



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 I. INFORME DE SÍNTESIS

I. INFORME DE SÍNTESIS

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1. Antecedentes
 - 1.2. Objetivos
 - 1.2.1. Objetivos generales
 - 1.2.2. Objetivos parciales
 - 1.3. Trabajos realizados y presentación de resultados
 - 1.4. Equipo de trabajo

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA ESTUDIADA
 - 2.1. Geografía física y medioambiental
 - 2.1.1. Situación y límites
 - 2.1.2. Relieve y red hidrográfica
 - 2.1.3. Clima
 - 2.1.4. Recursos hídricos naturales
 - 2.1.5. Suelos y vegetación
 - 2.2. Geografía humana y económica
 - 2.2.1. División administrativa
 - 2.2.2. Población
 - 2.2.3. Principales actividades económicas

3. USOS, DEMANDAS Y CONSUMOS DE AGUA
 - 3.1. Usos urbanos
 - 3.2. Usos industriales
 - 3.3. Usos agrarios
 - 3.4. Demanda total de agua
 - 3.5. Fuentes de suministro de agua
 - 3.6. Retornos de riegos y fugas en redes de abastecimiento y saneamiento
 - 3.7. Estimación de las demandas futuras

4. PRECIPITACIÓN, ESCORRENTIA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN. BALANCE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS NATURALES
 - 4.1. Precipitación
 - 4.2. Escorrentía directa
 - 4.3. Escorrentía subterránea
 - 4.4. Evapotranspiración real
 - 4.5. Balance hídrico medio

5. RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES
 - 5.1. Producción y utilización de recursos hídricos no convencionales
 - 5.2. Costes de producción de recursos hídricos no convencionales

- 5.3. Perspectivas y limitaciones de uso de los recursos hídricos no convencionales
- 5.4. Asignación de recursos no convencionales para la satisfacción de las demandas futuras
- 6. GEOLOGÍA
 - 6.1. Estratigrafía
 - 6.1.1. Materiales ígneos
 - 6.1.2. Materiales sedimentarios
 - 6.1.3. Extensión de los afloramientos
 - 6.2. Estructura
 - 6.3. Caracterización hidrogeológica de los materiales
 - 6.3.1. Caracterización de los materiales a escala puntual
 - 6.3.2. Caracterización de las estructuras a escala zonal
 - 6.3.3. Permeabilidad de los materiales
- 7. HIDROGEOLOGÍA
 - 7.1. Inventario de puntos de agua
 - 7.2. Geometría, límites y naturaleza del acuífero
 - 7.3. Piezometría
 - 7.3.1. Mapas de isopiezas según niveles estáticos
 - 7.3.2. Mapas de isopiezas según niveles dinámicos
 - 7.3.3. Gradientes y flujos horizontales y verticales
 - 7.4. Parámetros hidráulicos
 - 7.5. Modelo hidrogeológico conceptual. Área de recarga y descarga
- 8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA
 - 8.1. Caracterización geoquímica del agua subterránea
 - 8.2. Evolución temporal y distribución espacial de parámetros indicadores de calidad en el período de 1970-74 (SPA-15)
 - 8.2.1. Conductividad 1970-74
 - 8.2.2. Cloruros 1970-74
 - 8.2.3. Sulfatos 1970-74
 - 8.2.4. Nitratos 1970-74
 - 8.3. Evolución temporal y distribución espacial de parámetros indicadores de calidad en el período de 1990 – 99
 - 8.3.1. Conductividad 1990-99
 - 8.3.2. Cloruros 1990-99
 - 8.3.3. Sulfatos 1990-99
 - 8.3.4. Nitratos 1990-99
 - 8.4. Variaciones puntuales de la calidad
 - 8.5. Áreas con problemas de calidad del agua
 - 8.5.1. Captaciones con indicios de intrusión marina
 - 8.5.2. Captaciones con indicios de contaminación por aguas residuales y/o indicios de contaminación agrícola

9. MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO
 - 9.1. Objetivos
 - 9.2. Elaboración del modelo matemático
 - 9.2.1. Trabajos previos
 - 9.2.2. Diseño del modelo
 - 9.2.3. Ajuste en régimen permanente
 - 9.2.4. Ajuste en régimen transitorio
 - 9.3. Análisis de sensibilidad
 - 9.4. Simulación de hipótesis de explotaciones futuras
10. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SOBREEXPLOTADAS
 - 10.1. Criterios para identificar las áreas sobreexplotadas
 - 10.2. Balances hídricos globales de la zona en estudio
 - 10.3. Zonificación del área estudiada a efectos de la sobreexplotación
 - 10.4. Caracterización piezométrica e hidroquímica de las zonas sobreexplotadas
 - 10.5. Balances hídricos de las zonas definidas según la sobreexplotación
11. PROPUESTAS PARA EL CONTROL DE LA SOBREEXPLOTACIÓN Y LA REGULARIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
 - 11.1. Plan General de Actuaciones
 - 11.2. Regularización de recursos hídricos
 - 11.2.1. Propuestas sobre los recursos naturales
 - 11.2.2. Propuestas sobre reutilización de aguas residuales depuradas
 - 11.2.3. Propuestas sobre desalinización de aguas salobres
 - 11.2.4. Propuestas sobre desalación de agua de mar
 - 11.2.5. Efectos esperados
 - 11.3. Propuestas para moderar el crecimiento futuro de las demandas de agua
 - 11.3.1. Recomendaciones para moderar el crecimiento de las demandas agrarias
 - 11.3.2. Recomendaciones sobre las demandas urbanas e industriales
 - 11.4. Propuestas de medidas complementarias de carácter socioeconómico
 - 11.4.1. Incentivos económicos para optimizar el consumo de aguas residuales depuradas
 - 11.4.2. Actuaciones para favorecer la constitución de comunidades de regantes
 - 11.4.3. Propuestas para la actualización permanente de los datos del agua
 - 11.5. Programa para el control y vigilancia del acuífero

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUADROS

- I.1. Extracciones en $\text{hm}^3/\text{año}$ de agua subterránea en Gran Canaria
- I.2. Extracciones de agua subterránea en la zona Este de Gran Canaria
- I.3. Distribución del complejo vegetación-uso del suelo en las cuencas hidrográficas estudiadas
- I.4. División administrativa de la Zona Estudiada
- I.5. Empleo por sectores de actividad en Gran Canaria (%)
- I.6a. Dotaciones medias para abastecimiento urbano en el período 1996-2001
- I.6b. Dotaciones para abastecimiento urbano según municipios
- I.7. Demandas de agua en polígonos industriales e instalaciones singulares (Año 2001)
- I.8a. Distribución de superficies en riego según cultivos y términos municipales. Año 2002 (ha)
- I.8b. Demanda de agua para riego según términos municipales y altitudes. Año 2002
- I.9. Evolución de superficies y demanda de agua para riego según cultivos
- I.10. Demandas totales de agua en la Zona Este de Gran Canaria
- I.11. Balances hídricos medios de los recursos naturales en la zona de estudio y en la Isla de Gran Canaria
- I.12. Evolución histórica de la desalación en la Zona Este de Gran Canaria ($\text{m}^3/\text{día}$)
- I.13. Estimación de las producciones de agua desalinizada en el período 1994-2001
- I.14. Principales depuradoras de aguas residuales en la Zona Este de Gran Canaria
- I.15. Demandas y suministros de agua en el año 2002 (hm^3)
- I.16. Principales características de los recursos hídricos no convencionales en orden a su aptitud para distintos usos
- I.17. Superficies aflorantes de las formaciones geológicas (km^2)
- I.18. Clasificación de los materiales según su permeabilidad
- I.19. Evolución de las superficies con cotas piezométricas negativas, según niveles dinámicos
- I.20. Resumen estadístico de transmisividades en $\text{m}^2/\text{día}$ obtenidas a partir de los ensayos de bombeo existentes en la zona de estudio
- I.21. Resumen de caudales en l/sg por metros de descenso específicos de pozos, según formaciones geológicas
- I. 22. Distribución de análisis y captaciones por formaciones geológicas
- I. 23. Principales grupos de aguas detectados en las formaciones geológicas
- I. 24. Bombeos, retornos de riego y fugas en redes urbanas (hm^3/a)
- I. 25. Resumen de balances hídricos en la Zona Este de Gran Canaria ($\text{hm}^3/\text{año}$)
- I. 26. Balance hídrico de la capa superior. Año 1981 (hm^3/a)
- I. 27. Balance hídrico de la capa superior. Año 1991 (hm^3/a)
- I. 28. Balance hídrico de la capa superior. Año 1996 (hm^3/a)
- I. 29. Balance hídrico de la capa superior. Año 2002 (hm^3/a)

- I. 30. Balances hídricos por zonas en la capa superior correspondiente a 2012 para la hipótesis de incremento en los bombeos (hm^3/a)
- I. 31. Balances hídricos por zonas en la capa superior correspondiente a 2012 para la hipótesis de restricciones en los bombeos (hm^3/a)

FIGURAS

- I.1. Situación de la zona de estudio (fuente IGN)
- I.2. Red hidrográfica
- I.3. Esquema teórico del flujo subterráneo en la Isla de Gran Canaria
- I.4. Esquema geológico de la isla de Gran Canaria. E 1:400.000
- I.5. Isolíneas de niveles estáticos 1980-81
- I.6. Isolíneas de niveles estáticos 1990-93
- I.7. Isolíneas de niveles estáticos 1997-99
- I.8. Isolíneas de niveles dinámicos 1980-82
- I.9. Isolíneas de niveles dinámicos 1985-87
- I.10. Isolíneas de niveles dinámicos 1990-93
- I.11. Isolíneas de niveles dinámicos 1997-99
- I.12. Corte piezométrico III-III'
- I.13. Corte piezométrico A-A'
- I.14. Corte piezométrico I-I'
- I.15. Corte piezométrico VIII-VIII'
- I.16. Diagramas de Piper de las aguas subterráneas procedentes de: a) Formación Basaltos Antiguos y b) Formación Fonolítica
- I.17. Diagramas de Stiff de aguas subterráneas de la serie Sálca
- I.18. Diagrama de Schoeller-Berkaloff
- I.19. Isolíneas de conductividad eléctrica. Período 1970-74
- I.20. Isolíneas de cloruros. Período 1970-74
- I.21. Isolíneas de sulfatos. Período 1970-74
- I.22. Isolíneas de nitratos. Período 1970-74
- I.23. Isolíneas de conductividad eléctrica. Período 1990-99
- I.24. Isolíneas de cloruros. Período 1990-99
- I.25. Isolíneas de sulfatos. Período 1990-99
- I.26. Isolíneas de nitratos. Período 1990-99
- I.27. Situación de captaciones con indicios de intrusión marina
- I.28. Situación de captaciones con indicios de contaminación por aguas residuales
- I.29. Situación de captaciones con indicios de contaminación agrícola
- I.30. Perfiles con la discretización vertical adoptada
- I.31. Mejor ajuste de niveles medidos y calculados en régimen permanente del sector oriental de la isla de Gran Canaria
- I.32. Isopiezas calculadas y reales para el año 1999
- I.33. Zonas sobreexplotadas con intrusión marina y zonas sobreexplotadas con riesgo de intrusión

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el año 1998 el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Consejo Insular del Agua de Gran Canaria (CIAGC) firmaron un Convenio Específico para la realización del “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DEFINICIÓN DE ÁREAS SOBREEXPLOTADAS O EN RIESGO DE SOBREEXPLOTACIÓN EN LA ZONA BAJA DEL ESTE DE GRAN CANARIA” cuyo título abreviado es “Estudio hidrogeológico de la Zona Este de Gran Canaria”.

El plazo previsto para su realización era de 36 meses aproximadamente. En dicho convenio se estableció que el Estudio se realizaría con los equipos propios del IGME, encargándose de su ejecución la Oficina de Proyectos del IGME en Las Palmas de Gran Canaria, contando con la colaboración de los expertos externos que en cada momento se estimara oportuno. Por causas diversas, el estudio no se inició de un modo efectivo hasta octubre de 1999.

La zona a estudiar se extiende por la costa, desde Punta Marfea en las inmediaciones de Las Palmas al norte, hasta las proximidades de Juan Grande (ya en el municipio de San Bartolomé de Tirajana) al sur. Hacia el interior la zona penetra hasta las proximidades del Pico de las Nieves (1.950 m de altitud), siguiendo las divisorias hidrográficas. La zona resultante presenta una morfología de sector de cono de 23 km de radio como media. Ocupa una superficie de 418,5 km², que equivalen al 25,8% de la superficie total de la Isla.

Los antecedentes técnicos del presente informe se remontan al “Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias SPA/69/515” (SPA-15) realizado conjuntamente por la F.A.O y el Ministerio de Obras Públicas entre 1970 y 1975. En dicho estudio se establecen las bases científicas que serán tenidas en cuenta en cualquier estudio hidrogeológico realizado posteriormente en el Archipiélago Canario. En el caso concreto de la Zona Este de Gran Canaria, son de obligada referencia, además del ya citado SPA-15, los siguientes trabajos:

- Los trabajos realizados por el Cabildo Insular de Gran Canaria en el marco del Proyecto MAC-21. En particular los modelos matemáticos de simulación del flujo subterráneo realizados en 1983 con datos correspondientes a la década 1970-1980.
- El inventario de captaciones y obras de almacenamiento de la Isla de Gran Canaria, realizado por el Cabildo Insular en 1980.
- Diversos estudios hidrogeológicos de ámbito local realizados por el IGME. Entre ellos el “Estudio de la evolución de las aguas subterráneas en la zona de Arinaga-Tirajana. Gran Canaria. Sistema 83. Subsistema S.1.B.”
- El inventario de captaciones realizado por el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, en 1997-98.
- Los trabajos realizados para la redacción del Plan Hidrológico Insular de Gran Canaria, aprobado por el Gobierno Autónomo en el año 1999 (Decreto 82/1999, de 6 de mayo).

- Tesis Doctoral *Caracterización del funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria)*. U. Salamanca, Dpto. de Geología. Cabrera Santana, M.C. 2 tomos, 363 pp.

De los antecedentes citados, es el Plan Hidrológico el documento clave que ha servido de guía para la realización del presente estudio por tres razones evidentes:

Primero, porque desde el punto de vista técnico es el documento más reciente y más completo de los mencionados, habiendo incorporado, además, los conocimientos anteriores.

