo, y con el objeto de completar la información obtenida de los mapas anteriores, se han realizado mapas de isolíneas de cloruros para los períodos 1980-82, 1990-95 y 1997-99, períodos más o menos coincidente con los tomados para la realización de los planos de isopiezas. El objeto de estos segundos planos de isolíneas de cloruros fue el de analizar la relación existente entre los contenidos de cloruros y la piezometría en cada uno de los períodos.

4.1. Metodología utilizada

Para la realización de los mapas de isolíneas se han considerado los valores medios de los distintos parámetros, siempre y cuando estos fueran representativos, para cada uno de los períodos considerados. La conductividad se ha expresado en $\mu\text{S/cm}$ y los cloruros, nitratos y sulfatos, en mg/l . La relación de análisis químicos utilizados, así como los valores medios obtenidos, aparece de forma tabulada dentro del anejo VII.5.

En la tabla VII.5.1 se han expresado los valores medios de estos cuatro parámetros para el período SPA. En la primera columna aparece un identificador de la captación según numeración IGME, seguida de la media de conductividad en $\mu\text{S/cm}$ y la media de cloruros, sulfatos y nitratos en mg/l . También se ha incluido la media de cloruros, sulfatos y nitratos en meq/l .

En la tabla VII.5.2 se han expresado los análisis correspondientes al período 1990-99. La distribución de los datos es similar a la de la tabla VII.5.1 pero con los datos correspondientes a este período.

El trazado de las curvas se realizó a mano, siendo posteriormente digitalizadas para su incorporación a arc-view. Dicha digitalización permitió la creación de recintos cerrados en aquellas áreas de igual isocontenido. Estos mapas generados con extensión shp de arc-view, fueron exportadas con extensión dxf para posteriormente recuperarlas con Microstation.

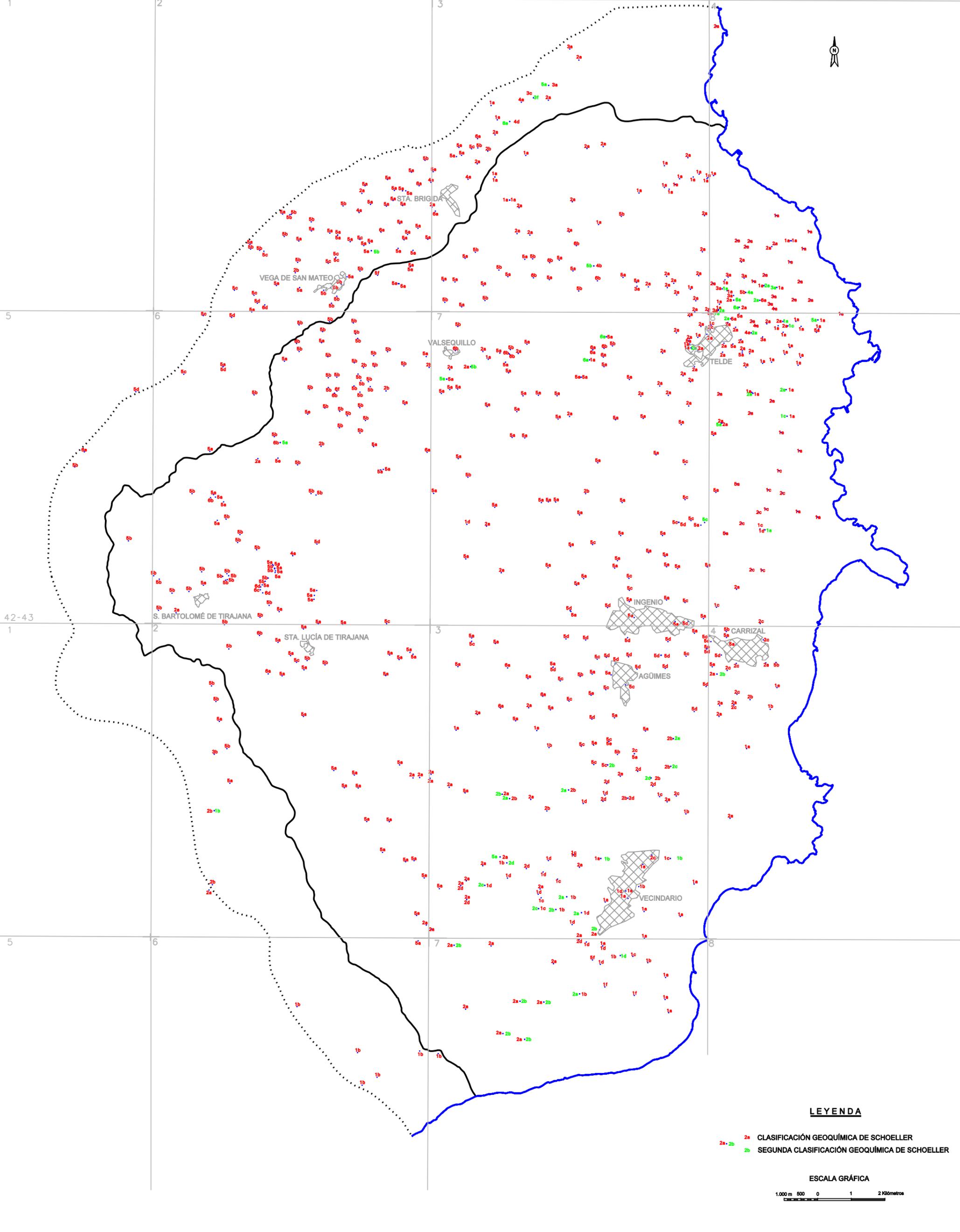


Fig. VII.13 CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA POR IONES DOMINANTES O CLASIFICACIÓN DE SCHOELLER

Debido al tamaño de la zona y a la escala de trabajo, la equidistancia considerada entre líneas en los distintos mapas es variable en virtud de una mayor claridad de los datos.

4.2. Isolíneas correspondientes a los períodos 1970-1974 y 1990-99

4.2.1. Conductividad

1970-74

El plano VII.2 representa las isolíneas de conductividad eléctrica para este período. Para su realización se han considerado un total de 138 puntos, cuyos valores oscilan entre 115 y 14.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Según la Reglamentación Técnico-Sanitaria RD 140/2003 se estima como nivel guía una conductividad próxima a los 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La disposición de las isolíneas permite diferenciar dos zonas: una central coincidente con las zonas de cotas más altas que presenta unas conductividades eléctricas media de unos 100-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y otra situada mas hacia la costa, con una morfología casi paralela a la misma que abarca desde la isolínea de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situada a una cota topográfica entre 300-400 m, hasta la isolínea de 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, más próxima al mar.

En la zona comprendida entre Telde e Ingenio se observa una incipientes perturbación que se manifiesta por la migración de las isolíneas de 2.000 hasta 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tierra adentro, situándose hasta cotas próximas a los 200 m. Algo similar, pero más acusado, se produce en la zona sur, en las proximidades de Vecindario, que debido a la menor pendiente de la zona, las isolíneas de 2.000 hasta 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avanzan tierra adentro también hasta cotas próximas a los 200 m.

Así mismo, para este período se ha obtenido valores de conductividades eléctricas medias mayores de 14.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en dos captaciones, la 424280028 y la 424370023, próximas a la costa.

Otros valores anómalos elevados del orden de los 2.000-4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se han observado en algunas captaciones situadas en las inmediaciones de San Bartolomé de Tirajana y Santa Lucia de Tirajana, así como en algunas captaciones dispersas de la zona norte.

1990-99

Para la realización del plano de isolíneas de conductividad eléctrica, plano VII.3, se han considerado un total de 537 puntos, cuyos valores oscilan entre 150 y 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Debido al importante número de datos existentes se han trazado un mayor número de isolíneas con un espaciado distinto al período anterior, lo que confiere un mayor grado de detalle al plano.

En general, se observa que los valores de conductividad eléctrica se mantienen o mejoran en la zona de cumbres, pero aumentan en el resto del área de estudio. La zona comprendida entre las isóneas de 200 y 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ permanece más o menos homogénea con algunos valores anómalos puntuales en algunas captaciones.

A partir de la isónea de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se sigue apreciando una distribución de las isóneas paralela a la costa, aunque más heterogénea. En este período, la isónea de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sufre una importante modificación en su trazado desplazándose hacia el interior de la isla, lo que indica un aumento de la mineralización del agua. Entre ambas isóneas, la de 1.000 y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se observa un elevado número de captaciones con valores elevados lo que da lugar a zonas más o menos extensas que presentan un agua subterránea con una mayor mineralización.

Las captaciones existentes en los alrededores del núcleo de Telde, presentan un aumento en los valores de la conductividad eléctrica que obliga a realizar el trazado de la isónea de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta cotas próximas a los 400 m. Los valores medios de conductividad eléctrica obtenidos en esta zona son del orden de los 3.000 a 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en varias captaciones.

En la zona de Vecindario la situación es más alarmante. La isónea de 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se ha trazado a cotas próximas a los 200 m lo que indica un aumento de la mineralización del agua importante respecto al período anterior. En esta zona se llega a alcanzar valores mayores de 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en dos captaciones, la 424330123 y 424370022, que presentan una cota de fondo por debajo del nivel del mar.

En la zona comprendida entre Santa Lucía y San Bartolomé de Tirajana los valores de conductividad permanecen más o menos estables, aunque han aumentado el número de captaciones con valores mayores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que la isónea abarca una mayor superficie.

En la zona sur próximo al límite de la zona de estudio, se observa un sector cuyas captaciones presentan unas aguas de mejor calidad respecto a las captaciones circundantes. Los valores de conductividad eléctrica para este período son más bajos que los que se detectan en captaciones ubicadas relativamente cerca. Una posible explicación podría ser la existencia de una recarga local de aguas poco mineralizadas a través del Barranco de Tirajana lo que daría lugar a una dilución también local del agua del acuífero.

4.2.2. Cloruros

1970-74

Para el trazado del plano VII.4 de isóneas de cloruros de este período se han utilizado un total de 163 datos.

Según la Reglamentación Técnico-Sanitaria RD 140/2003 un contenido de 250 mg/l de cloruros en el agua es considerado como nivel guía.

Tras la realización del plano se aprecia cierta similitud entre las isolíneas de cloruros y las isolíneas de conductividad eléctrica definidas para este mismo período.

Se observa una variación del contenido en cloruros que oscila desde los 10 mg/l, en las zonas altas, hasta unos 5.200 mg/l en la zona de costa. Dichas isolíneas adoptan una disposición mas o menos circular y ligeramente paralela a la línea de costa, indicando un flujo radial del agua subterránea en la isla desde las zonas de cumbres, área de recarga, hacia el mar, área de descarga.