Segundo, porque partiendo del conocimiento de la problemática del agua en la Isla, se formulan y planifican las acciones previstas por la Administración con el fin, entre otros, de aumentar el volumen de agua puesto a disposición del mercado para disminuir la sobreexplotación del acuífero insular, garantizando aportaciones de agua alternativas a los recursos existentes, en las mismas condiciones, como mínimo, de cantidad y calidad.

Y, tercero, porque en todo momento está amparado por la Ley de Aguas 12/1990 de 26 de julio que lo eleva al rango de normativa de obligado cumplimiento.

Por todo ello, el presente estudio se enmarca en la línea de las actuaciones que, en materia de recursos subterráneos se citan explícitamente en el Plan Hidrológico, entre las que destacan las siguientes (pág. 13 del BOC-1999/073):

- La realización de estudios básicos acerca de los parámetros hidrogeológicos más importantes que debe culminar con la puesta operativa de un modelo matemático del flujo subterráneo, que permita la proyección de resultados ante distintas hipótesis de explotación.
- Realizaciones periódicas de inventarios de captaciones para el conocimiento al día de los volúmenes extraídos, energía consumida, niveles y calidad del agua.
- Como medida cautelar y necesaria, declarar las áreas en las que existan indicios fundados para ello, como zonas con riesgo de sobreexplotación de acuerdo con el artículo 48 de la Ley de Aguas.
- Imponer en todas las captaciones la instalación de aparatos de medida y la obligación de enviar la información del volumen extraído con una periodicidad a determinar.

En relación con las aguas superficiales (pag.10 del BOC-1999/073):

- Actualizar y perfeccionar el conocimiento de los elementos del balance: precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía (directa).

Y, en relación con los recursos no naturales (pag. 16 BOC-1999/073):

- Condicionar la instalación de plantas desaladoras de aguas salobres, en las áreas bajas, en aquellas captaciones que no presenten variación significativa en el contenido de cloruro, ni históricamente, ni en la actualidad después de un ensayo de bombeo prolongado.
- Continuar con la instalación de redes de reutilización de aguas residuales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

La finalidad del presente estudio es dar apoyo a las técnicas emanadas del Plan Hidrológico y de la Reglamentación de la Administración Pública del Agua. Dentro de la variedad temática incluida en el Plan Hidrológico, el objetivo principal del estudio es profundizar en el conocimiento actual sobre el ciclo hidrológico, sobre el funcionamiento del acuífero y sobre los usos del agua en la zona Este de Gran Canaria, para determinar con precisión el origen y la evolución de los problemas que afectan a los recursos hídricos subterráneos en cuanto a su cantidad y, sobre todo, a su calidad. En definitiva, establecer las bases técnicas necesarias para diseñar una adecuada gestión que garantice el uso sostenible de los recursos hídricos naturales. Pero, es evidente que, para alcanzar estos objetivos es preciso extender el estudio a todos los recursos hídricos (naturales y no naturales) y sus características (disponibilidades, calidades, impactos ambientales, costes), así como al conjunto de las demandas (urbanas, turísticas, industriales, agrarias) y sus exigencias (garantía, calidad) y llegar a soluciones integrales de explotación conjunta de los recursos y de gestión de las demandas.

En resumen, se trata de un problema complejo y con amplias ramificaciones, que conviene acotar un poco más diciendo que, en última instancia, el objetivo principal del proyecto es obtener información científico-técnica suficiente para proceder, si el C.I.A.G.C lo estimará oportuno, a la declaración de áreas sobreexplotadas o en proceso de salinización, o en riesgo de sobreexplotación, dentro de la zona estudiada, como previene la Ley de Aguas, que facilite las actuaciones previstas en la citada Ley y en el Plan Hidrológico.

1.2.2. Objetivos parciales

A los objetivos generales o finales antes expuestos sólo se puede llegar cubriendo unos objetivos parciales que, dada la amplitud y complejidad del tema, es muy conveniente concretar. Agrupados por temas, son los siguientes:

- a) Sobre las demandas de agua, a cuya satisfacción se dedica una buena parte de la política hidráulica: conocer los volúmenes requeridos por cada

tipo de demanda, sus exigencias de garantía de suministro, las exigencias de calidad y prever las probables demandas futuras.

- b) Sobre la climatología-hidrología: el objetivo es profundizar en el conocimiento del balance hídrico regional poniendo especial énfasis en la evaluación de la infiltración profunda del agua de lluvia, que da origen a la escorrentía subterránea.
- c) Sobre las aguas subterráneas, los objetivos concretos son:
- Conocer la situación actual de los acuíferos en cuanto a cantidad y calidad de los recursos, funcionamiento, explotación y principales problemas existentes.
 - Conocer la evolución en el tiempo de los recursos hídricos subterráneos en cuanto a cantidad y calidad y sus tendencias previsibles con la explotación actual y con otras explotaciones alternativas.
 - Definir las zonas con problemas en cuanto a cantidad o calidad y definir los criterios para calificar la problemática detectada.
 - Definir los perímetros de las zonas sobreexplotadas o en proceso de salinización y sus programas tentativos de regulación y de vigilancia.
 - Efectuar mediciones de vigilancia durante el período de ejecución de los trabajos.
 - Diseñar las medidas para la corrección de los problemas en las zonas anteriores.
- d) Sobre los recursos no naturales, se plantean como objetivos concretos: conocer las producciones de agua industrial y su evolución en el tiempo; definir sus calidades; los costes de producción; los impactos ambientales sobre las aguas subterráneas; y, los destinos de agua producida.
- e) Finalmente, sobre la explotación de los recursos disponibles, el presente estudio se plantea tres objetivos concretos:
- Establecer un sistema de explotación conjunta de los recursos disponibles, teniendo en cuenta las características de las demandas a satisfacer y las características de los distintos tipos de recursos, principalmente orientado al control de la sobreexplotación de las aguas subterráneas.
 - Plantear alternativas de explotación futura de los recursos totales (naturales y no naturales).
 - Elaborar un modelo matemático de simulación del flujo subterráneo utilizable como herramienta para pronosticar y cuantificar los efectos sobre el acuífero de las distintas alternativas de explotación futura del conjunto de los recursos disponibles.

1.3. Trabajos realizados y presentación de resultados

Para alcanzar los objetivos concretos enunciados anteriormente se han realizado los siguientes trabajos:

Recopilación y homogeneización de la información básica existente

La adopción en las Islas del sistema de coordenadas geográficas UTM elipsoide WGS84, ha obligado a convertir a este nuevo sistema la cartografía básica (topográfica, geológica) existente que utiliza el elipsoide Hayford, así como las coordenadas de todos los pozos, sondeos y manantiales inventariados en la Isla.

En este mismo campo de actividades cabe destacar la labor de unificación, en una base de datos única, de los inventarios de puntos de agua realizados en el SPA-15, el MAC-21, por el IGME, por el Consejo Insular del Agua (Inventario de Nivel 1), así como los datos de los expedientes de las captaciones de aguas. La recopilación de datos se ha extendido también a datos climáticos (en particular precipitaciones) y datos estadísticos sobre población, regadíos, cultivos y datos de las infraestructuras hidráulicas que atañen al Estudio (redes, depuradoras y plantas desaladoras).

Estudio de las demandas y consumos de agua (capítulo II)

Orientado a la evaluación de las demandas y consumos de agua históricos, actuales y futuros para los distintos horizontes del Plan Hidrológico. Evaluación de los vertidos de aguas residuales e infiltración de agua en el terreno (pérdidas en redes y retornos de riegos).

Estudio geológico (capítulo III)

Orientado obviamente a la hidrogeología, ha consistido en una síntesis de la cartografía MAGNA con el apoyo de las columnas litológicas de detalle de 263 pozos ubicados en la zona del Estudio y en un área de recubrimiento de unos 100 km².

Estudio de la precipitación-escorrentía (capítulo IV)

A partir de las precipitaciones anuales, mensuales y diarias se aplican métodos para la estimación de las principales macromagnitudes climáticas que inciden en el balance de los recursos hídricos naturales de la zona (escorrentía directa o superficial, infiltración y evapotranspiración real).

Se discute la necesidad de analizar y caracterizar la existencia de períodos húmedos y secos de larga duración (20 ó más años) y su incidencia sobre la recarga natural del acuífero.

Estudio de los recursos hídricos no naturales (capítulo V)

Partiendo de las directrices del Plan Hidrológico que asignan las aguas desaladas al abastecimiento de la población, turismo e industria, y las aguas residuales depuradas al abastecimiento de los regadíos, se evalúan los recursos no naturales requeridos en cada horizonte del Plan (actual, 2006 y 2012) según el binomio origen-destino del agua, así como los requerimientos de las plantas productoras de agua industrial y los requerimientos de almacenamiento y distribución del agua producto.

Estudio de la hidrología subterránea (capítulo VI)

Partiendo de los datos básicos del inventario de puntos de agua, de la geología y de los estudios hidrogeológicos realizados en el pasado, se profundiza en el conocimiento de los principales parámetros hidrogeológicos de las formaciones, en la evolución piezométrica durante las últimas décadas hasta su estado actual y en el modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico del acuífero en la Zona del estudio, poniendo un mayor énfasis en la Zona Baja, por debajo de la cota 300 m, para identificar y delimitar áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación.

Estudio de la calidad de las aguas (capítulo VII)

El estudio de la calidad de las aguas subterráneas ha estado precedido de una exhaustiva recopilación de los análisis químicos existentes en los sucesivos inventarios y en los expedientes administrativos de las concesiones de agua.

Se han analizado las correlaciones existentes entre la composición analítica de las aguas y las formaciones geológicas de donde proceden las muestras.

De modo especial se han analizado los contenidos en ión cloruro de las aguas subterráneas y su variación en el tiempo, en muestras procedentes de una misma captación, y de las correlaciones existentes entre las calidades de las aguas, las profundidades de las captaciones y las cotas de los niveles del agua respecto al nivel del mar.

Como resultado se ha podido mejorar la delimitación y caracterización de las áreas sobreexplotadas, o en riesgo de sobreexplotación, y de las áreas con problemas de salinidad por causas ajenas a procesos inducidos de intrusión marina.

Modelo matemático de simulación del flujo subterráneo (capítulo VIII)

Recopilados y actualizados los datos y parámetros hidrogeológicos que inciden en el flujo subterráneo (permeabilidades, anisotropías, coeficientes de almacenamiento, niveles piezométricos, recargas y descargas) y revisado el modelo hidrogeológico conceptual, se ha elaborado un modelo matemático de simulación del flujo subterráneo en la zona estudiada, ajustado primero en

régimen permanente, y después en régimen transitorio, utilizando como referencias para el ajuste, los estados piezométricos observados en 1980-82, 1985-87, 1990-93 y 1997-99.

A partir del modelo ajustado se han previsto las respuestas del acuífero, en términos de piezometría y de descargas al mar-intrusión marina, en los años horizonte del Plan, en el supuesto de que se cumplan las previsiones en cuanto a demandas de agua y nuevos recursos (utilización de agua residual depurada, desalación de agua marina o de aguas salobres).

Definición de áreas sobreexplotadas y planteamiento de programas de regularización y vigilancia de los recursos hídricos (capítulo IX)

A partir de la información hidrogeológica, de los datos de la calidad del agua y su evolución en el tiempo y de los balances hídricos, se han delimitado las áreas sobreexplotadas o en riesgo de salinización en la Zona Baja, exponiendo los criterios técnicos para su clasificación y la identificación espacial de las áreas que los cumplen.

Para las áreas definidas como sobreexplotadas se han establecido programas para la regularización de los recursos disponibles asignando caudales sustitutorios de los de explotación actual, mediante aguas residuales depuradas o, en su caso, de aguas producto de desalación. Se incluyen, además, programas específicos de vigilancia y control para conocer en el tiempo y en el espacio la respuesta real del acuífero a las medidas de regularización adoptadas.

Presentación de los resultados

La descripción de los trabajos realizados a lo largo del Estudio y de los resultados obtenidos se presenta en nueve grandes capítulos, estructurados cada uno a modo de informes temáticos:

Capítulo I. INFORME DE SÍNTESIS	Tomo 1: Memoria
Capítulo II DEMANDAS Y CONSUMOS DE AGUA	Tomo 2: Memoria y Planos
Capítulo III. GEOLOGÍA	Tomo 3: Memoria, Anejo III.1 y Planos
Capítulo IV CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	Tomo 4: Memoria y Anejos IV.1 Tomo 5: Anejos IV.2 a IV.8 y Planos
Capítulo V RECURSOS HÍDRICOS NO NATURALES	Tomo 6: Memoria, Anejo V.1 y Planos
Capítulo VI HIDROGEOLOGÍA	Tomo 7: Memoria y Anejos VI.1 a VI.6 Tomo 8: Anejos VI.7 Tomo 9: Anejo VI.8 y Planos

Capítulo VII CALIDAD DEL AGUA	Tomo 10: Memoria y Anejos VII.1 a VII.2 Tomo 11: Anejo VII.3 Tomo 12: Anejos VII.4 a VII.9 Tomo 13: Planos del VII.1 al VII.11 Tomo 14: Planos del VII.12 al VII.22
Capítulo VIII MODELO DE SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO	Tomo 15: Memoria y Anejo VIII.1 Tomo 16: Anejo VIII.2
Capítulo IX IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS SOBREEXPLOTADAS	Tomo 17: Memoria y Anejos IX.1 a IX.3 Tomo 18: Planos del IX.1 al IX.12 Tomo 19: Planos del IX.13 al IX.20

Cada capítulo consta de Memoria, Anejos y Planos, de modo que constituyen documentos completos en sí mismos que se pueden manejar conjuntamente o por separados.

Los capítulos se presentan en papel y en soporte informático.
La edición en papel sigue los formatos Din.

En soporte magnético se incluyen íntegramente todos los documentos: textos, tablas, gráficos, figuras y planos. El software utilizado es:

Word, versión 2000	para textos
Excel, versión 2000	como hoja de cálculo
Microstation, versión J	para cartografía
Processing Modflow, versión de 1996	para el modelo matemático de flujo.

1.4. Equipo de trabajo

En la realización del presente Estudio ha participado el siguiente equipo:

- D. Juan Antonio López Geta, como Director de Aguas del IGME
- D. Miguel del Pozo Gómez, como Coordinador del Estudio
- D. Emilio La Moneda González, Director del Estudio
- D^a Elena Galindo Rodríguez, responsable de los estudios de calidad de las aguas y de la edición del informe.
- D. José Ángel Díaz Muñoz, responsable de los capítulos de geología e hidrogeología
- D. Silvino Castaño Castaño, responsable del modelo de simulación del flujo subterráneo
- AQUA-NET, Servicios Hídricos, S.L. como oficina técnica colaboradora para la revisión de los informes técnicos y realización de los estudios sobre demandas y consumos de agua, recursos hídricos no naturales, identificación de áreas

sobreexplotadas y elaboración de los programas para la regularización y vigilancia de los recursos hídricos.

ZETA AMALTEA, S.L. oficina técnica colaboradora en la realización de los estudios de climatología e hidrología superficial.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA ESTUDIADA

A continuación se describe la zona estudiada en aquellos aspectos que, sin ser fundamentales, ayudan a enmarcar en el ámbito insular los problemas planteados y las soluciones propuestas.

2.1. Geografía física y medioambiental

2.1.1. Situación y límites

La zona a estudiar ocupa el cuadrante oriental de la Isla de Gran Canaria. Por la costa se extiende desde Punta Marfea, en las inmediaciones de la ciudad de Las Palmas, al norte, hasta las proximidades de Juan Grande, ya en el término municipal de San Bartolomé de Tirajana, al sur. Hacia el interior la zona penetra hasta las proximidades del Pico de las Nieves (1.950 m) siguiendo divisorias hidrográficas. Desde Punta Marfea, recorriendo el perímetro de la zona de estudio en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj, el límite corresponde sucesivamente a las divisorias de los Barracos: Hoya del Parral, de La Cruz, de la Plata o San Miguel-Telde, cabecera de Tirajana y divisoria norte de Barranco Hondo, que cierra el límite por el sur. La zona así definida incluye parte del Sector Norte 4 y los Sectores Norte 5 y 6 y Sur 1 y 2, del Plan Hidrológico. Adopta la forma de un sector circular de 23 km de radio como media, con su vértice en el centro de la Isla y un arco costero de unos 35 km de longitud. La superficie es de 418,5 km², que equivalen al 27% de la superficie total de la Isla (figura I.1).

2.1.2. Relieve y red hidrográfica

El singular relieve de la Isla, en particular las altas cotas topográficas alcanzadas a corta distancia de la costa, tiene una notable incidencia medioambiental. Atendiendo a esta circunstancia, el Plan Hidrológico adopta la división de la Isla en tres zonas: Zonas Alta o de Cumbres, Zona Media o de Medianías y Zona Baja o de Costa, tomando como límites entre ellas las curvas de nivel de 300 y 800 m de cota. En la Zona Alta las pendientes son escarpadas superando generalmente el 20% y, a veces, el 45%. En la zona de estudio ocupa una superficie de 78 km². La Zona de Medianías ocupa 138 km² en la zona de estudio, con pendientes medias generalmente comprendidas entre 5 y 35 %. La Zona Baja es la más extensa con 202 km² en la zona de estudio, constituyendo una franja costera de 5 a 10 km de anchura y unos 30 km de longitud media. Las pendientes suelen ser inferiores al 10%. Representa del orden del 50% de la

zona estudiada y es la zona más densamente poblada, la de mayor actividad económica, con mayores demandas de agua y donde se concentran los principales problemas de sobreexplotación y salinización del acuífero.

Los barrancos, elementos característicos del relieve y del paisaje insular, constituyen su red hidrográfica (figura 1.2). En la zona Este de Gran Canaria, los más importantes son los de San Miguel-Telde, Guadayeque y Tirajana.

En una fecha ya lejana (quizá más de 60 años), los barrancos más importantes funcionaban como red de drenaje del acuífero, siendo cursos de agua permanente. En la actualidad su función se reduce a ser las vías de desagüe de la escorrentía superficial.

En su recorrido por las zonas Alta y Media tienen un alto potencial erosivo y han labrado profundos valles en V, estrechos y con laderas muy escarpadas. En sus tramos bajos, próximos a las desembocaduras, se han observado materiales de relleno por debajo del actual nivel del mar, lo que implica que se excavaron durante una fase de regresión marina.

Su formación obedece a la historia paleoclimática, en la que se diferencian épocas con lluvias abundantes repartidas a lo largo del año (épocas de incisión, excavación y evacuación de materiales) y épocas áridas con algunas lluvias intensas, pero esporádicas y de corta duración, que movilizan y acumulan derrubios en laderas y fondos de barrancos, pero que no llegan a evacuar a pesar de las fuertes pendientes.

Otras formas características del relieve son las derivadas de su origen volcánico y posteriormente modeladas por los agentes erosivos. Cabe citar los conos volcánicos, muy frecuentes en el noreste insular, y las calderas. Entre ellas destacan la Caldera de Tejeda, de forma semi-elíptica con el eje E-O ligeramente mayor que el eje N-S, que ocupa en la zona de estudio 104 km². La Caldera de Bandama de perímetro casi circular que forma un embudo de 200 m de diferencia de cota entre la periferia y la parte central.

2.1.3. Clima

El clima de Gran Canaria está determinado por tres factores principales: el anticiclón de las Azores, la corriente fría de Canarias y el relieve.

La localización y la potencia del anticiclón de las Azores determinan que el Archipiélago se encuentre o no bajo el dominio de los vientos alisios, cuyas principales características son su velocidad constante (20-22 km/hora) y la existencia de dos capas superpuestas. La capa inferior, en contacto en su largo recorrido oceánico con la corriente fría de Canarias, es húmeda y fresca, en contraposición a la capa superior cálida y seca, que propicia una inversión térmica y la formación de un “mar de nubes” entre 500 y 1.500 m de altitud (si existe un relieve suficiente) que, a su vez provoca un efecto invernadero y una



Fig. I.1 SITUACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (Fuente IGN)

elevada humedad relativa. Este es el tipo de clima que predomina en la isla de Gran Canaria. En ese intervalo de cotas la humedad ambiental es extraordinariamente elevada y se producen condensaciones en superficie (lluvia horizontal) que disminuye considerablemente las necesidades de agua de los cultivos. La importancia de la lluvia horizontal en la recarga del acuífero no está demostrada, aunque con toda probabilidad crea una situación de humedad antecedente en el suelo que favorece la infiltración del agua de lluvia y, por consiguiente, la recarga.

Otra conocida consecuencia de los alisos es la notable diferencia de humedad entre las laderas orientadas a barlovento (más húmedas) y las orientadas a sotavento.

Si el anticiclón se debilita, o se aleja de las islas hacia el centro del Atlántico, coincidiendo con un descenso en latitud de masas de aire frescas y húmedas, se produce un tiempo inestable con lluvias procedentes de latitudes templadas cuyos efectos se magnifican con el relieve.

Por efecto del relieve se acentúan o atenúan las condiciones de humedad o de aridez: en las zonas bajas costeras se presentan rasgos de aridez ambiental; en las zonas medias la humedad ambiental es muy elevada; y en las zonas altas vuelven a presentar rasgos de aridez.

Todo ello tiene obvias consecuencias ecológicas, en un sentido amplio, y justifica la división en zonas Alta, Media y Baja, ampliamente adoptada en la literatura medioambiental insular y, también, en el Plan Hidrológico.

Bajo el dominio de los alisios, las temperaturas medias anuales oscilan entre los 14 °C y 21 °C.

Las invasiones de aire sahariano originan el llamado “tiempo sur”, como contraposición al régimen de alisios de componente norte. Se producen bajo unas condiciones de gran estabilidad atmosférica, en la que el anticiclón atlántico se retira hacia las Azores, al tiempo que una bajada térmica instalada en el Sahara envía un aire cálido y seco hacia las islas: la humedad relativa desciende hasta el 10%, las temperaturas superan los 30° C y se enturbia el aire con el polvo procedente del desierto.

Otras situaciones atmosféricas se originan por invasiones de aire polar marítimo, a causa de la existencia de una depresión barométrica al norte de las Canarias.

En la situación predominante de tiempo norte (dominio de alisios), los parámetros que definen el régimen térmico y el régimen de humedad, son del siguiente orden de magnitud:

ZONA	REGIMEN TÉRMICO			REGIMEN DE HUMEDAD			
	Mes	T °C	T °C	P (mm)	ETP (mm)	h (meses)	S (meses)
Alta	Enero	14	7	450-750	800	4	5
	Agosto	30	19				
Medianías	Enero	17	10	300-450	800-850	4	5
	Agosto	26	17				
Costa	Enero	19	13	100-300	850-950	2-0	8-11
	Agosto	25	19				

T= Temperatura media de máximas
t = Temperatura media de mínimas
P = Precipitación

ETP = Evapotranspiración
h = número de meses húmedos
s = número de meses secos

Las consecuencias prácticas del clima predominante, a efectos del presente estudio son:

- Necesidad de riego para la mayoría de los cultivos en la costa.
- Disminución de necesidades de agua para riego según se asciende en altitud.
- Incremento de la precipitación con la altitud y, concretamente, mayores tasas de infiltración de lluvia.
- Presumible recarga significativa del acuífero a partir de la "lluvia horizontal" sea directamente o por las condiciones de humedad del suelo propiciadas por la misma.

2.1.4. Recursos hídricos naturales

Los recursos hídricos naturales, sean aguas superficiales o subterráneas, tienen su origen en las precipitaciones en forma de nieve o lluvia, que se resuelven en forma de escorrentía superficial o de escorrentía subterránea. Además, la "lluvia horizontal" puede tener también una incidencia apreciable sobre la recarga del acuífero, aunque todavía no está cuantificada.

La escorrentía superficial se estima en 13 hm³/año, que representan como media un 13% de la precipitación media anual, pero tienen una gran variabilidad anual, con escasa garantía y se reparte entre pequeñas cuencas hidrográficas que individualmente aportan pequeños volúmenes de recurso. Los emplazamientos para la construcción de presas de embalse, en la zona estudiada, son escasos y de características topográficas y geológicas deficientes. Por todo ello, en la práctica son recursos de difícil explotación y su aprovechamiento es irrelevante.

La escorrentía subterránea asciende como media a unos 20 hm³/año y, a diferencia de los recursos superficiales, los subterráneos están muy regulados por el acuífero constituido principalmente por los materiales volcánicos. Los depósitos sedimentarios localizados en la zona, por su posición en superficie y reducido espesor, no están saturados con relativa frecuencia.

El comportamiento hidrogeológico de la isla sólo es comprensible desde la consideración de su origen volcánico. El conjunto de Gran Canaria forma un

edificio volcánico muy complejo cuya construcción subaérea se inicia hace unos 14,5 millones de años (McDougall y Schmincke, 1976; Bogaard et al., 1988; Bogaard y Schmincke, 1998), situándose por encima de un Complejo Basal correspondiente a emisiones submarinas, que no afloran en la Isla. En su formación se diferencian dos ciclos de emisiones. El primer Ciclo da lugar a los Basaltos Antiguos (lavas basálticas y niveles piroclásticos) y a la Formación Sálica (formaciones traquítico-riolítica y fonolítica). El segundo Ciclo agrupa las emisiones Roque Nublo y Post-Roque Nublo y se continúa en la actualidad.

Las unidades sedimentarias, formadas a partir de materiales volcánicos, ocupan extensiones más reducidas y de menor potencia. Están constituidas por suelos, depósitos eólicos, aluviales, terrazas, coluviones, etc. Generalmente tienen bajo contenido de arcilla y elevada permeabilidad.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona estudiada se caracteriza por:

- Predominio de áreas en superficie con elevada capacidad de infiltración del agua de lluvia.
- Permeabilidades puntuales de los materiales que cubren una gama muy amplia desde muy altas hasta muy bajas.
- Permeabilidad global del conjunto baja o muy baja, y con fuerte anisotropía, debido a que la matriz de materiales permeables está cruzada por una serie de capas subhorizontales como por ejemplo paleo-suelos y otra de capas subverticales como por ejemplo diques, de baja permeabilidad que, reduciendo la permeabilidad del conjunto, dificultan la transmisión del agua subterránea.

En condiciones naturales la estructura descrita, alta infiltración y lenta transmisión del agua, junto con la concentración de la recarga en las zonas Alta y de Medianías, mantendría un nivel freático próximo a la superficie del terreno, incluso en las zonas con elevadas pendientes topográficas. Por otra parte, la existencia de grandes diferencias topográficas entre las áreas del interior y la costa, junto con la profunda incisión de los grandes barrancos, son factores que provocan dos tipos de flujos subterráneos (figura 1.3):

- Un flujo subterráneo profundo que va desde la Zona Alta y descarga al mar.
- Y múltiples flujos subterráneos locales, poco profundos, que alimentaban los numerosos nacientes que en su día existieron desde las cumbres a lo largo de los barrancos.

Hasta finales del siglo XIX la explotación de los recursos hídricos naturales se realiza mediante captaciones puntuales localizadas en los nacientes o con elementales obras de captación del caudal fluyente por los barrancos, fuera de origen superficial o de origen subterráneo. En estas condiciones no se producen alteraciones significativas del flujo subterráneo.

A finales del siglo XIX y principios del XX se inician la construcción de las primeras galerías de captación de agua subterráneas. Unas décadas más tarde se inicia la construcción de los primeros pozos.

La evolución de las extracciones en el ámbito de la Isla es la que se detalla en el cuadro I.1:

CUADRO I.1

EXTRACCIONES EN hm³/año DE AGUA SUBTERRÁNEA EN GRAN CANARIA

Año	Pozos	Galerías	Suma	Nacientes	Total
1933 SPA/15	6,4	8	14,4	33	47,4
1971 SPA/15	101	10	121	3	124
1980 MAC-21	-	-	-		92
1991 PH	-	-	-		98
1996 PH	-	-	-		82

Al nivel de Isla se alcanza un máximo de extracciones en 1971, decreciendo en años sucesivos hasta la actualidad.

La evolución de las extracciones de agua subterránea en la zona de estudio se detalla en el cuadro I.2.:

CUADRO I.2.

EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA

	hm ³	% s total isla
1981	43,9	48
1986	29,1	--
1991	41,2	42
1996	35,0	43
2002	30,8	--

El descenso de las extracciones observado en 1986 se debe a una disminución puntual de las demandas de agua para riego, según los datos disponibles.