La distribución de las isolíneas puede considerarse homogénea desde la isolínea de 25 mg/l hasta la de 100 mg/l, a partir de la cual se empieza a intuir la existencia de dos grandes núcleos con contenido anormalmente alto de cloruros así como el aumento generalizado en la concentración de dicho parámetro a medida que nos aproximamos hacia la costa.

En la zona comprendida entre los núcleos de Telde y Sta Brígida las aguas subterráneas presentan unos contenidos superiores a los 200 mg/l de cloruros incluso en captaciones situadas a una cota de 400-500 m. Otra zona que presenta cierta anomalía sería la próxima al núcleo de Vecindario, al sur de la zona de estudio, donde se alcanzan valores en torno a los 1.500-2.000 mg/l de cloruros en algunas captaciones.

Este incremento en las concentraciones de cloruros es atribuible a varios procesos que pueden ser coincidentes o no espacialmente. Por su entidad y extensión cabe señalar en primer lugar a una incipiente intrusión marina en la zona costera; en segundo lugar, a una infiltración en condiciones de aridez y con aerosol marino y, en tercer lugar, al largo recorrido y tiempo de residencia del agua en el acuífero. Además de estos procesos la contaminación, la existencia puntual de aguas salinas atrapadas o la presencia de halita en algunos materiales pueden dar lugar a aumentos zonales de cloruros.

En la zona sur en las inmediaciones del barranco de Tirajana se observa una inflexión en las isolíneas de cloruros como consecuencia de los bajos valores existentes en sus captaciones, los que pone de manifiesto una vez más las peculiaridades en ese sector.

1990-99

El plano de isolíneas de cloruros para este período, plano VII.5, se incluye en el Tomo de Planos. Para determinar la disposición de las isolíneas se han utilizado un total de 540 datos.

Los valores de cloruros para este período oscilan entre los 10-30 mg/l para la zona central de la isla y los 2.000-4.000 mg/l para aquellas captaciones más próximas a la costa, llegándose a valores puntuales de cloruros del orden de los 8.000-10.000 mg/l en algunas zonas.

Comparando los mapas de ambos períodos se observa:

- Una migración hacia tierra adentro de las isolíneas comprendida entre los 100 mg/l y los 1.000 mg/l de cloruros con respecto a las obtenidas para el período 1970-74.
- Que las captaciones de la zona de Vencidario, con valores durante el período anterior en torno a los 1.500-2.000 mg/l de cloruros, pasan a tener valores del orden de 2.000-4.000 mg/l y que más hacia la costa, los contenidos aumentan en varias captaciones llegando a obtenerse un contenido mayor de 8.000 mg/l de cloruros en dos captaciones, la 424330123 y la 424370022. Estos datos inducen a pensar que al menos en estos puntos se ha producido un proceso de intrusión de agua de mar que ha dado lugar a un aumento en la salinidad del agua de la zona y por tanto puede llegar a afectar a las captaciones próximas.

Así mismo, se observa una pequeña mejora en la concentración de cloruros en el agua subterránea de la zona próxima al Carrizal, respecto a las concentraciones presentes en diversas captaciones colindantes. Esta mejora podría estar relacionada con una posible recarga local a través del Barranco de Guayadeque. La existencia de una elevada concentración de cloruros en esta zona se ha podido producir como consecuencia de las extracciones realizadas durante esta década para abastecer los cultivos de invernaderos existentes en la zona.

En la zona comprendida entre Santa Brígida y Telde la concentración de cloruros ha aumentado en prácticamente la totalidad de las captaciones, siendo del orden de los 300-500 mg/l. En las captaciones situadas entre el núcleo de Telde y la costa los valores de cloruros también han aumentado, alcanzando valores de 500 y 1.000 mg/l de cloruros.

En la zona sur en las inmediaciones del barranco de Tirajana, se mantiene las condiciones de mejor calidad de las aguas subterráneas comentadas en el período anterior.

4.2.3. Sulfatos

1970-74

Las líneas de isocontenidos en sulfatos para este período se incluyen en el plano VII.6. Para su realización se han considerado un total de 158 datos, cuyos valores oscilan entre 0 y 1.200 mg/l.

Según la Reglamentación Técnico-Sanitaria, RD 140/2003, se considera como nivel guía máximo una concentración de 250 mg/l de sulfatos.

En la zona centro de la isla las concentraciones de sulfatos son bajas, produciéndose un aumento a medida que nos aproximamos a la costa. Así mismo, se observa cierto paralelismo entre las isolíneas de sulfatos y la línea de costa, concretamente a partir de la correspondiente a 250 mg/l de sulfatos.

Para este período, los valores de sulfatos ya exceden la concentración guía admitida por la Reglamentación vigente en un gran número de captaciones situadas en las proximidades de la costa. Así se observan valores próximos a 300 mg/l en algunas captaciones en los alrededores de Vecindario, aunque las concentraciones más altas se obtienen en las captaciones próximas al núcleo de Telde con valores medios en torno a los 350-500 mg/l de sulfatos.

En la zona comprendida entre Telde, Valsequillo y Santa Brígida, la isolínea de 100 mg/l avanza tierra adentro llegando a alcanzar cotas próximas a los 700 m. Localmente, en esa zona, se han obtenido valores de sulfatos en torno a los 700-1.100 mg/l en algunas captaciones.

En líneas generales, la presencia de sulfatos en las aguas subterráneas se puede atribuir a diversos orígenes: retornos de riego, cargados de abonos o aditivos correctores del índice SAR, causas litológicas por disolución de la roca, aerosoles marinos y causas marinas como consecuencia de la intrusión de agua de mar en la captación. Otro factor añadido en esta zona, que podría dar lugar a una anomalía en la concentración de sulfatos sería los diversos centros de emisión existentes y los procesos de fumarolas asociados; factores tales que pueden aportar además T^a y CO_2 al agua.

Otro aspecto a reseñar en la zona próxima a la costa, sería la similitud existente en la morfología de las isolíneas de cloruros, sulfatos y nitratos, esto puede ser indicativo de la existencia de cierta relación en el origen de estos tres parámetros.

Concretamente, en la zona de Vecindario, la distribución de las isolíneas de sulfatos y cloruros es muy similar no ocurriendo lo mismo con el trazado de isolíneas de nitratos. Esto puede dar idea de un posible origen común sulfatos-cloruros que sería atribuible, entre otros, a un proceso de intrusión marina.

Sin embargo, en la zona de Telde-Valsequillo-Santa Brígida las isolíneas de estos tres parámetros sulfatos, cloruros y nitratos presentan una morfología similar lo que dificulta su interpretación. Una posible explicación sería una doble fuente de los sulfatos, retorno de riegos y/o intrusión marina lo que explicaría los altos valores alcanzados en las aguas subterráneas en dicha zona y mas concretamente en la zona de Telde.

1990-99

Para la realización del plano de isolíneas de igual contenido en sulfatos para este período, plano VII.7, se han considerado un total de 535 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 1.700 mg/l.

Para este período se mantienen los valores más bajos para la zona central del área de estudio, aumentando la concentración a medida que nos aproximamos a la costa. Continúa existiendo cierto paralelismo entre las isolíneas y la costa persistiendo las distintas áreas de mayor concentración de sulfatos establecidas en el período del 1970-74. En la zona de Santa

Brígida-Valsequillo la isolínea de 250 mg/l se adentra hasta cotas mayores de 400 m y en la zona de Vecindario dicha isolínea alcanza cotas de 200 m.

En general, se observa que se ha producido un aumento en la concentración de sulfatos en las aguas subterráneas en la mayoría de las captaciones.

Para este período también existe cierta similitud entre las isolíneas de sulfatos respecto a las de cloruros y nitratos. Los dos grandes núcleos o sectores, Telde-Santa Brígida-Valsequillo y Vecindario, quedan delimitados claramente en los tres planos de isolíneas elaborados para este período lo que indica una vez más cierta interrelación entre estas variables.

Puntualmente, a cotas mayores por encima de Vecindario o en Santa Lucía-San Bartolomé de Tirajana se observa valores altos de sulfatos acompañados de un aumento de nitratos lo que parece indicar un posible origen a retornos de efluentes de regadío y/o aditivos correctores de SAR.

4.2.4. Nitratos

1970-74

El plano VII.8 representa las líneas de igual contenido en nitratos para este período. En su realización se han considerado un total de 162 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 350 mg/l.

Según la Reglamentación Técnico-Sanitaria, RD 140/2003, se considera los 50 mg/l, la máxima concentración para que un agua sea apta para el consumo.

En general, los contenidos en nitratos para las aguas subterráneas en este período son bajos exceptuando algún dato puntual y las captaciones próximas al núcleo de Telde donde los valores obtenidos sobrepasan los 250-300 mg/l de nitratos en diversas captaciones.

Los altos contenidos de nitratos que se observan en la zona de Telde son atribuibles en gran medida a los retornos de riego producidos en esta zona con gran tradición agrícola.

1990-99

Para la realización del plano de líneas de igual contenido en nitratos para este período, plano VII.9, se han considerado un total de 473 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 350 mg/l.

En este período se cuenta con un importante número de datos que permite delimitar mejor el área de estudio. Al comparar cuantitativamente los valores máximos obtenidos en el período 1970-74 con los obtenidos en este período, podría parecer que no se ha producido cambios significativos. Sin embargo, tras su representación espacial, se observa una modificación importante en la calidad de las aguas subterráneas.

La isolínea de 50 mg/l de nitratos se traza a lo largo de toda la costa, produciéndose inflexiones hacia el interior de la isla en aquellas zonas con problemas.

Existe un gran número de captaciones cuyo contenido en nitratos es mayor de 50 mg/l. Estas captaciones se localizan en las inmediaciones de los principales núcleos de población como Telde, Ingenio, Carrizal. Hacia el interior de la zona también se observan puntos con un contenido en nitratos elevado en San Bartolomé, Santa Lucía de Tirajana y en las inmediaciones de Valsequillo aunque son de carácter local.

Este elevado contenido en nitratos se debe a procesos de carácter antrópicos, procedentes de los retornos de riego. El hecho de no producirse un incremento cuantitativo respecto al período 1970-74 puede ser debido a una disminución de la superficie de riego, así como al uso de técnicas de menor consumo de agua lo que minimiza el retorno.

4.3. Resultados obtenidos

Tras la representación espacial de estos cuatro parámetros indicadores de la calidad del agua subterránea: conductividad, cloruros, sulfatos, y nitratos en los períodos de tiempo más extremos, 1970-74 y 1990-99, se puede determinar:

Que el grado de información para ambos períodos no es el mismo. Para el período 1970-74 el número de análisis es notablemente inferior que para el período 1990-99, aunque, son suficientes para obtener una cobertura espacial de la zona.