Se observa que en la zona de estudio, cuya extensión es el 25,8% del total insular, las extracciones de agua subterránea se sitúan en torno al 42%, es decir, una densidad de extracciones mayor que en el resto (0,083 hm³/año x km² en el resto de la Isla).

2.1.5. Suelos y vegetación

Entre los factores edafogenéticos, el clima es el que ha tenido mayor influencia en Gran Canaria.

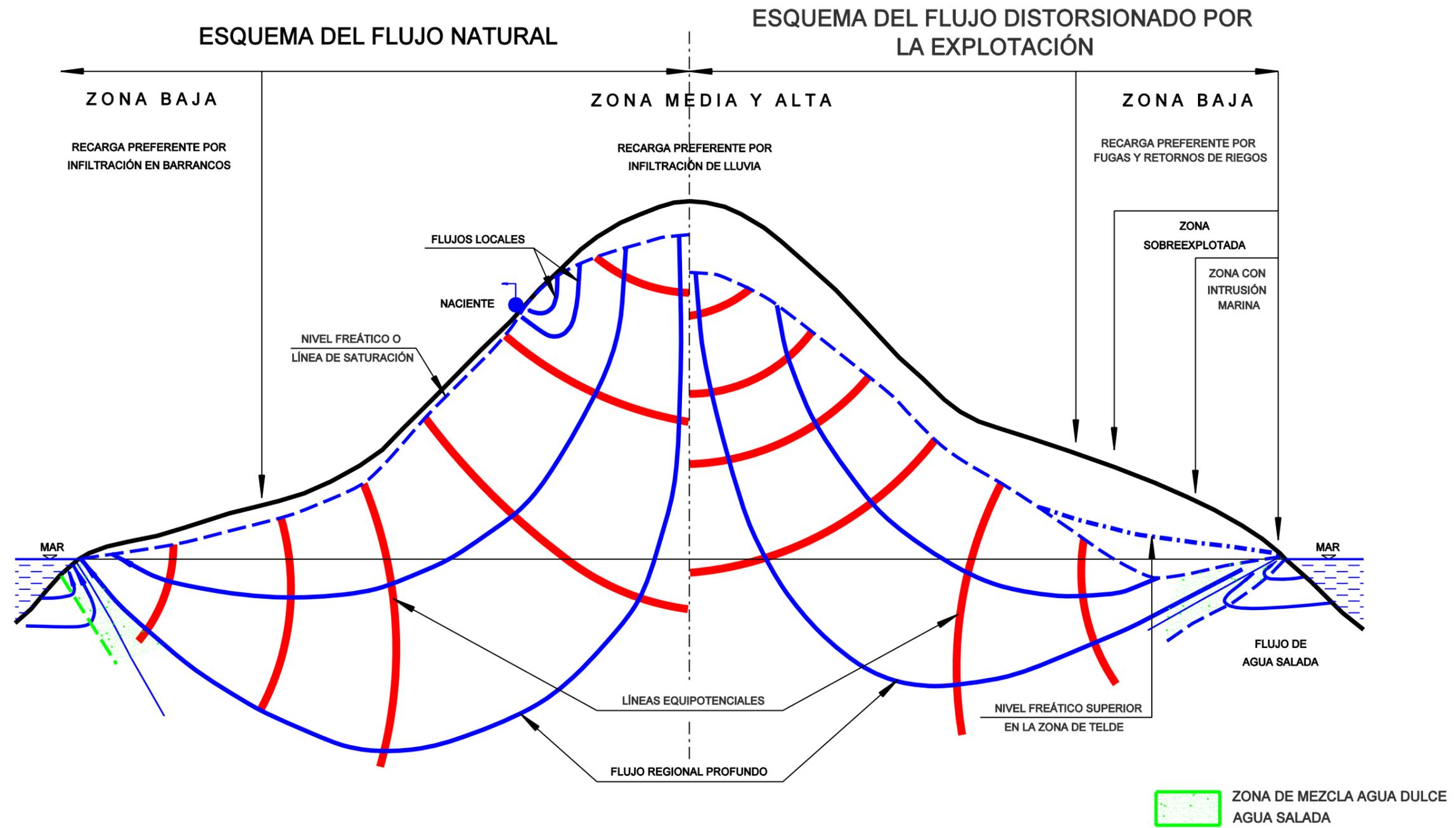


Fig. 1.3 ESQUEMA TEÓRICO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA.

En el norte, noreste y en algunas zonas del centro situadas bajo la influencia del mar de nubes, es donde se ha alcanzado el mayor desarrollo edáfico. Suelos con espesores de 1 a 2 m, en los que se llegan a diferenciar hasta tres horizontes por encima de la roca madre, se han beneficiado de la mayor humedad reinante en esas zonas constituyendo los mejores suelos agrícolas de la isla, bastante fértiles y con buena capacidad de retención del agua.

En la costa y en la mitad sur del territorio insular la mayor aridez del clima ha favorecido la existencia de suelos poco desarrollados reducidos a un horizonte de alteración de la roca madre. Predominan en ese territorio los vertisoles, los suelos sódicos y los suelos marrones. Los vertisoles y suelos sódicos son poco adecuados para su utilización agrícola. Los cultivos propios de estas zonas se localizan sobre los suelos marrones con mejor aptitud agrícola que los anteriores.

Sin embargo, en la zona costera es donde se dan las condiciones óptimas de temperatura e insolación para la agricultura de exportación de altos rendimientos económicos. La escasez de suelos aptos ha propiciado entre los agricultores de la zona la práctica del sorribado, utilizando como canteras de préstamo los suelos más fértiles de Las Medianías.

En la isla de Gran Canaria, las condiciones climáticas imponen a la vegetación natural un marcado carácter xerófilo. En función de las variaciones del clima respecto a la altitud, se diferencian en la isla tres pisos de vegetación:

- 1.- Piso basal o de matorral de xerofitas en la costa, que en la zona estudiada alcanza hasta unos 500 m de altitud.
- 2.- Piso de bosques termófilos, especialmente sabinares entre 500 y 800 m
- 3.- Piso de pinares, por encima de 800 m

La acción del hombre ha introducido cambios importantes con general retroceso de las comunidades naturales: en la costa, a favor de regadíos, núcleos de población, polígonos industriales, infraestructuras y algunos campos de golf; y, en Las Medianías a favor de áreas cultivadas en secano. Al mismo tiempo se han desarrollado otras formaciones secundarias (aulagas en el piso basal, jarales en la Zona Media, escobonales en la Zona Alta).

El complejo vegetación-uso del suelo tiene una marcada influencia hidrológica. En el capítulo IV del presente estudio se contemplan los siguientes complejos referidos a las 18 cuencas hidrográficas allí definidas que cubren el 80% de la Zona estudiada (cuadro I.3).

CUADRO I.3

DISTRIBUCIÓN DEL COMPLEJO VEGETACIÓN-USO DEL SUELO EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ESTUDIADAS

	Km²	%
Bosque forestal	12,4	3,8
Monte con pastos	182,1	55,2

	Km²	%
Pastizales	22,6	6,9
Cultivos (secano y regadío)	60,8	18,4
Improductivo	51,9	15,7
TOTALES	329,8	100,0

2.2. Geografía humana y económica

La Zona Este de Gran Canaria es una de las regiones que ha experimentado un mayor desarrollo socioeconómico en las últimas décadas del siglo XX, alcanzando tasas de crecimiento superiores, en general, a las tasas medias insulares.

Prescindiendo del municipio de Las Palmas, por la singularidad que le impone albergar a la capital de la provincia, la zona estudiada representa respecto al total de la Isla:

En superficie	29%
En población	55%
En densidad de población por km ²	202%
En superficie de regadío	33%

Dentro de la zona del estudio, existen fuertes contrastes socioeconómicos entre la Zona Baja o Costa (entre 0 y 300 m sobre el nivel del mar) y las zonas Media y Alta. En extensión, la Zona Baja ocupa algo menos del 50% de la Zona estudiada, pero en superficie regada alcanza al 74% y, en población se acerca al 90%. Además, la agricultura de exportación se localiza, casi en su totalidad, en la Zona Baja.

Aunque no se disponga para este estudio de datos específicos de las distintas actividades económicas es evidente, a la vista de los altos índices antes expresados, que deben estar respaldados, a su vez, por altos índices relativos a los sectores industriales, construcción y servicios. Sólo en el sector turismo la Zona Este de Gran Canaria está por debajo de la media insular, ya que se distribuye, casi al 100 por cien, entre los municipios del Sur (Mogán 22%, San Bartolomé de Tirajana 67%) y Las Palmas (10%).

2.2.1. División administrativa

La superficie estudiada se distribuye entre diez términos municipales. Cinco de ellos (Agüimes, Ingenio, Santa Lucía, Telde y Valsequillo de G.C) están incluidos íntegramente en la zona del estudio, los restantes sólo parcialmente están incluidos en la misma (cuadro I.4). La presencia de Tejeda y Vega de San Mateo en la zona estudiada es puramente testimonial representando en superficie al 1,5% del total estudiado y, además, corresponde a la Zona Alta, con muy pequeña incidencia en las actividades económicas y en las demandas de agua regionales.

CUADRO I.4

DIVISIÓN ADMINISTRATIVA DE LA ZONA ESTUDIADA

Tm. municipal	Superficie km ²		Superficies según altitud			
	Total municip.	Incluida en el Estudio	0-300 m	300-800 m	>800 m	%
Agüimes	79,30	79,30	44,52	23,19	11,59	100,0
Ingenio	38,10	38,10	19,26	12,02	6,82	100,0
Las Palmas	100,50	13,04	9,56	3,48	---	13,0
San Bartolomé de T.	333,60	68,89	31,46	18,77	18,66	20,7
Santa Brígida	23,80	8,61	0,16	8,41	0,04	36,2
Santa Lucía	61,60	61,60	30,14	22,77	8,69	100,0
Tejeda	103,30	3,62	---	---	3,62	3,5
Telde	102,40	102,40	66,93	28,87	6,60	100,0
Valsequillo	39,10	39,70	0,14	19,87	19,09	100,0
Vega de San Mateo	37,90	2,61	---	0,13	2,48	6,9
TOTALES	919,6	417,27	202,17	137,51	77,59	
Porcentajes		100,00	48,5	33,0	18,5	

2.2.2. Población

Es importante destacar el sostenido crecimiento demográfico que ha existido en la isla de Gran Canaria en general y de la Zona Este en particular. Entre los censos de 1981 y 2001 la población de derecho de la Zona del Estudio ha crecido un 43,7%. En el mismo periodo Gran Canaria, incluida la ciudad de Las Palmas, ha crecido un 15,8% y, el total nacional ha crecido un 8,4%.

Así mismo, es destacable la evolución comparativa de la población entre 1900 y 1981, entre los cinco municipios incluidos íntegramente en la zona estudiada, Gran Canaria y España:

	Población (base 1900 = 100)			
	1900		1981	
Zona estudiada (*)	21.276	100	129.686	609
Gran Canaria	127.471	100	672.716	528
España	18.616.630	100	37.746.260	203

(*) Solamente Agüimes, Ingenio, Santa Lucía, Telde y Valsequillo

En este crecimiento, muy sostenido a lo largo de todo el siglo XX, ha jugado un papel importante la conjunción de factores diversos cuyos altibajos se han complementado:

- Declaración de puertos francos en las Islas
- Producción de productos agrarios de altos rendimientos para exportación
- Desarrollo de industrias específicas (tabacos)

- Desarrollo turístico a favor de excepcionales condiciones climáticas y naturales
- Desarrollo del sector de la construcción
- Importante transformación de una sociedad básicamente agraria en una sociedad de servicios.

Y, subyaciendo a todo ello, una estratégica situación entre Europa, América y África.

2.2.3. Principales actividades económicas

Hasta mediados del siglo XX la principal actividad económica en Gran Canaria (y también en la zona estudiada) fue el sector primario, liderado por la agricultura. Al iniciarse el siglo XXI el sector primario sólo ocupa al 5 por ciento de la población empleada (cuadro I.5). No obstante, la agricultura sigue siendo una actividad económica importante en el conjunto insular.

A lo largo del siglo XX se producen profundos cambios en los sistemas de cultivo, en las tecnologías y en las variedades cultivadas, que afectan especialmente a la zona de la costa. El primer cambio importante llega de la mano de la divulgación de los equipos mecánicos necesarios para la extracción de agua de pozos profundos, lo que permite incrementar considerablemente el regadío en el período 1930-1970. Los siguientes cambios afectan a la introducción de nuevos cultivos (agricultura de exportación), introducción del riego localizado, establecimiento de cultivos en arena y la expansión del cultivo en invernadero. En la Zona Alta sigue vigente la agricultura tradicional de subsistencia en el ámbito familiar y es sobre todo en la Zona Baja donde se produce la gran transformación agraria.

CUADRO I.5

EMPLEO POR SECTORES DE ACTIVIDAD EN GRAN CANARIA (%)

Año	SECTOR		
	Primario	Secundario	Terciario
1965	47	24	29
1970	30	26	44
1975	20	27	53
1980	15	24	61
1989	10	25	65
1999	6	19	75
2001	5	18	77

En el conjunto de la Isla cabe resaltar que las actividades con mayor crecimiento son la construcción, el comercio y el turismo. Disminuye fuertemente la actividad agraria y, al mismo tiempo, aumenta el paro en el sector.

Los cambios producidos en la estructura del empleo distan mucho de ser uniformes. En la década de los años ochenta, el empleo en el sector terciario alcanza al 70% en los municipios urbanos (más de 10.000 habitantes) mientras que en los municipios rurales (menos de 10.000 habitantes), la situación está invertida y es el sector primario quien ocupa al 70% de la población empleada.

Aunque la actividad industrial no ocupa un lugar destacado en Gran Canaria, sí constituye una actividad apreciable en la zona Este de la Isla. Cabe citar los polígonos industriales de Arinaga, El Goro, Salinetas y Cruz de la Gallina entre otros, e instalaciones singulares como son las centrales térmicas de UNELCO, el Aeropuerto de Las Palmas, las desaladoras de Las Palmas II, III y IV, las desaladoras del Sureste I y II, la desaladora de Telde-Las Palmas y las más de 70 desaladoras de aguas salobres que representan por su capacidad el 60% de la capacidad de las plantas desalinizadoras existentes en la Isla.

Mención especial merecen las obras para la captación de aguas subterráneas, representadas por:

- 799 pozos con una longitud total de excavación de 87.314 m sin contar con las galerías a ellos asociadas.
- 128 galerías, (sin contar con las galerías construidas a partir de los pozos), con una longitud total que supera los 27.000 m.

Estas obras han sido la base sobre la que se ha sustentado el desarrollo hidráulico regional, hasta un pasado reciente cuando se inicia la producción y el suministro de agua industrial en la zona de estudio.

3. USOS, DEMANDAS Y CONSUMOS DE AGUA

La actividad socioeconómica comparativamente alta que se desarrolla en la zona de estudio y especialmente en la Zona Baja, junto con su alta densidad de población, conlleva una demanda y unos consumos de agua comparativamente altos en relación con las demás regiones de la Isla.

Se han diferenciado, como es habitual en este tipo de estudios, los usos urbanos, usos industriales y usos agrarios, que representan otros tantos grados de exigencia en cuanto a calidad, garantía, modulación y coste del suministro. Por su irrelevancia no se han considerado los usos turísticos.

3.1. Usos urbanos

Se trata en realidad de un conjunto heterogéneo de usos que engloban a los usos domésticos, pequeñas industrias urbanas, riego de parques y jardines, riego de calles, etc.

Las necesidades de agua se determinan en función del número de habitantes a abastecer y de la dotación asignada, que depende a su vez del tamaño de la población. En el cuadro I.6a se resumen las series históricas de la población y de las dotaciones medias estimadas, obteniendo las demandas totales de agua para abastecimiento urbano. En el cuadro I.6b se detallan las dotaciones para abastecimiento urbano por municipios en los años 1996 y 2001. El crecimiento de las dotaciones unitarias entre ambos años no ha sido uniforme, dependiendo de múltiples causas, entre otras de la calidad del abastecimiento en la fecha inicial.

CUADRO I.6a

**DOTACIONES MEDIAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO EN EL PERÍODO
1996-2001**

AÑO	POBLACIÓN DE DERECHO	APORTACIÓN EN ALTA (hm³)	DOTACIÓN (l/hab x día)
1996	191.785	11,285	161
1998	197.068	11,551	161
1999	199.710	12,532	172
2000	202.351	13,630	185
2001	204.993	14,598	195

Entre 1966 y 2001 la demanda de agua para abastecimiento urbano crece un 30% debido al efecto combinado del aumento de la población y al incremento de las dotaciones por habitante y día.

Dada la situación general del abastecimiento de agua en Gran Canaria, en particular la escasez de recursos naturales de agua potable, es importante señalar que, en sentido estricto, los abastecimientos urbanos no requieren más allá de un 20% de la demanda total, es decir, al año 2001, las necesidades estrictas de agua potable en la zona de estudio serían a lo sumo de 2,9 hm³/año.

CUADRO I.6b

DOTACIONES PARA ABASTECIMIENTO URBANO SEGÚN MUNICIPIOS

Municipio	AÑO 1996			AÑO 2001		
	Población	Suminist. (hm³)	Dotación (l/hab x día)	Población	Suminist. (hm³)	Dotación (l/hab x día)
Aguimes	18.284	1,077	161	20.124	1,486	202
Ingenio	24.394	1,488	167	24.439	1,939	217
Las Palmas	7.795	0,538	189	7.780	0,635	224

Municipio	AÑO 1996			AÑO 2001		
	Población	Suminist. (hm ³)	Dotación (l/hab x día)	Población	Suminist. (hm ³)	Dotación (l/hab x día)
San Bartolomé de T.	4.607	0,271	161	4.486	0,319	195
Santa Brígida	4.393	0,363	226	4.599	0,420	250
Santa Lucía	40.127	2,358	161	47.652	3,039	175
Telde	84.389	4,672	152	87.949	6,154	192
Valsequillo	7.796	0,518	182	7.964	0,606	208
TOTALES	191.785	11,285	161	204.993	14,598	195

3.2. Usos industriales

En general, la industria, salvo en el caso de la industria alimentaria y otros casos especiales, no exige un abastecimiento con agua potable.

En la zona de estudio, las necesidades de agua para las industrias instaladas en polígonos industriales o para instalaciones singulares (centrales térmicas, aeropuertos, etc.) ascendieron a 2,445 hm³ en el año 2001 (cuadro I.7).

Considerando el golf como una industria de ocio y turismo, la demanda industrial se incrementa en 1,216 hm³/año para atender a las necesidades de los campos localizados en Telde y Santa Brígida.

CUADRO I.7.

DEMANDAS DE AGUA EN POLÍGONOS INDUSTRIALES E INSTALACIONES SINGULARES (Año 2001)

Instalación ó Polígono Industrial	Demanda 2001 (hm ³)	Origen del agua (hm ³)	
		Desaladora	Pozos
Arinaga	0,560	0,560	--
El Goro	0,700	0,700	--
Salinetas	0,095	--	0,095
Cruz de la Gallina	0,090	--	0,090
Aeropuerto de las Palmas	0,400	0,400	--
Mando Aéreo de Canarias.	0,200	0,200	--
Central térmica (UNELCO)	0,400	0,400	--
Totales	2,445	2,26	0,185

3.3. Usos agrarios

Al igual que en la práctica totalidad de las regiones españolas, en Gran Canaria el sector agrario, en particular el regadío, es el gran consumidor de agua. Al año 2002, la superficie regada en la zona de estudio ascendió a 3.786 ha, que suponían el 33% del regadío total en la Isla de Gran Canaria. Por municipios, las mayores superficies en riego se localizan en Telde, Santa Lucía y San Bartolomé de Tirajana (cuadro I.8a). Como hechos más relevantes se pueden destacar: la

importancia de la agricultura de exportación, que ocupa 2.413 ha (64% del total) de las cuales 2.079 ha se cultivan bajo invernadero y 334 ha al aire libre; dotaciones y superficies en regadío son crecientes desde las cotas altas hacia las bajas, de modo que en la zona Baja se concentra el 74% de la superficie regada y el 85% de la demanda (cuadro I.8b).

Las superficies ocupadas por el regadío en la zona de estudio han tenido una tendencia creciente desde el año 1986 hasta el año 2002, al tiempo que las dotaciones han disminuido gradualmente en función de la eficiencia de los sistemas de riego y de las demandas de los cultivos ponderantes (cuadro I.9).

3.4. Demanda total de agua

La demanda total de agua se ha estimado en 38,9 hm³ en el año 1996 y 42,9 hm³ en el año 2002:

	1996	2002
Abastecimiento urbano	11,285	15,012
Usos industriales	2,300	2,469
Campos de golf	--	1,216
Usos agrarios	25,308	30,220
TOTALES	38,893	48,917

CUADRO I.8a

DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES EN RIEGO SEGÚN CULTIVOS Y TÉRMINOS MUNICIPALES AÑO 2002 (ha)

Municipio	Cítrico y tropical	Huerto local	Papa	Flor y Orn.	Flor y Invern.	Frutal Templ.	Hortali export.	Hort. Invern	Frut. Temp. Inv.	Platanera Inv.	Plat.	Total	%
Aguimes	2,56	25,41	2,00	0,12	0,09	---	14,64	449,20	0,70	---	---	494,72	13,1
Ingenio	5,75	61,13	10,07	---	0,28	4,36	11,61	149,90	0,25	19,34	---	262,69	6,9
Las Palmas	4,89	21,15	42,50	0,27	1,42	---	49,22	0,55	---	---	0,62	120,62	3,2
San Bartolomé de T.	8,19	18,31	79,31	1,57	---	70,07	10,34	408,47	24,62	21,06	---	641,94	17,0
Santa Brígida	12,98	11,75	20,68	0,80	---	1,01	0,16	---	---	---	---	47,38	1,3
Santa Lucía	17,71	19,12	45,37	8,79	2,50	50,44	14,70	543,60	13,73	92,06	---	808,02	1,3
Telde	259,26	36,33	211,40	6,85	23,17	19,75	89,38	211,74	9,15	98,12	63,32	1028,47	27,2
Valdesequillo	65,77	26,66	180,26	1,97	6,70	38,47	60,15	1,08	0,60	0,53	---	382,19	10,1
TOTALES	377,11	219,86	591,59	20,37	34,16	184,10	250,2	1764,54	49,05	231,11	63,94	3786,03	100

CUADRO I.8b

DEMANDAS DE AGUA PARA RIEGO SEGÚN TÉRMINOS MUNICIPALES Y ALTITUDES. AÑO 2002

Tmno Municipal	0-300m		300-800m		>800m		Totales	
	Superf. ha	hm ³ /año	Superf. ha	hm ³ /año	Superf. ha.	hm ³ /año	Superf. ha	hm ³ /año
Agüimes	476,81	4,666	15,15	0,079	2,76	0,011	494,72	4,756
Ingenio	235,23	2,101	21,25	0,092	6,21	0,024	262,69	2,216
Las Palmas	100,25	0,603	20,37	0,130	-	-	120,62	0,733
San Bartolomé de T	467,62	4,484	73,72	0,309	100,60	0,365	641,94	5,158
Santa Brígida	2,12	0,013	45,26	0,180	-	-	47,38	0,193
Santa Lucía	676,56	6,884	126,69	0,625	4,77	0,015	808,02	7,524
Telde	845,88	7,056	172,27	0,776	10,32	0,036	1.028,47	7,869
Valsequillo de G.C	2,90	0,014	306,51	1,534	72,48	0,228	382,19	1,776
TOTALES	2.807,37	25,821	781,52	3,725	197,14	0,679	3.786,03	30,225
PORCENTAJE	74,2	85,4	20,6	12,3	5,2	2,2	100,00	100,00
DOTACIÓN MEDIA	9.198		4.766		3.444		7.983	

CUADRO I.9

EVOLUCIÓN DE SUPERFICIES Y DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO SEGÚN CULTIVOS

	1986		1991		1996		2002	
	S (ha)	V (hm ³)						
Cítricos	321,73	1,684	340,29	1,837	343,76	1,939	377,11	2,074
F. Templado	71,29	0,228	71,63	0,228	71,30	0,226	184,10	0,713
F. Tropicales	3,13	0,019	3,13	0,019	5,50	0,037	---	---
F. Invernadero	---	---	---	---	---	---	49,05	0,297
Flor aire l.	2,88	0,023	2,88	0,023	3,23	0,026	20,37	0,163
Flor Invern.	10,61	0,080	10,61	0,080	35,31	0,265	34,16	0,256
Hortaliza a.l.Export	674,29	6,069	747,54	6,728	288,19	2,544	250,20	2,252
Hortaliza inv.	892,53	9,372	974,40	10,232	1.809,60	19,000	1.764,54	17,645
Platanera	221,42	2,440	1.173,21	13,161	103,90	1,169	63,94	0,751
Platanera inv.	---	---	---	---	11,23	0,152	231,11	3,120
Huerta local	---	---	---	---	---	---	219,86	0,879
Papas	---	---	---	---	---	---	591,59	2,070
Totales Zona	2.197,88	19,915	3.323,69	32,308	2.672,02	25,356	3.786,03	30,222
DOTACIÓN MEDIA m ³ /ha x año	9.061		9.721		9.489		7.982	

3.5. Fuentes de suministro de agua

Hasta finales del siglo XIX las necesidades de agua de la Isla se satisfacen, prácticamente en su totalidad, de los nacientes que brotaban en las cumbres y a lo largo de los profundos barrancos. A partir de los datos disponibles (SPA-15) se estima que podrían proporcionar como media unos 40 hm³/año.

Ya en los finales del XIX y principios del XX se empiezan a excavar las principales galerías y, alguna década después, los primeros pozos. Datos relativos a 1933 indican que el caudal extraído (47,4 hm³/año) se reparte entre nacientes 33 hm³/año (70%), galerías 8 hm³/año (17%) y pozos 6,4 hm³/año (13%).

Al inicio de la década de los años setenta, según datos recogidos en el SPA-15, se alcanza la máxima explotación de las aguas subterráneas en la Isla, con unos 124 hm³/año repartidos entre pozos (101 hm³/año), galerías (20 hm³/año) y nacientes, limitados a 3 hm³/año. A partir de ahí la explotación se va reduciendo a 92 hm³/año en 1980 y 82 hm³/año en 1996. Este descenso en la utilización de los recursos subterráneos naturales no obedece a un correlativo descenso de las demandas, sino a la progresiva producción de agua industrial: desalación de agua de mar a partir de 1970, desalación de aguas salobres a partir de 1990 y reutilización de aguas residuales a partir de 1995.

En la zona del estudio, la secuencia de utilización de aguas subterráneas es también decreciente:

Año	hm³
1981	43,9
1991	41,2
1996	35,0
2002	31,0

La producción y suministro de agua industrial no empieza a tener cierta importancia hasta 1993, con una capacidad de producción de agua desalada de 21.500 m³/día, que se mantiene casi estacionaria hasta 1996, año en que se suministran 1,6 hm³ para abastecimiento urbano y 1,0 hm³ para usos industriales.

En los años posteriores crece rápidamente la producción y suministro de agua de mar desalada, de agua salobre desalinizada y de aguas residuales depuradas con tratamiento terciario.

Se estima que, en el año 2002, los volúmenes aportados en alta por las distintas fuentes de suministro fueron los siguientes:

	hm³/año	%
Agua de pozos (no desalinizada)	27,0	55,2
Agua salobre de pozos desalinizada	4,0	8,2
Agua de mar desalada	12,2	24,9
Aguas residuales depuradas	5,7	11,7
APORTACIÓN TOTAL	48,9	100,0

Como el agua salobre se obtiene de pozos, resulta que la aportación de agua subterránea (con desalinización o sin ella) representa un porcentaje muy alto (63,4%) mientras que la reutilización de aguas residuales depuradas es todavía bajo en el conjunto.

El reparto de los recursos entre los distintos usos está muy condicionado por las directrices emanadas del Plan Hidrológico: prácticamente el cien por cien del agua de mar desalada se destina a los abastecimientos urbanos e industriales; el cien por cien del agua residual depurada, al riego; y el agua de pozos se reparte entre los usos agrarios y los suministros a población e industria.