En general, se puede considerar las isolíneas de conductividad, cloruros y sulfatos como indicadoras de un proceso antrópico relacionado con procesos de salinización y/o intrusión marina, y las isolíneas de nitratos con procesos antrópicos propios de retornos de riego y procesos relacionados con la actividad agrícola de la zona.

Así se observa que las isolíneas de conductividad, cloruros y sulfatos definidas en el período 1970-74 ya presenta claros indicios de influencia costera bien sea por recarga local de aerosoles o por una incipiente intrusión marina. Esta influencia se produce fundamentalmente en la zona próxima a la costa, desapareciendo a medida que nos adentramos hacia el interior de la isla.

Para este mismo período ya se pueden definir dos zonas donde el grado de afección es mayor. Por un lado, la zona próxima al núcleo municipal de Vecindario definido por la inflexión en las isolíneas de conductividad, cloruros y sulfatos hacia el interior. Y por otro lado, la zona próxima al núcleo de Telde, aunque en este caso su delimitación es más difusa. En la zona de Vecindario, los valores de conductividad son del orden de 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los de cloruros 1.500 mg/l y los de sulfatos 500 mg/l. En la zona de Telde los

valores también son altos, 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 300 mg/l de cloruros y 250 mg/l de sulfatos, aunque la delimitación de la zona no está tan definida. Tras el análisis de la información se ha podido determinar que en esta zona es posible que se produzcan dos procesos modificadores: retornos de riego y/o procesos de intrusión lo que explica en cierto modo que no esté tan definida el área de afección.

En el período 1990-99 se vuelve a definir las mismas dos zonas, aunque en este período la morfología de las curvas varían debido al grado de detalle obtenido por la gran información con la que se cuenta.

Respecto a la zona de Vecindario los valores de conductividad obtenidos son del orden de los 8.000-12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cloruros son del orden de los 2.000 mg/l aunque en muchas captaciones se obtienen valores de 4.000 mg/l, y los sulfatos rondan los 500 mg/l aumentando a medida que nos aproximamos a la costa. En la zona de Telde la conductividad media es de 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cloruros son del orden de los 1.000 mg/l y los sulfatos los 250 mg/l. Como puede apreciarse se ha producido un considerable aumento en la conductividad y cloruros respecto al período anterior 1970-74.

Respecto a los nitratos la afección es mas local. Para el período 1970-74 la zona mas afectada corresponde con la zona de Telde, y se asocia a la actividad agrícola de la zona. En el período 1990-99 se cuenta con más información lo que permite definir mas zonas con elevada concentración de nitratos. Así se puede destacar como zonas afectadas las próximas a los núcleos de San Bartolomé de Tirajana, Santa Lucía de Tirajana, Telde, Ingenio y Vecindario.

4.4 Mapas de isocloruros para los períodos 1980-82, 1990-95 y 1997-99

En vista de los resultados obtenidos y con el objeto de completar la información de los mapas anteriores, se realizaron posteriormente otros mapas de isolíneas de cloruros. En esta ocasión los períodos considerados fueron 1980-82, 1990-95 y 1997-99, períodos más o menos coincidente con los tomados durante la realización de los planos de isopiezas. El objeto de estos segundos planos de isolíneas de cloruros fue el de analizar la relación existente entre los contenidos de cloruros y la piezometría en cada uno de los períodos.

En esta ocasión no se tomo el valor medio de cloruros del período, sino que se consideró un análisis "tipo" por captación y período de tiempo.

Como síntesis de todos estos planos se realizó un plano delimitando la zona afectada por la intrusión.

Todos los planos se encuentran en el tomo de planos de este capítulo.

En el plano VII.10 se muestra las isolíneas correspondiente al período 1980-82. En el se ha indicado en rojo la isolínea de 300 mg/l de cloruros como indicador o nivel guía tal y como se indica en el Plan Hidrológico de Gran

Canaria. Para su realización se tomó 294 datos de cloruros. En este plano se observa la inflexión de las curvas en la zona de Vecindario lo que indica un aumento en la concentración de dicho parámetro en captaciones situadas en el interior. El valor medio es del orden de los 2.000 mg/l aunque también hay captaciones con valores superiores a los 4.000 mg/l.

Respecto al plano de isopiezas de este período se observa como la isopieza de cero, se sitúa en el SE de la zona y se disponen adoptando una morfología lobulada que se extiende desde Agüimes, Vecindario, Pozo Izquierdo, línea de costa, Juan Grande y posteriormente se acomoda según el curso ascendente de Bco. de Tirajana. Las profundidades máximas alcanzadas son del orden de -90 m.

El plano VII.11 muestra las isolíneas correspondientes al período 1990-95. Para su realización se contó con 442 datos de cloruros. En este plano se observa que la isolínea de 300 mg/l presenta una morfología muy similar al período anterior. En esta ocasión debido al mayor número de datos existente el grado de detalle es mayor. Se observa como en la zona de Telde la isolínea de 300 mg/l se adentra hacia el interior de la isla. En la zona de Vecindario el área afectada es muy similar al período anterior aunque en este caso aumenta la concentración así como el número de captaciones con concentraciones en cloruros mayor de 2.000 mg/l. En dicha zona existen mas de 20 captaciones con un contenido en cloruros mayor de 3.000 mg/l.

Respecto al plano de isopieza de este período se aprecia como la isopieza cero se extiende mucho mas que el período anterior, concretamente en la zona de Vecindario se ha llegado a delimitar la isopieza de -20. En algunas captaciones se ha obtenido valores de -100 m s.n.m. como consecuencia de los continuos bombeos, aunque dichos descensos corresponden con niveles dinámicos. Respecto a la zona de Telde se observa un empeoramiento como consecuencia de los bombeos realizados en ese período. La isopieza de cero se ha definido tras la agrupación de todas aquellas captaciones que presentaban un nivel estático por debajo de la cota del mar.

Para el período 1997-99, tanto para calidad como para piezometría solo se cuenta con información de la zona norte o mitad superior de la zona de estudio. Es por ello por lo que no es posible ver la evolución producida en la zona de Vecindario. Para la realización del plano VII.12 de isocontenidos en cloruros de este período se ha contado con información de 295 captaciones. En la zona de Telde se aprecia un avance de la isolínea de 300 mg/l hacia el interior de la isla lo que indica que existe un mayor número de captaciones afectadas. Se ha observado mas de 20 captaciones con un contenido en cloruros mayor de 1.000 mg/l. El máximo valor de cloruros en la zona es de 8.000 mg/l.

En el plano de isopiezas de este período se aprecia que en la zona situada entre el núcleo urbano de Telde y la línea de costa, el área correspondiente a la isopieza cero se ha reducido respecto al periodo anterior.

La superposición de todos estos planos isocontenidos de cloruros e isopiezas para los distintos períodos ha permitido delimitar un plano final de

zona afectada por la intrusión, plano VII.13. Dicha zona se ha definido a partir del trazado de las isolíneas de 300 mg/l de los distintos períodos así como del trazado de las isopiezas de cota cero o negativa. Esta zona abarca la practica totalidad de la zona costera de la zona de estudio.

5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS INDICADORES DE CALIDAD: RELACIONES IÓNICAS

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidroquímicos constituye una herramienta más a la hora de intentar identificar distintas reacciones físico-químicas y procesos modificadores de la composición química del agua subterránea. En concreto, las relaciones iónicas permite determinar los diversos procesos que se han producido desde los puntos de recarga hasta el área de descarga, procesos de disolución-precipitación, intercambio iónico, etc.

No obstante, es importante destacar que pequeños errores analíticos pueden hacer variar de modo significativo el valor de las relaciones iónicas, especialmente en muestras que presenten una baja mineralización.

5.1. Metodología utilizada

Partiendo de la información analítica de los 751 análisis químicos representativos seleccionados a partir de los diagramas logarítmicos verticales de Schöekler-Berkaloff, se calculan las siguientes relaciones iónicas $rCl^-/r(CO_3^{2-}+CO_3H^-)$, rSO_4^{2-}/rCl^- , rNa^+/rCl^- , rNa^+/rK^+ , rMg^{+2}/rCl^- y rMg^{+2}/rCa^{+2} , consideradas como las más representativas a la hora de reflejar posibles procesos que puedan estar produciéndose en la zona.

Dado que estos mapas se han realizado con análisis tipo que pertenecen a diversas fechas los mapas generados con los mismos no representan ningún periodo determinado. Los análisis utilizados para la determinación de estas relaciones iónicas abarcan desde 1970 hasta 1999.

Estas relaciones iónicas se incluyen en el anejo VII.6, en la tabla VII.6.1. con la siguiente relación de campos: nº de orden, según numeración IGME, fecha del análisis, seguido del calculo del las relaciones iónicas indicadas anteriormente, tipo de agua según la clasificación de Schöeller, y evolución. Este último dato se ha designado como A=ascendente, D=descendente y E=estable según la evolución observada en los diagramas logarítmicos verticales (Diagramas de Schöeller). Finalmente se incluye un campo de origen de datos en el que se indica la fuente de información de la cual se tomo la analítica a la cual se realizó la relación iónica.

Posteriormente y para cada una de las relaciones iónicas calculadas se han realizado mapas de isolíneas a mano, siendo posteriormente digitalizados para su incorporación a arc-view. Estos mapas generados con extensión shp de arc-view, fueron exportadas con extensión dxf para posteriormente recuperarlas con Microstation.

Debido al tamaño de la zona y a la escala de trabajo, la equidistancia considerada entre líneas en cada plano es variable en virtud de una mayor claridad de los datos.

La distribución espacial de estas seis relaciones iónicas se encuentra en distintos planos en el Tomo de planos.

5.2. Relaciones iónicas: $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$, $rSO_4^{=} / rCl^-$, rNa^+ / rCl^- , rNa^+ / rK^+ , rMg^{+2} / rCl^- y rMg^{+2} / rCa^{+2}

5.2.1. Relación $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$

Para la realización del plano de isolíneas VII.14 de la relación iónica $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$ se han utilizado un total de 684 datos.

En general, esta relación presenta unos valores entre 0,1 y 5 en aguas continentales, con pH mayores de 7; y entre 20 y 50 en el agua del mar (Custodio y Llamas, 1983). Esta marcada variación en los rangos de valores entre las aguas continentales y el agua de mar, así como el carácter trazador de los cloruros, hacen de este índice uno de los más utilizados para la caracterización de la intrusión marina.

Un continuo crecimiento de esta relación podría indicar un posible proceso de incorporación selectiva de cloruros y cambios bruscos pueden señalar los límites entre agua de distintos orígenes (Custodio 1978). Así mismo, un descenso en los valores de esta relación iónica indica la posible disolución de carbonato cálcico, y un aumento de la misma puede producirse por la precipitación de carbonato cálcico, por un aumento en la mineralización del agua y por tanto de la dureza de la misma, y/o por procesos de intrusión marina.

No obstante, en el área de estudio, el valor de esta relación debe tomarse con precaución en algunas captaciones ya que como se ha indicado anteriormente, hay constancia de aportaciones de CO_2 de origen volcánico, factor que modifica sensiblemente el valor de la relación.

El valor mínimo obtenido para esta relación es de 0,08, siendo el valor máximo de 119,96.

Tras la observación del trazado de las isolíneas en el plano VII.14 se aprecia rangos de valores propios de aguas marinas en la zona de Vecindario y proximidades de la costa.

En la figura VII.14 muestra la relación iónica $rCl^-/r(CO_3^{=}+CO_3H^-)$ versus rCl^- donde se observa que a medida que aumenta la concentración de cloruros en el agua, el valor de la relación aumenta.

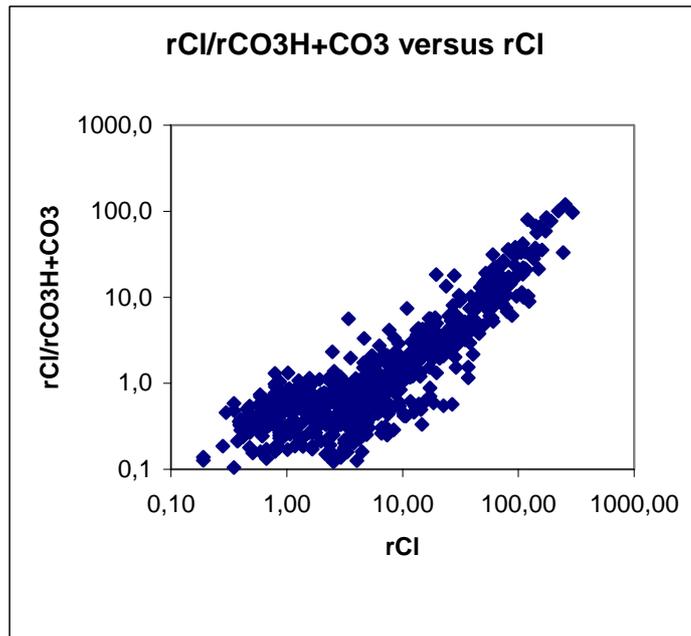


Figura VII.14 Relación $rCl^-/r(CO_3^{2-}+CO_3H^-)$ versus rCl^-

La distribución de todos los puntos tiende a aproximarse a la composición del agua del mar y en ningún caso se supera el valor de esta relación.

5.2.2. Relación rSO_4^{2-}/rCl^-

El plano de isóneas de la relación iónica rSO_4^{2-}/rCl^- , plano VII.15, se ha realizado con un total de 733 datos.

En general, esta relación iónica constituye una herramienta más, que aporta información sobre los distintos procesos que se hayan podido producir en las aguas subterráneas. Así se observa que un descenso en los valores de la relación rSO_4^{2-}/rCl^- puede indicar que se ha producido una reducción de sulfatos, sin embargo, un aumento en los valores de la relación serían indicativo de una posible contaminación agrícola o procesos de intrusión marina.

En aguas de salinidad moderada esta relación tiende a mantenerse constante indicando un origen común para ambos iones.

En agua dulce los valores más frecuentes de esta relación suelen estar comprendidos entre 0,2-0,4, en el agua del mar presenta un valor de 0,11. Concretamente, el valor del agua del mar de esta relación en la costa de Gran Canaria es de 0,104. En las aguas subterráneas de la zona de estudio el valor medio es un poco superior siendo del orden de 0,41, llegando a un valor máximo de 7,026. el valor mínimo es de 0,006.

Según se observa en el mapa de isóneas de la relación iónica rSO_4^{2-}/rCl^- los valores más altos de dicha relación se obtiene en las inmediaciones de Santa Brígida y la Vega de San Mateo así como en Valsequillo y Telde, pudiendo corresponder con aguas procedentes de retornos de riego ya que

son zonas con tradición agrícola. Así mismo se observa como en la zona de Vecindario y en menor medida en la zona de Telde se obtiene rangos de valores para esta relación iónica propia del agua marina.

La figura N° VII.15 representa la relación $rSO_4^{=}/rCl^-$. En esta figura se observa que un gran número de captaciones se sitúa en torno al valor de la relación marina. Esto implica que puede existir un origen común para ambos parámetros correspondiente a la aportación iónica procedente directamente del aerosol marino o por intrusión.

En esta figura también se observa aunque en un menor número de captaciones, como el contenido en sulfatos es elevado independientemente de la concentración de cloruros y viceversa el contenido en cloruros es mayor que el de sulfatos. Esto hace pensar en un aporte extra de sulfatos o cloruros, distinto al meteórico. En el caso de una mayor concentración de sulfatos mayor que cloruros el aporte podría ser debido a aguas procedentes de excedentes de regadío, y en el caso contrario donde el contenido en cloruros es mayor que sulfatos, los aportes de cloruros podrían indicar una posible intrusión.

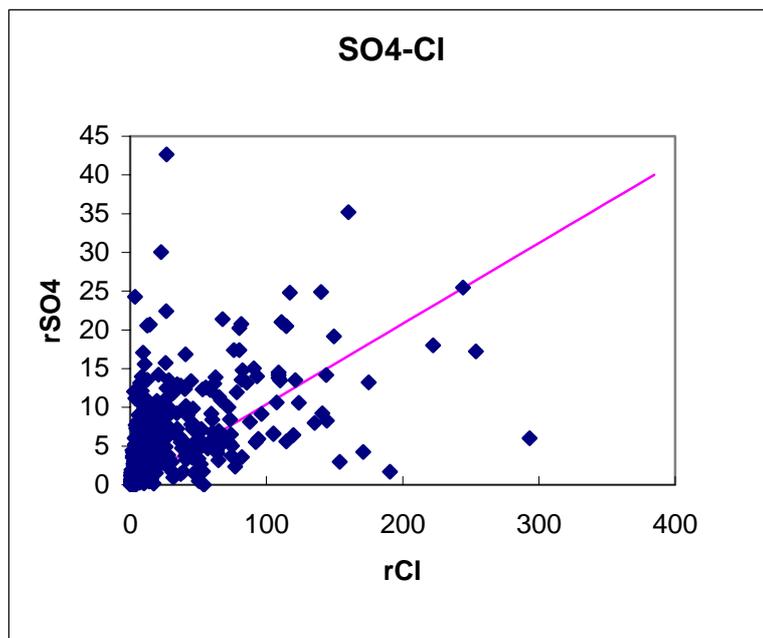


Figura VII.15 Relación $rSO_4^{=}/rCl^-$

La figura VII.16 muestra la relación $rSO_4^{=}/rCl^-$ versus rCl^- para aquellos valores cuya relación $rSO_4^{=}/rCl^-$ sea menor que 1, ya que permite obtener mayor detalle en el gráfico. Se observa cómo algunas captaciones, del orden del centenar, presentan un valor de la relación muy inferior a la marina. No se dispone de información de amonio como para determinar si existe una contaminación de origen orgánico que determine una reducción de sulfatos.

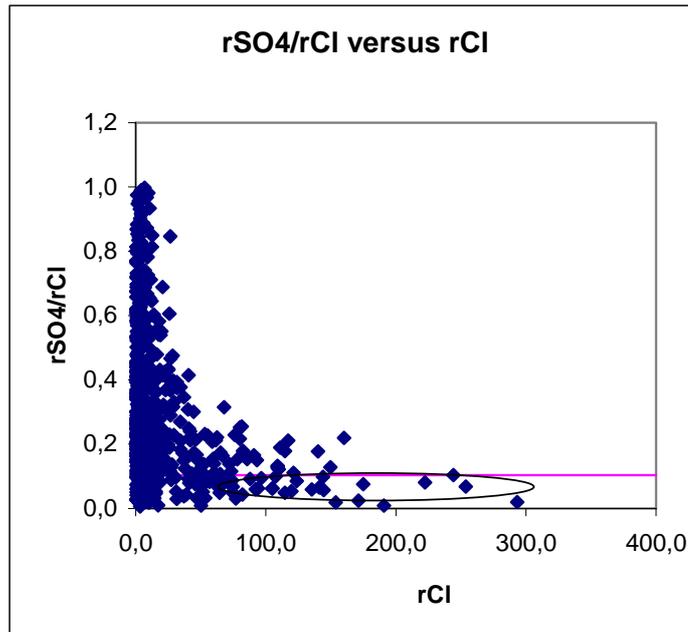


Figura VII.16 Relación $r\text{SO}_4^-/r\text{Cl}^-$ versus $r\text{Cl}^-$

En esta figura también se observa que a medida que aumenta la salinidad o contenido en cloruros el valor de la relación $r\text{SO}_4^-/r\text{Cl}^-$ se aproxima al valor de la recta de la relación $r\text{SO}_4^-/r\text{Cl}^-$ para el agua del mar.

5.2.3. Relación $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$

El plano de isolíneas de la relación iónica $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$, N° VII.16, se ha realizado con un total de 751 datos

El valor de esta relación está asociado a la existencia de cambios de base debido a que el ión Na^+ es afectado por la retención con el terreno y el ión Cl^- no. No obstante no hay que olvidar que el valor de esta relación puede verse alterado por la meteorización de algunos silicatos, los cuales podrían liberar sodio al agua.

Esta relación es de 0.88 para el agua del mar y muy variable para aguas dulces, dependiendo de su origen. En terrenos volcánicos alcalinos puede alcanzar valores de 3 o más (Custodio 1978, Custodio 1983)

El valor medio de la relación $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ en la zona es de 1,6. Los valores más altos se obtienen en las inmediaciones de Santa Lucía, llegando a obtenerse un valor en torno a los 12,3. Los valores altos de la relación $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$, si no existen errores analíticos pueden ser debido a un aporte de sodio por alteración de minerales ricos en este elemento, como las plagioclasas. El valor mínimo obtenido es de 0,12.

En esta ocasión no existen claros indicios de intrusión como en los planos correspondientes a las relaciones iónicas anteriores. No obstante, si se aprecia como a lo largo de toda la costa los rangos de valores de esta relación iónica están próximos a los correspondientes con el agua del mar,

desde el norte de la zona de estudio hasta el sur de la misma. Esto permite confirmar y reafirmar las zonas definidas anteriormente.

En la figura nº VII.17 que muestra la representación gráfica de la relación rNa^+/rCl^- , se observa como en algunas captaciones se obtienen valores altos de cloruros que no se corresponden con valores altos de Na^+ . Una posible explicación podría ser que en estos puntos el Na^+ haya sido retenido por el terreno.