3.6. Retornos de riegos y fugas en redes de abastecimiento y saneamiento

Se estima que al año 2002 los retornos de riegos y las fugas en redes de abastecimiento y saneamiento, ascendieron a 10,4 hm³/año. Esta cifra representa el 21% del volumen total aportado para atender a las demandas totales de agua en la zona de estudio.

Retornos y fugas en redes se infiltran en el terreno y representan una recarga apreciable de las aguas subterráneas. Dada la distribución espacial de los regadíos y de los principales núcleos de población, la mayor parte de los retornos de riego y de las fugas en las redes urbanas se producen en la franja costera contribuyendo, de alguna manera, a la disminución de la sobreexplotación del acuífero y de la intrusión marina. Sin embargo, esta es una ventaja que no llega a compensar sus inconvenientes como son: despilfarro del agua potable que se pierde en las redes de abastecimiento urbano, disminución de los caudales de aguas residuales que podrían ser objeto de depuración y reutilización, contaminación del agua subterránea por los retornos de riegos y por las aguas residuales infiltradas.

3.7. Estimación de las demandas futuras

A partir de las tendencias observadas en la evolución histórica de las demandas de agua en el pasado histórico reciente, se han estimado por extrapolación las demandas futuras en los años 2006 y 2012 (cuadro I.10).

Tomando como referencia las demandas en el año 2002 se deduce:

- Las demandas urbanas crecerán un 11% al año 2006 y un 28% hasta el año 2012.
- La demanda industrial crecerá un 4% al año 2006 y un 10% al año 2012.
- La demanda agraria (regadío) se mantendrá constante al nivel de la demanda al año 2002.

CUADRO I.10

DEMANDAS TOTALES DE AGUA EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA

Sector	Año 2002		Año 2006		Año 2012	
	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%
Agrario	30,220	61,7	30,220	59,7	30,220	56,0
Urbano	15,012	30,7	16,671	32,9	19,347	35,8
Industrial	2,469	5,0	2,570	5,0	2,728	5,0
Campos de Golf	1,216	2,5	1,216	2,4	1,716	3,2
Totales	48,917	100	50,684	100	54,011	100

Según dichas estimaciones, la demanda agraria tendrá un peso decreciente en el conjunto de las demandas regionales, pero seguirá siendo la demanda mayoritaria al año 2012 (56% al año 2012 frente al 61,7% al año 2002).

4. PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN. BALANCE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS NATURALES

Para evaluar los recursos hídricos naturales de la zona de estudio es inevitable abordar el balance hídrico regional, extendido a un período de tiempo suficientemente largo para que sea representativo del balance medio. En principio, el balance medio tiene una formulación sencilla:

$$P = ED + ES + ETR$$

Siendo:

P = Precipitación ED = Escorrentía directa o superficial
ES = Escorrentía subterránea ETR = Evapotranspiración real

El problema práctico que se plantea en la Zona es que exceptuando la precipitación, de la cual existen series largas de medidas directas en un número suficiente de observatorios pluviométricos, de los restantes elementos del balance ED, ES y ETR no existen series de medidas directas representativas a escala regional, ni es probable que estén disponibles en un futuro próximo.

En consecuencia, ha sido forzoso recurrir a métodos empíricos y a modelos de simulación para estimar unos órdenes de magnitud asignables a la escorrentía superficial, a la escorrentía subterránea y a la evapotranspiración real, que sean coherentes entre sí y con las precipitaciones medidas. Por ello, se ha considerado muy importante aplicar varios métodos para calcular dichos parámetros y recurrir a su vez, a estudios realizados en otras épocas y por otros expertos, para comparar y evaluar los resultados obtenidos.

4.1. Precipitación

Con datos de 25 observatorios pluviométricos que cubren la zona del estudio a lo largo de un período de 50 años, se ha estimado que la precipitación media sobre la zona asciende a 108 hm³/año (258 mm/año). Entre el 80% y el 90% de la lluvia se produce en los meses de otoño-invierno y el 10-20% restante se produce en primavera-verano.

Las precipitaciones medias anuales aumentan con la altitud desde 100 mm en la costa a más de 700 mm en las cumbres. En la parte norte, el incremento de precipitación con la altura es de 35 mm. por cada 200 m; en la zona Sur, este incremento es de 50 mm.

La irregularidad interanual de las precipitaciones es muy elevada. En el período 1950-1999 se han registrado en la zona de estudio precipitaciones anuales que han oscilado entre 41,7 y 223,4 hm³/año (entre 90 y 530 mm).

Está generalmente admitido que series de precipitaciones con una longitud de treinta años permiten definir con suficiente aproximación el valor de la precipitación media anual. Sin embargo, dentro de la serie de precipitaciones anuales ocurridas en la zona del estudio en el período de 50 años comprendido entre 1950 y 1999, cuya media es de 107,7 hm³/año, las medias de las series provinciales de 30 años de longitud varían entre un mínimo de 94,6 hm³/año y un máximo de 119,1 hm³/año, es decir, una variación superior al 25%. En consecuencia, en la zona de estudio series de precipitaciones de 30 años de longitud son demasiado cortas para definir la precipitación media.

4.2. Escorrentía directa

Se ha estimado que en el período 1970-99 (de carácter seco según se ha dicho anteriormente) el valor medio de la escorrentía directa o superficial ascendió a 13 hm³/año, equivalentes al 12,7% de la precipitación en ese mismo período. Obviamente, en períodos húmedos, como el ya mencionado 1950-1970, la escorrentía superficial habrá sido mayor, superando probablemente los 17 hm³/año.

La escorrentía superficial se produce esporádicamente con motivo de las grandes tormentas, tiene una gran irregularidad interanual y va acompañada de importantes arrastres sólidos, todo lo cual dificulta su utilización para atender a las demandas de agua.

4.3. Escorrentía subterránea

Para el período 1970-99, la escorrentía subterránea se ha evaluado en 18 hm³/año (17% de la precipitación).

Hay razones para considerar que la escorrentía subterránea mencionada da un valor por defecto del real. En primer lugar, porque se ha estimado a partir de un período seco cuya precipitación fue inferior a la media de períodos más largos; en segundo lugar, porque el método de cálculo utilizado no contempla el posible efecto de la "lluvia horizontal"; y, finalmente, porque el caudal de escorrentía subterránea que llega al acuífero está muy laminado por el gran espesor de terreno no saturado que debe recorrer hasta alcanzar al nivel freático. Estos motivos explican que el caudal de recarga estimado en la calibración del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo sea superior al mencionado (21 hm³/año).

4.4. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real media a lo largo del período 1970-1999 se ha obtenido por diferencia entre la precipitación y la suma de la escorrentía superficial y la subterránea, resultando igual a 71 hm³/año (70% de la precipitación).

El cálculo de la E.T.R. por el método de Thornthwaite no ha dado resultados satisfactorios.

4.5. Balance hídrico medio

El balance hídrico de la totalidad de la zona de estudio relativo al período 1970-99 se resume en el cuadro I.11, en el que se incluyen como referencia los balances hídricos en el ámbito de Isla considerados en el Plan Hidrológico y en el SPA-15.

CUADRO I.11

**BALANCES HÍDRICOS MEDIOS DE LOS RECURSOS NATURALES
EN LA ZONA DE ESTUDIO Y EN LA ISLA DE GRAN CANARIA**

Zona de Estudio Período 1970-99

	hm ³	mm	Porcentaje
Precipitación	102	244	100
Escorrentía superficial	13	31	13
Escorrentía subterránea	18	43	17
E.T.R.	71	170	70

Isla de Gran Canaria. Plan Hidrológico. Período 1960-96

	hm ³	mm	Porcentaje
Precipitación	466	300	100
Escorrentía superficial	75	48	16
Escorrentía subterránea	87	56	19
E.T.R.	304	195	65

Isla de Gran Canaria. SPA-15. Período 1949-66

	hm ³	mm	Porcentaje
Precipitación	576	370	100
Escorrentía superficial	92	59	16
Escorrentía subterránea	110	71	19
E.T.R.	374	240	65

5. RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES

Aguas de mar desaladas, aguas salobres desalinizadas y aguas residuales depuradas hasta un nivel de tratamiento que las haga aptas para su reutilización, son los recursos hídricos no convencionales a los que el Plan Hidrológico de la Isla de Gran Canaria se refiere como aguas de producción industrial, en contraposición a los recursos naturales que, en la Zona Este de Gran Canaria, se limitan prácticamente a las aguas subterráneas.

5.1. Producción y utilización de recursos hídricos no convencionales

Con algunas oscilaciones coyunturales, las demandas totales de agua en la zona de estudio han mostrado una tendencia creciente desde 1981 hasta la actualidad,

pasando de 43,9 hm³ en el año 1981 a 48,9 hm³ en el año 2002. En este mismo intervalo de tiempo los recursos renovables de aguas subterráneas, que ya eran insuficientes para atender las demandas de 1981, fueron disminuyendo progresivamente por la disminución de la infiltración de agua de lluvia (se inicia un período seco hacia 1970) y por la progresiva salinización del acuífero en zonas costeras que inutilizan parte de flujo subterráneo.

Para disminuir la inevitable explotación de las reservas de agua almacenadas en el acuífero, se recurrió a la producción de agua industrial, que se inició en la Isla de Gran Canaria con la construcción de la desaladora Las Palmas I (hoy fuera de servicio) en el año 1970.

En la zona del estudio, la producción de agua industrial no se inicia con volúmenes significativos hasta el año 1991, también con la desalación de agua de mar. Poco después, en 1994, se instala la primera desalinizadora de agua salobre y algo más tarde se consigue con éxito la reutilización de las aguas residuales urbanas depuradas con tratamiento terciario. En los cuadros I.12, I.13 y I.14, se detallan las capacidades de desalación de agua de mar, desalinización de aguas salobres y depuración de aguas residuales en la zona del estudio.

CUADRO I.12.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA DESALACIÓN EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA (m³/día)

Año	Desaladoras en servicio	Capacidad nominal (m ³ /día)					Total
		Abasto	Abasto y riego	Riego	Industria	Industria y riego	
1970	1	--	--	--	1.000	--	1.000
1991	5	--	--	--	3.500	8.000	11.500
1993	6	--	10.000	--	3.500	8.000	21.500
1995	7	--	10.000	--	4.100	8.000	22.100
1996	8	--	10.000	--	5.700	8.000	23.700
1999	11	10.000	25.000	5.000	5.700	8.000	53.700
2003	12	18.000	25.000	5.00	5.700	8.000	61.700

CUADRO I.13.

ESTIMACIÓN DE LAS PRODUCCIONES DE AGUA DESALINIZADA EN EL PERIODO 1994-2001

AÑO	Capacidad nominal (m³/día)
1994	650
1995	650
1996	1.880
1997	2.630
1998	11.490
1999	14.704
2000	28.873
2001	36.537

CUADRO I.14.

PRINCIPALES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA

Denominación	Término Municipal	Capacidad Teórica m ³ /día	Nivel de depuración	Capacidad real de depuración m ³ /día	Calidad µS/cm	Reutilización m ³ /día	Sistema
Barranco Seco	Las Palmas	34.800	Secundario Terciario	20.000 12.000	> 2.500 1.000	0 12.000	--- O.I.
Sureste	Agüimes	8.200	Secundario Terciario	1.500 4.500	>2.500 500	0 4.500	--- O.I.
Telde	Telde	12.000	Secundario Terciario	9.000 1.500	>2.500 1.500	0 1.500	--- O.I.
Temisas	Agüimes	200	Secundario	140	---	---	---
Valsequillo	Valsequillo	---	Secundario	---	---	0	---
Ojos de Garza	Agüimes	500	Secundario	500	---	0	---
S. Bartolomé de T	San Bartolomé de T	200	Secundario	50	---	0	---
TOTALES		55.900	Secundario Terciario	31.190 18.000		0 18.000	--- O.I.

En el año 2002, la situación en cuanto a demandas, recursos disponibles (naturales y no naturales) y recursos utilizados son los que se detalla en el cuadro I.15.

CUADRO I.15.

DEMANDAS Y SUMINISTROS DE AGUA EN EL AÑO 2002 (hm³)

Usos	Demandas	Agua de mar desalada	Agua residual depurada	Agua salobre desalinizada	Agua de Pozos	Bombeo del acuífero
Urbanos e industriales	17,5	12,2	--	--	5,3	5,3
Campos de golf	1,2	--	1,0	--	0,2	0,2
Regadío	30,2	--	4,7	4,0*	21,5	26,5
TOTALES	48,9	12,2	5,7	4,0	27,0	32,0

(*) Para producir 1 hm³ de agua desalinizada se requiere extraer del acuífero del orden de 1,25 hm³ de agua salobre.

Los 48,9 hm³ a que asciende la demanda total se abastecen en alta con 27 hm³ procedentes de pozos y 21,9 hm³ de recursos no convencionales. Como las aguas desalinizadas se obtienen a partir de aguas de pozos salinizados, el suministro global de agua al año 2002 exigía extraer del acuífero un total de 32 hm³ (27 para abastecimiento directo y 5 para la producción de 4 hm³ de agua desalinizada). Este volumen de extracciones supera al volumen de los recursos explotables originando una sobreexplotación importante del acuífero.

5.2. Costes de producción de recursos hídricos no convencionales

Los costes de producción de los recursos hídricos no convencionales, a pié de planta y sin considerar amortizaciones ni intereses, son de 0,52 €/m³ para el agua de mar desalada y de 0,24 €/m³ para el agua de depuración terciaria. En cabecera de distribución los costes medios son de 1,02 y 0,39 €/m³ respectivamente.

Las tarifas, o en su caso precios de venta a los usuarios son de 0,60 €/m³ para el agua desalinizada y 0,49 €/m³ el agua de depuración terciaria.

5.3. Perspectivas y limitaciones de uso de los recursos hídricos no convencionales

La insuficiencia de los recursos hídricos naturales en la Zona Este de Gran Canaria, para satisfacer adecuadamente las demandas de agua sin provocar la sobreexplotación del acuífero, obliga a recurrir a la producción industrial de recursos no naturales, sujetos a distintas características en cuanto a disponibilidad, calidad, impactos ambientales generados en su producción o en su aplicación y en cuanto a su coste. A su vez, las demandas a satisfacer están sujetas a distintos requerimientos en cuanto a calidad, modulación, garantía de

suministro y capacidad de pago. El problema, por lo tanto, se encuadra dentro de un esquema de explotación conjunta que tenga en cuenta las distintas características y disponibilidades de los recursos y de las demandas en juego. Desde esta óptica se han resumido en los cuadros I.16 las principales características de los recursos no convencionales.