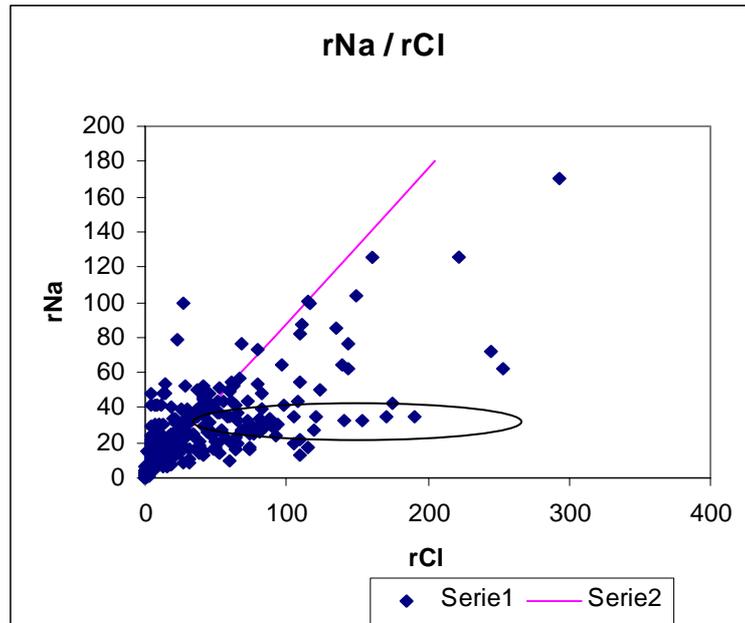


Figura VII.17 Relación rNa^+/rCl^-

En la figura nº VII.18 muestra la representación gráfica de rNa^+/rCl^- versus rCl^- , se observa cómo en algunas captaciones al aumentar la concentración de cloruros en el agua, el valor de la relación iónica se sitúa por debajo del valor calculado para la relación marina.

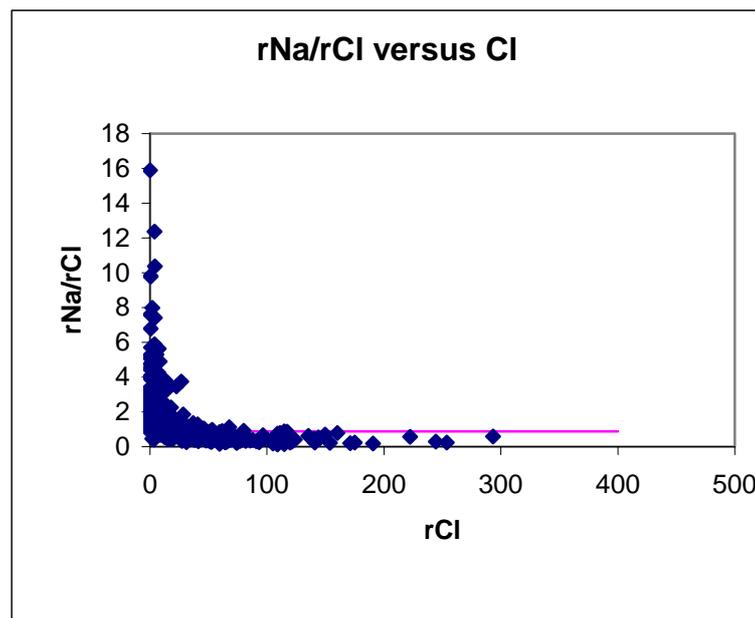


Figura VII.18 Relación rNa^+/rCl^- versus rCl^-

5.2.4. Relación rNa^+/rK^+

El plano VII.17 representa la relación iónica rNa^+/rK^+ . Para su realización se han utilizado un total de 749 datos.

Esta relación iónica aporta información sobre el origen continental o marino del K^+ , aunque su uso está limitado a la existencia de adsorción por el terreno de Na^+ o K^+ . Cuando esta fijación de K^+ o Na^+ se produce, la relación rNa^+/rK^+ es menor en el agua que en la roca origen. Esta relación será menor cuanto más concentrada en sales esté el agua.

En agua dulce los valores más frecuentes de esta relación suelen estar comprendidos entre 3 y 250, en el agua del mar varía entre 40-50 (Custodio y Llamas, 1983). En general, el valor de esta relación crece en el agua subterránea a medida que aumenta la salinidad.

En la zona de estudio se observa que los valores más bajos se sitúan en la zona de recarga situadas en el centro de la isla, correspondiendo los valores más altos de esta relación a la zona de costa consideradas como de mayor salinidad. El valor mínimo obtenido es de 2,53 y el valor máximo es de 155,10. El valor medio de esta relación es de 23,13.

En la zona de Telde y Vecindario, entre otras, se han delimitado las isolíneas de 40 y 50 de la relación iónica de rNa^+/rK^+ lo que viene a confirmar la posible intrusión marina que ha podido producirse en estas zonas. Este proceso puede explicar que en dichas zonas se obtengan valores en la relación rNa^+/rK^+ característicos del agua del mar.

Para evaluar la tendencia de esta relación iónica a medida que aumenta la salinidad del agua se ha representado gráficamente el valor de la relación rNa^+/rK^+ frente a los valores de cloruros. Sin embargo, no se ha obtenido una relación clara. Figura VII.19.

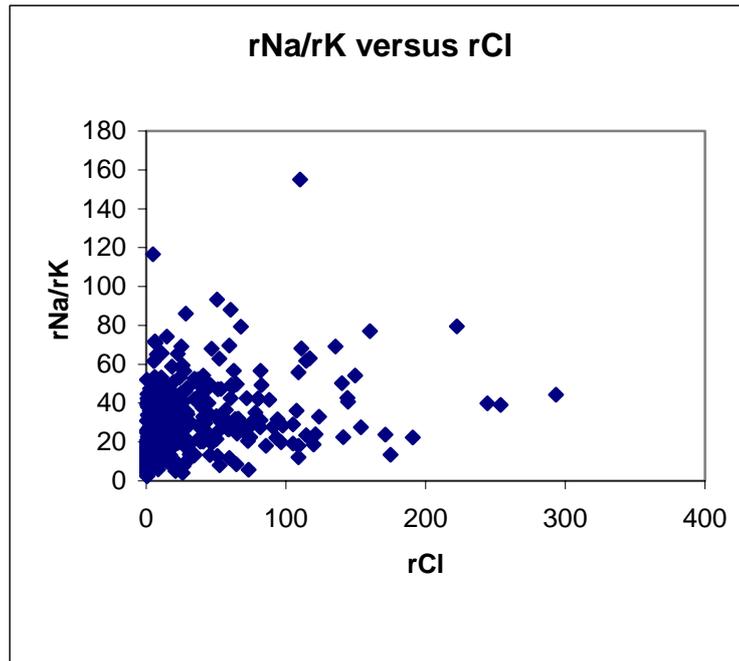


Figura VII.19 Relación rNa^+/rK^+ versus rCl^-

5.2.5. Relación rMg^{+2}/rCl^-

Para la realización del plano de isóneas de la relación iónica rMg^{+2}/rCl^- , VII.18, se han utilizado un total de 751 datos.

El estudio de esta relación tiene cierto interés ya que permite evaluar posibles mezclas de agua marina con agua meteórica, debido a la alta concentración de Mg^+ en el agua del mar. No obstante debe tomarse con precaución pues la alteración de silicatos magnésicos puede incorporar magnesio al agua subterránea. (Custodio y Llamas, 1983).

El valor mínimo obtenido es de 0,05 y el máximo es de 5,45.

En la figura VII.20 se representa la relación rMg^{+2}/rCl^- donde se observa que un gran número de captaciones se sitúa en torno al valor de la relación marina aunque también existe otro grupo de captaciones que se alejan de este valor al presentar un mayor contenido en magnesio. Esta aproximación al valor de la relación marina puede ser atribuida a una aportación de aerosol marino en el agua de lluvia, fundamentalmente cuando la concentración de los mismos no es muy elevada.

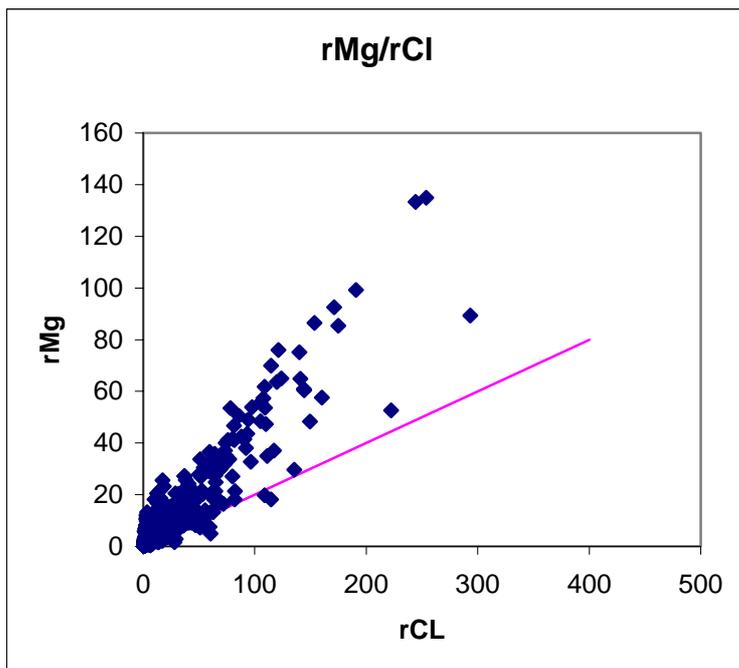


Figura VII.20 Relación rMg^{+2}/rCl^{-}

La figura VII.21 representa la relación rMg^{+2}/rCl^{-} versus rCl^{-} para aquellos valores cuya relación rMg^{+2}/rCl^{-} sea menor que 1, ya que permite obtener mayor detalle en el gráfico. Se observa como un gran número de captaciones presenta una elevada salinidad adoptando una nube de puntos cuya morfología es similar a la relación obtenida para el agua del mar.

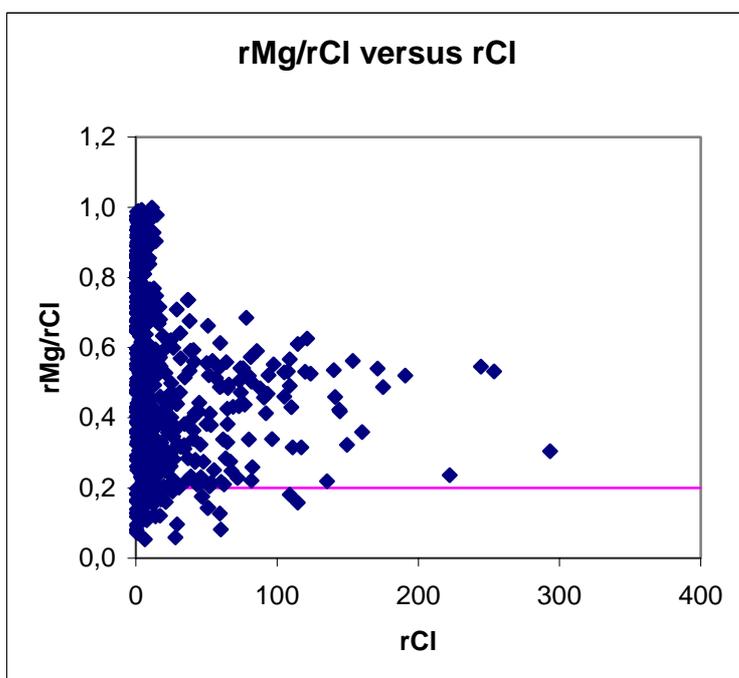


Figura VII.21 Relación rMg^{+2}/rCl^{-} versus rCl^{-}

5.2.6. Relación rMg^{+2}/rCa^{+2}

El plano de isolíneas de la relación iónica rMg^{+2}/rCa^{+2} , plano VII.19, se incluye en el Tomo de Planos. En su realización se han utilizado un total de 751 datos.

Esta relación iónica presenta unos valores que varían entre 0,3-1,5 para aguas continentales y aproximadamente 5 para agua de mar. Las aguas que circulan por terrenos de formación marina o que han sufrido mezcla con el agua del mar presentan una relación elevada.

Valores próximos a 1 indican la posible influencia de terrenos dolomíticos. Si es mayor de 1 corresponde a aguas propias de terrenos ricos en silicatos magnésicos como gabros y basaltos.

Si son mayores de 1 y aumentan con el tiempo es indicador de contaminación marina. Si además se produce un aumento en el contenido en cloruros con el tiempo existe un mayor indicio de intrusión.

Si aumenta con el tiempo y disminuyen los sulfatos es indicador de reducción de sulfatos.

Además esta relación aumenta al precipitar carbonato cálcico y disminuye al disolverse.

El valor medio obtenido para esta relación es de 1,522, con un valor máximo de 23,94 y un valor mínimo de 0,12.

5.3. Resultados obtenidos

En general, como ya se indicó anteriormente, todas estas relaciones iónicas constituyen una herramienta mas que permite identificar las distintas reacciones físico-químicas y procesos modificadores que pueden afectar la composición química del agua subterránea.

No obstante, como ya se ha indicado anteriormente, es importante destacar que pequeños errores analíticos pueden hacer variar de modo significativo el valor de las relaciones iónicas, especialmente en muestras que presenten una baja mineralización. Es por ello por lo que en algunas captaciones consideradas como afectadas por intrusión marina no presentan valores propios de agua de mar.

En general todas ellas han permitido confirmar las dos zonas o áreas definidas con los planos de isolíneas de conductividad, cloruros y sulfatos, en la zona de Vecindario y Telde.

6. VARIACIONES PUNTUALES DE LA CALIDAD

Para la realización de este apartado se procedió a la realización de diagramas XY de evolución de cloruros. En un primer momento se optó por realizarlos en aquellas captaciones más próximas a la costa, que presentaban una cota de fondo de la captación negativa y un rango de valores de cloruros variable en el tiempo.

Tras su realización, se decidió ampliar dichos diagramas XY a captaciones situadas hacia el interior con el fin de caracterizar toda la zona de estudio. Una vez más el criterio de selección vino dado por el número de datos que presentaban así como del rango de cloruros existente en cada captación. El fin último de dichos diagramas bidimensionales fue el de visualizar la variación temporal del parámetro considerado.

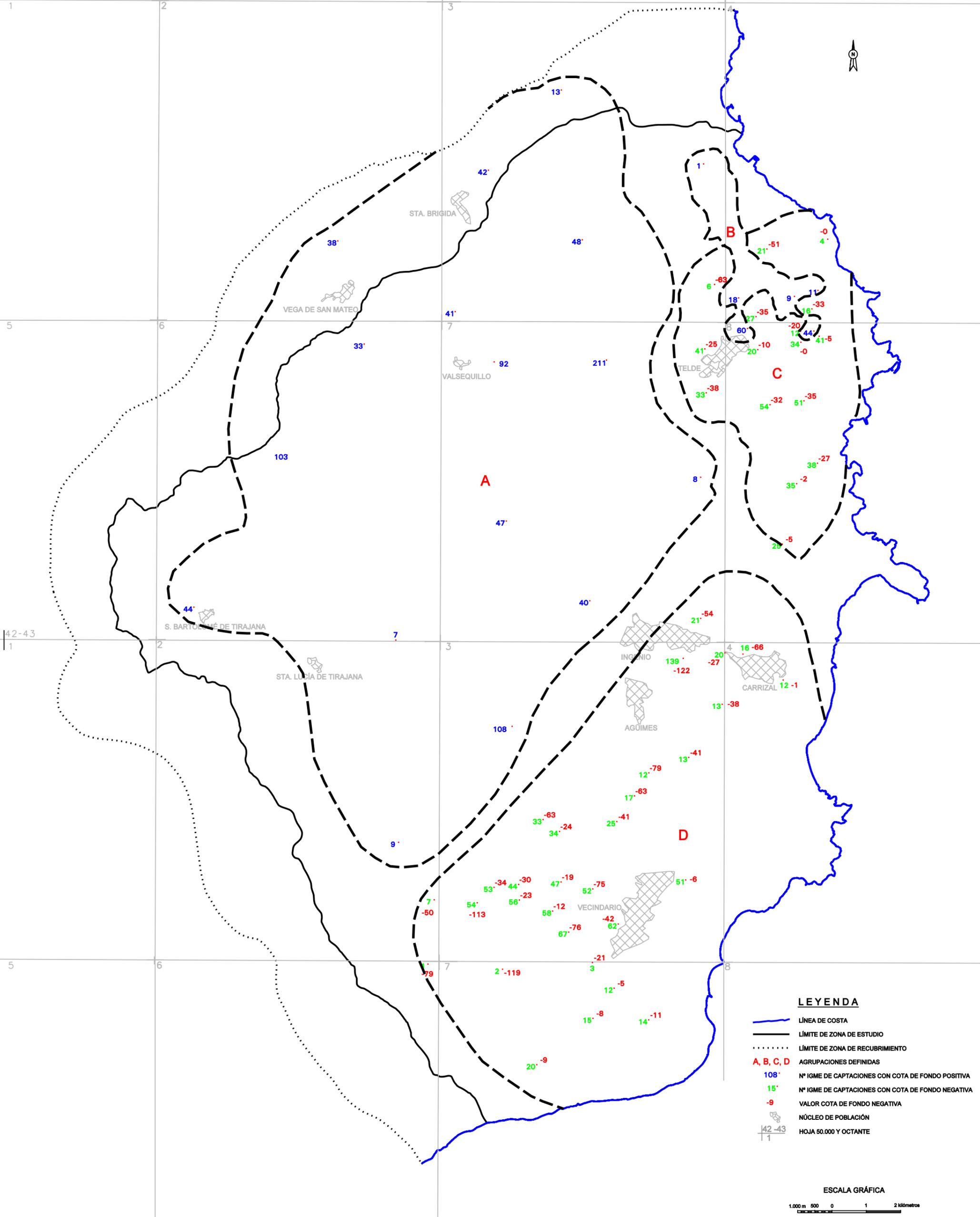
6.1. Análisis de las situaciones más desfavorables y su variación en el tiempo

En total se han realizado 68 diagramas XY, 22 de ellos corresponden a captaciones con cotas de fondo positiva y 46 a captaciones más próximas a la costa con cota de fondo negativa. Los análisis de cloruros corresponden a campañas de muestreo realizadas entre 1970 y 1997. La distribución espacial de las captaciones se observa en la figura VII.22.

De las 22 captaciones con cota de fondo positiva, se puede establecer dos grupos: un primer grupo A formado por aquellas captaciones situadas hacia el interior cuyo rango de cloruros varía de 12 a 342 mg/l y un segundo grupo B formado por aquellas captaciones más próximas a la costa, aunque con cota de fondo positiva, y que presentan un rango de cloruros de 124 a 2.843 mg/l.

En general aquellas captaciones situadas en el interior, que corresponden con el grupo A, presentan aguas buenas y estables en el tiempo tal y como se esperaba. Sin embargo, en alguna captación se ha observado algún empeoramiento pero siempre de carácter muy puntual. También se aprecia que a medida que nos aproximamos a la costa la concentración de cloruros aumenta e incluso empeora con el tiempo tal y como se observa en la captación 424270211.

Las captaciones consideradas como del grupo B y situadas más próximas a la costa pero con cota de fondo positiva presentan un agua de peor calidad. Estas se encuentran ubicadas en las proximidades del núcleo de Telde, lugar en el que se han realizado importantes extracciones que han determinado un empeoramiento en la calidad del agua de la zona. En dichas captaciones se observa que el contenido en cloruros aumenta considerablemente con el tiempo, llegando a triplicarse su concentración en muchas de ellas. Este aumento en la concentración de cloruros se refleja en los gráficos mediante un ascenso importante en las curvas.



LEYENDA

- LÍNEA DE COSTA
- LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
- LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
- A, B, C, D** AGRUPACIONES DEFINIDAS
- 108' Nº IGME DE CAPTACIONES CON COTA DE FONDO POSITIVA
- 15' Nº IGME DE CAPTACIONES CON COTA DE FONDO NEGATIVA
- 9 VALOR COTA DE FONDO NEGATIVA
- NÚCLEO DE POBLACIÓN
- 42-43
1 HOJA 50.000 Y OCTANTE

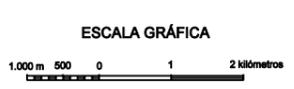


Fig. VII.22 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CAPTACIONES CON GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

Respecto a las 46 captaciones situadas más próximo a la costa y con cota de fondo negativa, también se han establecido dos grupos. Un grupo C situado en las proximidades del núcleo de Telde y un grupo D situado a lo largo de la costa entre los núcleos de Carrizal y Vecindario.

Las aguas correspondientes al grupo C presentan un contenido en cloruros que varía entre 119 y 4.305 mg/l. Las concentraciones menores se corresponden con captaciones situadas hacia el interior y a medida que nos aproximamos a la costa los valores aumentan. Así mismo se aprecia un empeoramiento gradual en la mayoría de las captaciones con el tiempo. Dicho empeoramiento puede ser de carácter puntual en algunos de los puntos, aunque todo indica que es de carácter regional. En algunas captaciones se observa una concentración estable de cloruros en el tiempo que podría atribuirse al abandono de las mismas, aunque no hay datos que lo confirmen.