En resumen, los factores limitantes son:

- Para el agua de mar desalada: su elevado coste sólo permite su utilización en usos con alta capacidad de pago como son los urbanos, los industriales y agrarios de alta rentabilidad.
- Para el agua salobre desalinizada procedente de pozos situados en la zona sobreexplotada: sus impactos negativos sobre el acuífero deberían ser excluyentes.
- Para el agua salobre procedente de pozos no afectados por la intrusión: la reducida disponibilidad de agua salobre.
- Para el agua residual depurada: la falta de regulación del recurso para adecuar la producción a la demanda.
- Para el agua residual depurada con tratamiento secundario: su calidad es inaceptable para la práctica totalidad de los usos actualmente existentes en la zona por su alta salinidad, derivada tanto del origen del agua, como de sus usos, por lo que para su utilización en la agricultura debe ser sometida a un tratamiento terciario de desalinización.

5.4. Asignación de recursos no convencionales para la satisfacción de las demandas futuras

El Plan Hidrológico determina que las aguas de mar desaladas deben ser utilizadas “preferentemente” para atender las demandas urbanas, turísticas e industriales, mientras que las aguas residuales depuradas se utilizarán para atender a las demandas agrarias. Considerando los grandes desniveles topográficos insulares, el mismo Plan Hidrológico matiza que deberá tenerse en cuenta las cotas topográficas en que se ubican las demandas (que a veces superan los 1.000 m) y las cotas de producción de agua industrial (a nivel del mar en el caso de la desalación de agua marina, o a unas decenas de metros en el caso de la depuración de aguas residuales). En este sentido recomienda (a título orientativo) la cota de 300 m, como límite superior a la que debe llegar el suministro de agua de mar desalada. Con este criterio el volumen a suministrar sería de 16 hm³/año. El Plan no menciona un límite análogo para la utilización en regadío del agua residual depurada. Por razones de orden práctico, la reutilización de agua residual depurada se debe reservar a los regadíos localizados en la franja costera salinizada por intrusión marina y, adicionalmente, al riego de parques y jardines y de campo de golf, lo que representaría un volumen de 11 hm³/año aproximadamente.

En consecuencia, las demandas a satisfacer con agua de pozos, es decir, con recursos naturales debería ser como máximo del orden de 22 hm³/año en lugar

de los 32 hm³/año que se extraen actualmente del acuífero para satisfacer las demandas en la zona del estudio, mientras que con recursos no convencionales se deberían satisfacer 26,9 hm³/año en lugar de los 17,9 hm³/año suministrados actualmente.

CUADRO I.16

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES EN ORDEN A SU APTITUD PARA DISTINTOS USOS

RECURSO	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	IMPACTOS AMBIENTALES	COSTE
Agua de mar desalada	Su producción sólo está limitada por la disponibilidad de energía	Apta para todos los usos	<u>Positivos:</u> Reducción del bombeo de agua subterránea. Disminución de la salinidad de las aguas residuales <u>Negativos:</u> Los derivados de la producción de energía, el vertido de salmueras y otros residuos del proceso	Coste alto sólo asumible por los usos urbanos y la mayoría de los usos industriales
Agua desalinizada procedente de pozos no afectados por intrusión marina	Se estima que en la zona del estudio la producción estaría limitada a 1-1,5 hm ³ /año	Apta para todos los usos	<u>Positivos:</u> Disminución de la salinidad de las aguas residuales y, en su caso, de los retornos de riego. <u>Negativos:</u> Los derivados del vertido de salmueras y otros residuos del proceso	Coste medio asumible por los usos urbanos, industriales y por la agricultura de exportación de alto valor añadido.
Agua desalinizada procedente de pozos situados en áreas sobreexplotadas	No debería estar permitida la desalinización de esta agua salobre	Aceptable para todos los usos	<u>Negativos:</u> Incremento de la sobreexplotación y de la intrusión marina.	Coste medio asumible por los usos urbanos, industriales y regadíos para exportación.
Agua residual depurada con tratamiento terciario de desalinización	Se limita como máximo al 40-50% del volumen aportado en alta para abastecimientos urbanos e industriales	Apta para todos los usos excepto para alimentación humana.	<u>Positivos:</u> Reducción del bombeo de agua subterránea. Disminución de la salinidad de los retornos de riego	Coste medio comparable al de la desalinización de agua salobre.
Agua residual depurada con tratamiento secundario	Aproximadamente, el 30% del caudal que accede a las E.D.A.R	No aceptable para la mayoría de los usos actuales en la zona		

6. GEOLOGÍA

El Archipiélago Canario, situado en la prolongación del sistema tectónico del Atlas, se dispone sobre una litosfera jurásica, próximo a un borde continental y en una placa tectónica que se desplaza muy lentamente en relación con el punto caliente que las ha originado, situado en el manto por debajo de las islas.

La isla de Gran Canaria presenta las etapas propias de un ambiente de punto caliente. Se produce una etapa de escudo, una etapa de caldera y post-caldera, un período de inactividad volcánica y finaliza con una etapa post-erosiva.

6.1. Estratigrafía

Los materiales aflorantes en la zona NE de la isla se agrupan por su origen y proceso de emplazamiento en ígneos y sedimentarios (figura I.4).

6.1.1. Materiales ígneos

Entre el Mioceno Medio y Superior (14,5 a 8 Ma) se produce un ciclo eruptivo e intrusivo, Ciclo I, que incluye:

- Una emisión subáerea de basaltos finales, denominados Basaltos Antiguos, formados por coladas de basaltos, lapillis y conos piroclásticos, que componen el sustrato de la zona, profundamente remodelados por las fases erosivas. Su potencia supera los 500 m y en ocasiones se han considerado como el sustrato impermeable de la isla.
- Una serie de materiales que, por diferenciación magmática, presentan composición traqui-riolítica (Formación Traquiriolítica) y en disposición discordante sobre los Basaltos Antiguos. Se diferencia un Dominio intracaldera compuesto por materiales de relleno de la Caldera de Tejeda, de naturaleza lávica a piroclástica, formados por tobas, ignimbritas y lavas riolítico-traquíticas; y un Dominio extracaldera, integrado por materiales de composición traqui-riolítica a basáltica resultantes del desbordamiento de la Caldera, que comprende tobas, coladas riolítico-traquíticas, ignimbritas.
- Un grupo de materiales de composición traqui-fonolítica a fonolítica (Formación Fonolítica) que constituyen la última fase del Ciclo I. Su potencia puede superar los 800 m. Comprende ignimbritas fonolíticas, lavas fonolíticas y traquifonolíticas.

Tras la emisión del Ciclo I, y un período de tranquilidad magmática, se inicia el Ciclo Roque Nublo (de 4,4 a 3,4 Ma) que finaliza en el Plioceno. La emisión se inicia con lavas basálticas a basánicas evolucionando hacia términos más hidratados y con más volátiles, que forman un gran estrato volcán en el centro de la isla, y que colapsa originando una caldera y un deslizamiento gravitatorio de los materiales de su borde.

La serie del ciclo comprende:

- Lavas y conos piroclásticos, basaníticos y tefríticos, cuya potencia puede alcanzar 200 m.
- Brecha Roque Nublo, constituida por brechas polimícticas con intercalaciones de coladas basaníticas. Puede superar los 550 m de potencia,
- Fonolitas haüynicas, que corresponde al último estadio evolutivo del ciclo.

Al Ciclo Roque Nublo sigue un nuevo período de tranquilidad, de 1 Ma, con actividad erosiva y tectónica, iniciándose a continuación el Ciclo Post-Roque Nublo (de 2,4 a 0,6 Ma) perteneciente al Plioceno-Pleistoceno. La actividad volcánica se manifiesta mediante una serie de centros de emisión cuyos productos basaníticos van rellenando el relieve preexistente. Los materiales, de composición básica afloran en el E y SE de la zona de estudio con una potencia que puede superar los 350 m.

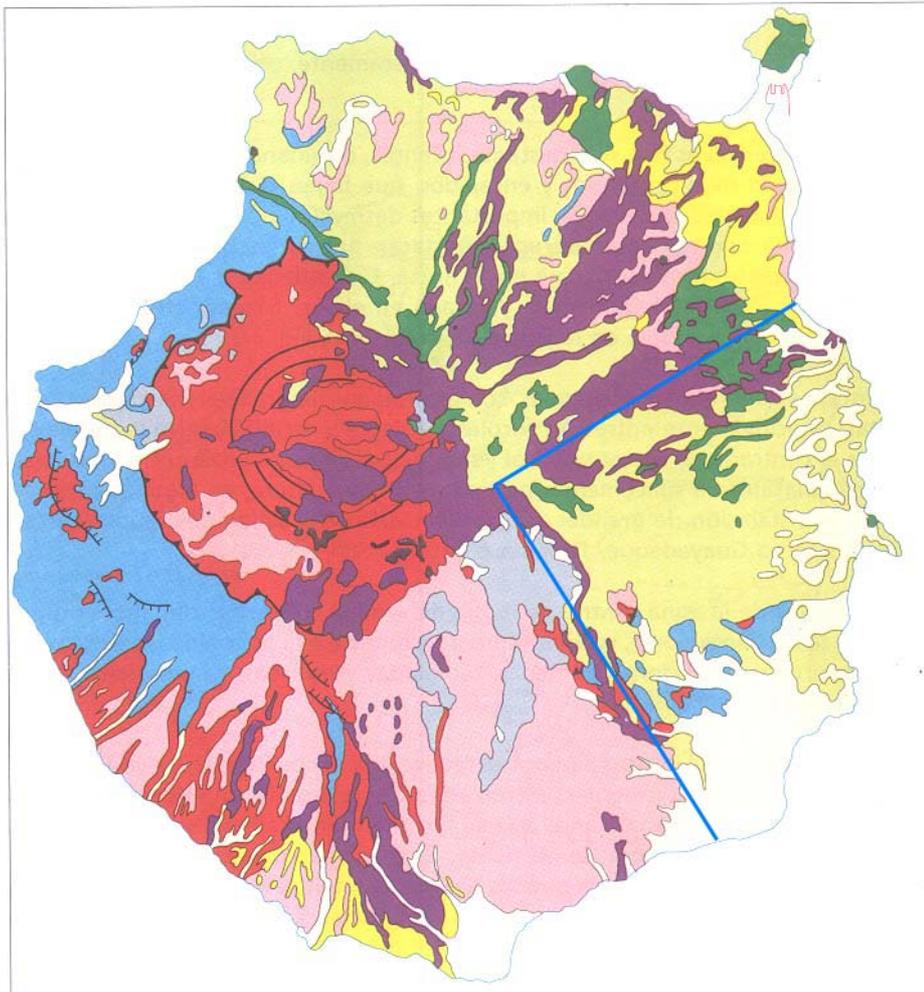
6.1.2. Materiales sedimentarios

Están formados por una amplia variedad de productos resultantes de la erosión de los materiales preexistentes, desde los Basaltos Antiguos hasta la actualidad, y por depósitos de origen mixto volcano-clásticos en sus facies distales. Se trata, en general, de materiales mal clasificados que, dependiendo de su edad y posición, pueden haber estado sometidos a procesos de alteración y compactación. Se acumulan en las partes bajas de los paleorreliieves, alcanzando extensiones laterales moderadas. Frecuentemente, están recubiertos por materiales de procesos posteriores.

Los principales grupos sedimentarios son:

- Depósitos epiclásticos: brechas, tobas y lapillis con cantos líticos en matrices arenosas, de edades comprendidas entre la Formación Traquiriolítica hasta el Ciclo Post-Roque Nublo. Están intercalados de igninbritas, brechas, coladas del Roque Nublo y episodios finales del Post-Roque Nublo. Alcanzan potencias puntuales máximas de 60 m.
- Formación Detrítica de Las Palmas: depósitos conglomeráticos con matriz arenosa, mal clasificados, incluyendo cantos subredondeados de tefritas, basanitas, fonolitas y brecha Roque Nublo. Su potencia suele ser inferior a 8 m.
- Depósitos de deslizamientos gravitacionales: de aspecto caótico constituidos por fragmentos rocosos de diversos tamaños resultantes de deslizamientos. Los fragmentos son de naturaleza muy diversa, con una matriz arenosa en proporción muy variable. Pueden superar los 250 m.
- Depósitos de ladera y coluviones: resultantes de la acción erosiva de los barrancos. Aparecen distribuidos en los principales escarpes, con potencias que pueden superar 50 m.

ESQUEMA REGIONAL



Escala 1 : 400.000



Fig. I.4 ESQUEMA GEOLÓGICO DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. Escala 1:400.000.

(Tomado del Mapa Geológico de la Isla de Gran Canaria. IGME. Plan MAGNA. 1992.)

- Terrazas y aluviales: son de formación actual a reciente, pero que se pueden encontrar interestratificados en redes de drenaje preexistentes. Son cantos y bolos redondeados o subredondeados con matriz arenosa o limo arenosa. Sólo se encuentran en los fondos de los barrancos, generalmente con menos de 100 m de anchura y 5 m de espesor, aunque en el Barranco de Tirajana se pueden superar los 300 y 15 m respectivamente.

6.1.3. Extensión de los afloramientos

Por planimetrado de la cartografía geológica MAGNA a escala 1:50.000 se han obtenido las superficies aflorantes de las distintas formaciones que se detallan en el cuadro I.17 en una superficie que excede ligeramente de la zona de estudio. Los episodios magmáticos representan el 66% del total, frente al 34% de los sedimentarios. Sin embargo, desde el punto de vista hidrogeológico, la mayor parte de las formaciones sedimentarias tienen escaso interés regional debido a su reducido espesor y su posición topográfica superficial.