Las captaciones que pertenecen al grupo D presentan un contenido en cloruros que varía entre 78 y 5.500 m/l. En general, las concentraciones mas bajas se corresponden con captaciones situadas hacia el interior de la isla. De igual forma, las captaciones que presentan una evolución estable o que mejora con el tiempo son aquellas situadas en el interior. A medida que nos aproximamos a la costa las concentraciones de cloruros aumentan así como su evolución en el tiempo. Las mayores concentraciones se obtienen en las captaciones próximas al núcleo de Vecindario tal y como se ha ido observando en todos los capítulos anteriores.

7. ÁREAS CON PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUA.

Basándose en todos los datos obtenidos en los apartados anteriores, se planteo la necesidad de definir aquellas áreas así como captaciones que presentan problemas en la calidad del agua y que dan lugar a una salinización de las mismas.

Dichas áreas se han establecido en base a diversas fuentes modificadoras: por un lado aquellas áreas cuya salinización viene dada por procesos de intrusión marina, por otro aquellas con problemas de contaminación definidas por la actividad agrícola y finalmente aquellas zonas afectadas por las pérdidas derivadas de las redes de distribución de aguas residuales.

7.1. Captaciones con indicios de intrusión marina

La delimitación de esta zona así como las captaciones que la componen constituye el fin último de este proyecto. Es por ello por lo que se ha tenido especial cuidado a la hora de su delimitación.

Su definición se ha realizado basándose en diversos criterios que pueden darse simultáneamente o no, dependiendo de su naturaleza, en las captaciones seleccionadas.

Los criterios básicos fueron: que las captaciones presentaran cotas de fondo de pozo negativa y que el contenido en cloruros fuera mayor de 300 mg/l y a su vez evolucionara con el tiempo. Así mismo se tuvo en cuenta que los valores de las relaciones iónicas más indicativas de intrusión marina, $rCl^-/rHCO_3^-$ y rMg^{+2}/rCa^{+2} , presentaran valores próximos a los obtenidos para el agua del mar. Otro factor a tener en cuenta fue la analítica completa de las aguas de dichas captaciones, en concreto de las concentraciones de SO_4^{2-} y NO_3^- y su evolución en el tiempo, ya que dan información complementaria sobre la posible afección y origen de la misma. Así mismo se consideró toda la información obtenida para la zona y que se ha expuesto en los apartados anteriores.

El hecho de que las captaciones presentaran cota de fondo de pozo negativa es un criterio básico para que se produzca procesos de intrusión marina como consecuencia de una sobreexplotación o explotación intensiva en una captación. Las cotas de fondo de los pozos se ha obtenido tras la diferencia entre la cota topográfica donde está situada la captación y la profundidad de la misma. Es preciso señalar que han podido generarse errores debido a la calidad de los datos que se dispone. Por un lado las cotas topográficas de las captaciones presentan un origen diverso, unas se han obtenido por nivelación topográfica por lo que presentan una gran fiabilidad, pero otras se han obtenido directamente de los mapas topográficos 1:25.000 o incluso 1:50.000 por lo que los datos pueden variar +/- 20-30 m. Respecto a la profundidad de las captaciones se ha tomado aquellas que figuran en los informes técnicos realizados durante su perforación y/o ejecución, pero se desconoce en algunos de ellos si se han realizado reperforaciones posteriores, sondeos y/o taladros verticales en el fondo variando su profundidad.

Todo ello dio lugar a que los datos de cota de fondo de las captaciones se tomaran con cierta precaución, dándose el caso en que se ha considerado captaciones con una "ligera" cota de fondo positiva pero donde los demás indicadores, así como, el contenido en cloruros indicaba procesos de intrusión marina.

El criterio del contenido en cloruros mayor de 300 mg/l se estableció como un límite máximo para el riego de cultivos resistente a la salinidad. Este contenido como criterio único no indica intrusión pero su evolución en el tiempo junto a la información aportada por otros parámetros constituye una herramienta más.

Respecto al contenido en cloruros, se ha observado que en algunas captaciones de la zona se observa un contenido en cloruros elevado pero que sin embargo no evoluciona en el tiempo. El alto contenido en cloruros presente en el agua se ha considerado como producto de un proceso de intrusión marina ya que el cloruro es un elemento muy estable que no interacciona con el medio y no existe otra explicación para obtener valores tan elevados. El hecho que no evolucione se ha considerado como una consecuencia de un posible abandono de la captación debido al alto contenido en sales de sus aguas.

Teniendo en cuenta todas las observaciones indicadas anteriormente se procedió a analizar la información de las distintas captaciones considerándose finalmente un total de 123 captaciones con indicios de intrusión marina. Dichas captaciones aparecen tabuladas en la tabla VII.8.1 en el anejo VII.8. En dichas tablas se muestra los datos más característicos de los puntos de agua: nº de IGME, expediente, coordenadas X e Y en UTM WGS84, profundidad de la captación, cota topográfica (Z), cota de fondo, fecha del análisis, relaciones iónicas más importantes, pH, conductividad eléctrica, iones mayoritarios, evolución, naturaleza del punto (N) y origen del dato (ODA).

En el plano VII.20, en el tomo de planos se muestra la distribución espacial de las captaciones. En dicho plano se ha trazado la isolinia de 300 mg/l de cloruros, la envolvente de los pozos con cota de fondo negativa así como la isopieza cero de los pozos con cota de fondo negativa para el período 1990-93.

La mayoría de las captaciones seleccionadas se sitúan próximas a la costa y/o a las zonas consideradas como de mayor explotación como son Telde y Vecindario. Aunque también existen grupos de captaciones en las proximidades del Goro, Carrizal y Agüimes.

Un gran número de captaciones próximas a Vecindario presenta un contenido elevado en cloruros así como unos valores de la relación $rCl^-/r(CO_3H^- + CO_3^{2-})$ propios del medio marino. Esto confirma en gran medida el proceso de intrusión que se ha producido en la zona. En el resto de las zonas, entre ellos Telde, los valores de la relación $rCl^-/r(CO_3H^- + CO_3^{2-})$ no siempre corresponden con valores de agua de mar, sin embargo otros factores como el aumento en cloruros, sulfatos, etc, indican dicho proceso de intrusión. Una posible explicación podría ser que las relaciones iónicas son muy sensibles a las técnicas analíticas realizadas en laboratorio al definir las concentraciones de los distintos iones mayoritarios, y los análisis, como ya se ha indicado anteriormente proceden de distintas campañas de muestreos, muy zonales por cierto, así como de distintos laboratorios y fechas de muestreo por lo que hay que tomarlos con cierta precaución.

7.2. Captaciones con indicios de contaminación por aguas residuales y/o indicios de contaminación agrícola

En este apartado se ha intentado incluir aquellas captaciones que presentan una salinidad elevada en sus aguas, pero donde dicha concentración no se corresponde con un proceso de intrusión marina.

El origen de la salinidad del agua subterránea puede tener diversas fuentes. En este apartado se han diferenciado dos posibles causas: contaminación producida por retornos de aguas procedentes de regadíos y/o captaciones afectadas por vertidos de aguas residuales.

Para su determinación se ha tenido en cuenta una vez mas la analítica de las aguas existentes, haciendo un mayor énfasis en los contenidos en nitratos y nitritos presentes.

Esta afección a las aguas subterráneas se traduce como se ha indicado en un mayor contenido iónico en el agua, dando lugar a aguas sulfatadas y cloruradas, aunque con concentraciones menores que las afectadas por intrusión marina. Así mismo suele corresponder con aguas más estables en el tiempo.

Hay que señalar que posiblemente no estén todas aquellas captaciones afectadas por dichos procesos, sólo se ha hecho referencia de aquellas que se cuenta con información suficiente para su determinación. Esta anotación viene a que no siempre se ha determinado la concentración de nitratos, y en menor medida nitritos, en los distintos análisis que se dispone por lo que es muy probable que sean muchas más las captaciones afectadas.

También hay que indicar que en algunas captaciones ha sido posible diferenciar claramente si esta afectada por vertidos de aguas residuales o por vertidos de retornos de riego. Sin embargo, en otras tal diferenciación no ha sido posible ya sea porque dichas captaciones presentan ambas afecciones por lo que es difícil separarlos, o bien por que el nitrito ha desaparecido y se ha transformado en nitrato no existiendo datos claros sobre su afección.

Evidentemente, la presencia de nitritos en las muestras de agua es un claro indicador de un reciente de vertido de aguas residuales así como de la proximidad del mismo a la captación.

Por tanto, se procedió a analizar la información de las distintas captaciones considerándose finalmente un total de 103 captaciones con indicios de vertidos de aguas residuales y 127 captaciones con indicios de contaminación agrícola. Dichas captaciones aparecen tabuladas en la tabla VII.8.2 y VII.8.3 respectivamente en el anejo VII.8. En estas tablas se muestra los datos más característicos de los puntos de agua: nº de IGME, expediente, coordenadas X e Y en UTM WGS84, profundidad de la captación, cota topográfica (Z), cota de fondo, fecha del análisis, relaciones iónicas mas importantes, pH, conductividad eléctrica, iones mayoritarios, evolución, naturaleza del punto (N) y origen del dato (ODA).

Como ya se ha indicado una misma captación puede aparecer en ambas tablas ya sea porque no ha sido posible determinar su causa o es que se ha visto afectada por los dos procesos.

Posteriormente se elaboraron los planos VII.21 y VII.22, que se encuentra en el tomo de planos, donde se observa la distribución espacial de las captaciones afectadas por vertidos de aguas residuales y por retornos de riego respectivamente. En dichos planos se han trazado la isolínea de 300 mg/l de cloruros, la envolvente de los pozos con cota de fondo negativa así como la isopieza cero de los pozos con cota de fondo negativa para el período 1990-93.

En el plano VII.21 se aprecia que las captaciones afectadas se sitúan muy próximo a los núcleos de población más importantes: Telde y Vecindario, aunque también existen algunas captaciones aisladas afectadas que pueden corresponder con pozos negros de viviendas diseminadas.

En el plano VII.22 se observa la distribución espacial de las captaciones con alto contenido en nitrato. En esta ocasión la mayor concentración de puntos corresponde con la zona de Telde de gran tradición agrícola así como en zonas de cultivo mas o menos importante.

8. ISÓTOPOS AMBIENTALES

8. 1. Introducción y objetivos

Las técnicas isotópicas constituyen una herramienta de gran utilidad en hidrogeología ya que suelen aportar información importante sobre el esquema conceptual del flujo de las aguas subterráneas y ayudan a conocer con mayor detalle el origen y la dinámica de las aguas subterráneas. La utilidad de estos trazadores incorporados como sustancias disueltas o a la propia molécula del agua se deriva de sus características, que hacen que sean herramientas complementarias a la hidroquímica. Ciertos isótopos proporcionan unas abundancias características en función del origen y la evolución que han sufrido las aguas. En otros casos, la desintegración radioactiva, a partir de la medida de los contenidos de tritio ó carbono-14, permite evaluar el tiempo de residencia de las aguas subterráneas en los acuíferos.

Asimismo, el uso conjunto de estas herramientas y la hidroquímica permite estudiar los mecanismos relacionados con la salinización de las aguas subterráneas, incluyendo el caso de la intrusión marina en acuíferos costeros.

En los apartados anteriores se han identificados zona y/o captaciones que presentan problemas de salinidad e intrusión marina, caracterizados mediante los análisis químicos del agua. Con esta herramienta se pretende confirmar la identificación de dichas áreas de elevada salinidad así como establecer los mecanismos que han podido definirla.

Los *isótopos estables* utilizados más comúnmente en hidrogeología son ^{18}O , ^2H o Deuterio (D) y el ^{13}C . Los dos primeros forman parte de la molécula del agua y por ello constituyen trazadores ideales del agua. El ^{13}C se utiliza como apoyo en la investigación de la geoquímica del carbono, permitiendo realizar las correcciones necesarias en las dataciones radiométricas a partir de los contenidos de ^{14}C en el carbono inorgánico disuelto. En este estudio sólo se analizarán los datos correspondientes a ^{18}O y D.

La característica que permite utilizar las abundancias isotópicas como trazador del origen del agua y de otras sustancias naturales es el fraccionamiento isotópico. De forma natural, las diferencias en el

comportamiento físico-químico de los átomos o moléculas que contienen los isótopos pesados de un elemento químico, producen un “marcado” específico en función del origen y evolución dentro de los diferentes ciclos geoquímicos. Por ello, los isótopos estables constituyen una herramienta que permite diferenciar compuestos que presentan un origen distinto o han sufrido una evolución diferente.

La forma habitual de expresar los contenidos isotópicos es mediante la relación entre las abundancias (R) de los isótopos pesados y menos abundantes (^{18}O , ^{13}C , ^{34}S , ^2H , etc.) y los “ligeros” y mas abundantes (^{16}O , ^{12}C , ^{32}S , ^1H , etc.). Estas relaciones (del tipo $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) representan el cociente entre el número de átomos de la especie pesada y el de la especie ligera. Sin embargo, el hecho de que estos números sean muy pequeños y que sea muy complicado medir las abundancias isotópicas de forma absoluta, ha hecho que los contenidos isotópicos de la mayor parte de los elementos ligeros de la Tabla Periódica se expresen en forma de desviaciones isotópicas (δ).

La desviación delta se define según la fórmula:

$$\delta_{\text{muestra}} = \left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{patrón}}} - 1 \right) \times 1000$$

y se expresa en tanto por mil con respecto a la abundancia de un patrón de referencia ($\delta = 0 \text{ ‰}$). Por tanto los valores de delta pueden ser positivos o negativos en función de la abundancia de las especies isotópicas pesadas respecto a esa misma relación en los respectivos patrones internacionales.

En el caso del agua, dicho patrón de referencia para todos los laboratorios que miden estos isótopos del agua es el V-SMOW (Vienna-Standard Mean Oceanic Water). De este modo, para cada muestra de agua disponemos de una desviación para el Deuterio ($\delta \text{ D}$) y otra para el ^{18}O ($\delta^{18}\text{O}$). Los valores más negativos corresponden a muestras con unas abundancias inferiores de dichos isótopos y por tanto corresponden a muestras que han sufrido procesos de fraccionamiento isotópico más importante. Por tanto, estas diferencias se interpretan como resultado de un origen o una evolución diferente de los distintos cuerpos de agua.

El transporte del vapor de agua generado sobre el océano hacia los continentes, lleva consigo un proceso de evaporación y otro de condensación, que dan origen a un fraccionamiento isotópico del agua. Durante estos procesos, la velocidad de transferencia de una fase a otra de las diferentes moléculas de agua (p.e., las que contienen ^{18}O y las que no) no es la misma. Por ello, las desviaciones isotópicas de la precipitación serán distintas en función de la procedencia e historia de las masas de vapor de agua que generan la precipitación en cada lugar. Por este motivo, las aguas de lluvia llevan impresas una “señal” isotópica, dependiendo de su procedencia. Las lluvias en las zonas montañosas son isotópicamente mucho más negativas que las que se producen en zonas costeras, lo que

permite investigar los procesos y mecanismos de recarga de varios acuíferos.

8.2. Resultados obtenidos

Uno de los objetivos principales que justificaban el uso de esta técnica isotópica fue la de intentar ratificar las distintas áreas de elevadas salinidad definidas mediante la hidroquímica así como definir los posibles mecanismos que hubieran podido originarla.

Para ello se contaba con la información isotópica recopilada correspondiente a 112 pares de puntos de $\delta^{18}\text{O}$ y δD . Tras un primer análisis de esta información se observa que existe un conjunto de muestras que presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ anormalmente altos lo que parece indicar que pueden existir problemas analíticos a la hora de la determinación de dicho parámetro.

Así mismo, se observa la presencia de gas y/o temperatura en algunas captaciones que han podido producir modificaciones isotópicas en el agua subterránea. Dicho gas tendría un origen volcánico profundo, y su presencia en el agua es producto del intercambio entre el O_{18} del agua con el O_{18} procedente del CO_2 volcánico existente en la captación.

Aún cuando se realizan diversos trabajos encaminado a la recuperación de las muestras con posibles problemas analíticos, finalmente se opta por su eliminación lo que incide en gran medida en los resultados obtenidos respecto a los objetivos planteados.

Finalmente se realiza el estudio con 57 pares de puntos correspondientes a 49 captaciones.

Debido a las características intrínsecas de la zona de estudio, los factores que pueden definir la salinidad de las aguas subterráneas se han reducido a tres: por un lado el efecto climático producido durante la recarga que permite una evaporación intensa y por tanto un aporte de Cl^- alto; por otro lado los retornos de aguas de riego y como tercer factor la posible mezcla del agua subterránea con agua de mar, bien sea de la cuña marina actual o de aguas marinas antiguas.

Tras la representación las 57 muestras en diversos gráficos, se aprecia como, en líneas generales, en la mayoría de las muestras el incremento de salinidad observado es compatible con un marcado grado de evaporación, producido posiblemente antes de la infiltración del agua en el terreno. En tales casos la magnitud del enriquecimiento isotópico no es compatible con una mezcla de agua subterránea con agua marina. Otros factores que han podido afectar a algunas captaciones elevando su salinidad serían los retornos de riego así como los aerosoles, quedando ratificado en los análisis químicos de las aguas subterráneas así como en los gráficos logarítmicos verticales (Schöekler-Berkaloff).

Sin embargo, en las muestras correspondientes a las captaciones, 424330008, 424280044 y 424370015, si se observa una composición química e isotópica compatible con una mezcla agua dulce-agua del mar. Dichas muestras tienden a acercarse a la composición del agua del mar, aunque no es descartable que se produzca una superposición de ambos procesos y también presenten cierto grado de evaporación.

Es preciso señalar que el número de captaciones encontradas que presentara los dos tipos de información, isótopos y cloruros, es muy reducida. Así mismo habría que destacar la heterogeneidad existente en la distribución de las muestras con información de cloruros, hecho que ha dado lugar a que en la zona de Vecindario, definida en el apartado de hidroquímica como una de las principales áreas con problemas de sobreexplotación, no se posea ningún dato de cloruros contemporáneo con los datos isotópicos.

Así mismo, no hay que olvidar que los datos de cloruros corresponden a fechas muy diversas en función del grupo de datos que se esté manejando. Así las muestras correspondientes a Gonfiantini tendrán valores de cloruros de 1973, las muestras de A. Gasparini tendrán valores de cloruros de 1986 y las muestras de C. Cabrera tendrán valores de cloruros de 1990, con lo cual no se refleja la situación actual en cuanto a la salinidad.

Como conclusión final se recomienda la realización de una campaña de muestreo de isótopos así como hidroquímica que permita un conocimiento actualizado de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CABRERA, MC. (1995) "Caracterización y funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria)". Tesis doctoral.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, MR. (1983) "Hidrología subterránea." Ed. Omega, Barcelona
- FERNANDOPULLÉ, D. (1974) "Clasificación química del agua subterránea y factores que influyen hidroquímicamente en las Islas Canarias". Simposio Internacional sobre hidrología en terrenos volcánicos. Arrecife de Lanzarote.
- GASPARINI, A. (1989) "Hydrochimie et géochimie isotopique de circulations souterraines en milieu volcanique sous climate sémi-aride (Grande Canarie, Îles Canaries)". Université de Paris-Sud. Centre d'Orsay. Paris.
- INSTITUTO CANARIO DE ESTADÍSTICA (ISTAC). (1999) Anuario Estadístico de Canarias.
- ITGE (1992) Plan MAGNA. Mapa Geológico de España, Isla de Gran Canaria. Madrid.
- ITGE (1992) "Caracterización hidrogeoquímica de los acuíferos de las islas de Gran Canaria y El Hierro. Sistemas acuíferos num. 83 y 87". Estudio correspondiente al "Proyecto de Actualización Infraestructura Hidrogeológica, Vigilancia y Catálogo de Acuíferos. Años 1988/89/90"
- ITGE (1993) "Estudio hidrogeológico de la zona de Arinaga-Tirajana. Sistema 83. Subsistema S.1.B". Dos tomos. (Inédito).
- ITGE (1995) "Estudio hidrogeológico de las zonas Sur 1 Alta y Sur 1 Media de Gran Canaria. Sistema 83 Subsistema S.1.A. y S.1.M." Tres tomos. (Inédito).
- INSTITUTO CANARIO DE ESTADÍSTICA (ISTAC). (1999) Anuario Estadístico de Canarias.
- MAC-21 (1976) "Proyecto de planificación de la explotación y uso racional de los recursos de agua en las islas Canarias". Com Interminist. de las actuaciones del Estado en materia de aguas de las Islas Canarias.
- MO.P.U. (1985) "El agua en Canarias". S.G.O.P. Boletín de informaciones y estudios nº 44
- MORALES, G., PEREZ, R "Gran Atlas Temático de Canarias". Ed. Interinsular Canaria.
- PLAN HIDROLÓGICO DE GRAN CANARIA (1991) "Actualización del conocimiento hidrogeológico de la isla de Gran Canaria". Tomo I, memoria. Cabildo Insular de Gran Canaria- Gobierno de Canarias.
- ROSENTHAL, E., NÚÑEZ, J.A. (1997) "Relaciones químicas entre las aguas subterráneas y las principales unidades litológicas de Gran Canaria. Simposio Internacional sobre hidrología en terrenos volcánicos". Arrecife de Lanzarote.
- SPA/69/515 (1975). "Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias". Ministerio de Obras Públicas-UNESCO. Las Palmas de G.C.- Madrid, 3 vol.