CUADRO I.17

**SUPERFICIES AFLORANTES DE LAS FORMACIONES
GEOLÓGICAS (km²)**

EPISODIOS MAGMÁTICOS	km²
Basaltos Antiguos	13,6
Formación Traqui-riolítica	6,8
Formación Fonolítica	30,5
Roque Nublo	49,4
Post-Roque Nublo	192,7
Suma	293,0
EPISODIOS SEDIMENTARIOS	
Cuaternario	125,7
Formación Detrítica Las Palmas	6,1
Depósitos gravitacionales	22,6
Suma	154,4

6.2. Estructura

La estructura más importante de Gran Canaria, y que afecta también a la zona de estudio, es La Caldera de Tejeda. Es el resultado del colapso o hundimiento de un edificio volcánico preexistente. Tiene forma semielíptica, con buzamiento hacia el centro de la estructura y el eje E-O ligeramente mayor al N-S. En la zona de estudio ocupa una extensión de 104 km².

El borde de la caldera delimita un dominio intracaldera, con materiales resultantes de la actividad volcánica posterior a su formación (tobas, lavas sálicas, sienitas) y un dominio extracaldera formado por el desbordamiento de la misma.

Los materiales eruptivos de emisiones subaéreas se depositan sobre relieves preexistentes tomando la dirección de la pendiente más favorable, con buzamiento general hacia el mar. Las emisiones lávicas fluidas discurren por los fondos de los valles atrapando los materiales sedimentarios. Las emisiones lávicas más viscosas se depositan más irregularmente.

Las erupciones suponen un proceso de formación-deformación y fracturación del edificio volcánico y materiales preexistentes para dar salida a los productos magmáticos. El resultado de los materiales que no alcanzan la superficie es la formación de estructuras intrusivas: diques, sills, domos, etc, que proporcionan heterogeneidad y anisotropía a la estructura. Análogamente, los procesos de enfriamiento originan diaclasamiento en los cuerpos rocosos.

Como norma, no existen fases de plegamiento o cizallamiento intensas. La serie geológica es siempre directa.

6.3. Caracterización hidrogeológica de los materiales

Cuando se intenta caracterizar hidrogeológicamente los materiales identificados en Gran Canaria es preciso diferenciar entre la caracterización puntual, que depende de su textura, (a su vez relacionada con su composición petroquímica y con los procesos postvolcánicos), y la caracterización a escala de formaciones que depende de las macro estructuras existentes.

6.3.1. Caracterización de los materiales a escala puntual

Materiales volcánicos

Comprende las coladas de materiales basálticos, fonolíticos y traqui-riolíticos. Los centros de las coladas son permeables por fracturación (por las diaclasas) o por porosidad (lavas pahoehoe). Los tramos de techo y muro de colada (escorias de techo y "cascajo" de base), son permeables por porosidad.

La permeabilidad y coeficiente de almacenamiento pueden variar cuatro órdenes de magnitud para una misma composición petroquímica, pero en general hay una disminución de la permeabilidad con la acidez de la roca (de los basaltos, más permeables, a las traquitas que pueden ser prácticamente impermeables).

Materiales de proyección aérea.

Incluye los piroclastos, cineritas, tefra, ignimbritas, tobas, etc. Son permeables por porosidad pero su permeabilidad depende de la conexión de los poros (materiales soldados o no) y/o el posterior diaclasamiento. Como en el caso anterior la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento pueden variar cuatro ordenes de magnitud, en los extremos están los lapillis y las tobas o ignimbritas soldadas.

Materiales intrusivos.

Comprende los diques, sills, pitones, domos etc., de composición basáltica a traquítica.

Son materiales con permeabilidad por fisuración, menor que la de sus homólogos subaéreos o aéreos pues sus diaclasas suelen estar menos desarrolladas, pero también se comportan como elementos de menor elasticidad frente a la actividad tectónica, fracturándose, por lo que pueden tener aumentada su permeabilidad.

Almagres.

Corresponden a suelos cocidos por las coladas suprayacentes. Son de baja permeabilidad o impermeables.

Materiales sedimentarios e intermedios.

Materiales sedimentarios.

Comprenden los aluviones, terrazas, pie de monte, coluviones, arenas eólicas, playas, etc. Son materiales permeables por porosidad con características similares a los de otros dominios sedimentarios. Quizá sea interesante destacar la escasez de arcillas en su matriz y la baja clasificación de su conjunto (están en general vinculados a procesos de bastante energía y cuanto mayor es la energía peor es la clasificación y la permeabilidad), excepto en los eólicos y marinos.

Depósitos epiclásticos

Comprende una serie de depósitos de avalancha y de bloques de materiales volcánicos deslizados y fracturados. Los primeros son permeables por porosidad y los segundos tienen su permeabilidad inicial aumentada por la fracturación.

6.3.2. Caracterización de las estructuras a escala zonal

A macro escala la permeabilidad de los materiales depende de las estructuras existentes. La experiencia y algunos datos sobre la piezometría y las determinaciones de parámetros hidráulicos inducen a pensar que:

- En las estructuras complejas disminuyen la permeabilidad por la existencia de tramos menos permeables que dificultan el flujo en vertical y horizontal.
- Los materiales antiguos tienen menos permeabilidad cuando están subyacentes, pues han tenido más oportunidad de sufrir compactaciones y colmataciones. Cuando están aflorantes pueden aumentar su permeabilidad por la descompresión.
- Los paquetes de pumitas e ignimbritas soldadas actúan como impermeables o acuitardos.

6.3.3. Permeabilidad de los materiales

Los rangos de permeabilidades considerados, en función de la litología y experiencia de los autores, y la tabla de equivalencias correspondiente a la litología y permeabilidad, son las que se indican a continuación:

- 1 = permeables
- 2 = semipermeables
- 3 = baja permeabilidad
- 4 = muy baja permeabilidad

CUADRO I.18

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SEGÚN SU PERMEABILIDAD

Nº	Litología	Permeabilidad
29	Suelos actuales	2
28	Depósitos de arenas	1
27	Depósitos sedimentarios aluviales	1
26	Arenas eólicas	1
25	Coluviones y derrubios de ladera	2
24	Miembro sup. de la F. Detrítica de Las Palmas	2
23	Depósitos de deslizamientos gravitacionales	2
22	F. Detrítica de Las Palmas	2
21	Piroclastos de dispersión o lapillis	1
20	Lavas basaníticas	1
19	Conos de tefra (lapillios, escorias y bombas)	1
18	Lavas tefro-fonolíticas y fonolitas hauynicas	2
17	Pitones, domos e intrusiones fonolíticas	3
16	Gabros	4
15	Alternancia de brecha volcánica y coladas	4
14	Lavas basaníticas	2
13	Conos de tefra y piroclastos	2
12	Pitones, domos e intrusiones fonolíticas	3
11	Brechas e ignimbritas no soldadas	4
10	Lavas basálticas (coladas)	3
9	Ignimbritas, fonolitas soldadas y coladas de lavas fonolíticas	4
8	Coladas de lava fonolítica	3
7	Lavas basálticas y traquibasálticas intercaladas	4
6	Ignimbritas riolíticas-traquíticas	4
5	Lavas riolítico-traquíticas	4
4	Cantos basálticos y salicos	3
3	Toba vitrofídica riolítica ("composite flow")	4
2	Lapillis de dispersión y conos piroclásticos	2
1	Coladas de basaltos	2

7. HIDROGEOLOGÍA

La larga lista de estudios geológicos e hidrogeológicos realizados en Gran Canaria, encabezados cronológicamente por el SPA-15 iniciado hace 35 años, han puesto de manifiesto la extraordinaria complejidad del acuífero insular, tanto en la macro estructura al nivel de formaciones geológicas, como en la textura puntual de los materiales, como en el comportamiento hidráulico de unas y otros y del flujo subterráneo resultante.

7.1. Inventario de puntos de agua

El inventario de puntos de agua no es más (ni menos) que la recopilación y archivo ordenado de los datos concernientes a las captaciones existentes en una región. Es la base insustituible de cualquier estudio hidrogeológico moderno. En la zona de estudio se dispone de 993 puntos de agua (principalmente pozos y galerías) que son los puntos de observación a través de los cuales el hidrogeólogo tiene acceso al interior del acuífero. Representa una densidad de 2,37 puntos por km².

En el fichero se contabilizan:

- 263 columnas litológicas con 2.571 descripciones de tramos.
- 2.061 registros de caudales correspondientes a 647 puntos de agua, que abarcan el período 1970 a 1999.
- 3.871 registros de niveles de agua, referidos a 822 puntos, que se extienden al período 1970-2000.
- Registros de calidad del agua, según determinaciones realizadas “in situ” y en laboratorio.
- 107 ensayos de bombeo.

Como se puede ver la información recogida en el inventario es muy importante y, además, recoge datos históricos de variables como son la piezometría y la calidad del agua, que permiten conocer la evolución del estado del acuífero a lo largo del tiempo. Sin embargo, siendo importantes las cifras citadas del inventario de puntos de agua, no se puede pensar que sean abundantes en exceso o simplemente suficientes. Por ejemplo, para definir con aceptable precisión el flujo tridimensional en la zona de estudio, de 418,5 km² de extensión y su evolución en las tres últimas décadas (cuando ya se apreciaban claros síntomas de sobreexplotación) habría sido conveniente disponer, al menos, de 100 piezómetros (uno por cada 4 km²), midiendo cada uno el nivel a tres profundidades distintas, efectuando medidas trimestrales, lo que conduciría a 100 piezómetros x 3 profundidades x 4 medidas/año x 30 años = 36.000 registros de niveles, en lugar de los 3.871 disponibles en la actualidad.

7.2. Geometría, límites y naturaleza del acuífero

La Isla de Gran Canaria, y por consiguiente la Zona Este objeto del presente estudio, puede definirse como un acuífero único. El hecho de estar constituido por la superposición de diferentes materiales, yuxtapuestos a su vez con otros materiales que limitan su extensión en la horizontal, así como la existencia de diques, pitones, almagres y otras discontinuidades, da lugar a una importante heterogeneidad y anisotropía al acuífero volcánico.

El presente estudio se extiende a una zona o sector del acuífero global de la isla, de 418,5 km² de extensión superficial, en forma de sector groseramente circular, para el que se han adoptado los siguientes límites en planta:

- Al Norte, Oeste y Sur las divisorias hidrográficas de los Barrancos de Hoya del Parral, San Miguel-Telde, Tirajana y Bco. Hondo.
- Al Este, la línea de la costa desde los alrededores de Valle de Jinamar al norte, hasta los de Juan Grande al sur.

Los límites Norte, Sur y Oeste coinciden con divisorias hidrográficas y se supone que coinciden con divisorias hidrogeológicas de flujo nulo. El límite Este es un límite de nivel constante.

En profundidad, el límite superior es la superficie correspondiente al nivel freático, que marca el límite a partir del cual el terreno está saturado. El límite inferior sería el techo del sustrato impermeable. En la práctica ninguno de los sondeos más profundos realizados en la zona (Cuevas Blancas de 700 m, Los Corralillos y el Toscal de 500 m) llegan a encontrar terrenos que por su baja permeabilidad se puedan considerar como la base impermeable del conjunto.

La variedad de texturas, estructuras, composición petroquímica y procesos postvolcánicos de los materiales que integran el acuífero, conlleva una gran variedad de tipos de permeabilidad, que puede variar dentro de un mismo material según la posición que ocupe en la formación:

Las coladas lávicas son permeables por fracturación (diaclasas) o porosidad, pero en los tramos de techo y muro (escorias de techo, cascajo de base) son permeables por porosidad.

Los materiales de proyección aérea son porosos, pero su permeabilidad depende de la conexión entre los poros (materiales soldados o no) y de su posterior diaclasamiento.

Los cuerpos intrusivos (diques, sills, pitones, domos) son permeables por fisuración, pero con menos permeabilidad que sus homólogos subaéreos.

Los almagres (suelos cocidos situados entre coladas) son de baja o muy baja permeabilidad.

En general, la permeabilidad de los materiales volcánicos puede variar hasta en cuatro órdenes de magnitud, incluso dentro de un mismo tipo de material.

Los materiales sedimentarios (aluviones, terrazas, piedemontes, coluviales, arenas eólicas y de playa, etc.) son permeables por porosidad. En general, son de permeabilidad media pues tienen poca arcilla en su matriz, pero están mal clasificados.

En su conjunto, a escala macro, la permeabilidad de las formaciones tiende a disminuir en función de la complejidad que alcance su estructura, ya que la permeabilidad del conjunto está gobernada por sus estructuras menos permeables.

Como resultado de todo lo que antecede se puede decir que, al igual que en los otros sectores de la Isla, en la zona de estudio el acuífero es libre, de baja-media permeabilidad, altamente heterogéneo, anisótropo en la vertical y en la horizontal y, presumiblemente, de un gran espesor no determinado.

7.3. Piezometría

Los niveles piezométricos se miden en los propios pozos de explotación. En la mayoría de los casos están afectados por los bombeos recientes efectuados en el pozo, lo que les resta un cierto grado de representatividad del estado de equilibrio del acuífero.

En general, no se efectúan medidas regulares de niveles, sino que estas responden a campañas generales para estudios concretos: 1970-75 para SPA-15, 1980-82 para MAC-21, 1990-93 para el Plan Hidrológico. La última campaña data de 1997-99 y afecta solamente a la mitad norte de la zona de estudio.

Una cuestión de fondo que subyace en todos los estudios piezométricos realizados en la isla de Gran Canaria, es la diferenciación entre niveles estáticos, no afectados significativamente por los bombeos en el propio pozo, y niveles dinámicos afectados por el bombeo. La mayor o menor representatividad de unos u otros depende, en primer lugar, de los objetivos perseguidos por el estudio en cada caso particular y, en segundo lugar, de las circunstancias de cada zona concreta. En zonas con gran densidad de pozos y con bombeos muy continuados a lo largo del tiempo, los niveles dinámicos pueden ser muy representativos de la piezometría de la zona; si la densidad de pozos es pequeña y hay intervalos de tiempo significativos sin bombeo, los niveles estáticos serán más representativos de la piezometría regional.

En este informe se han utilizado sucesivamente los dos tipos de niveles con la hipótesis de que en las Medianías y en las Cumbres (principal zona de recarga) los niveles estáticos son los más representativos para definir el estado del acuífero, mientras que la Zona Baja son los niveles dinámicos los más representativos.

7.3.1. Mapas de isopiezas según niveles estáticos

En las figuras I.5 a I.7 se representan las isopiezas del acuífero trazadas atendiendo a los niveles considerados supuestamente estáticos medidos en los pozos, correspondientes a los períodos 1980-81, 1990-93 y 1997-99.

Desde las cumbres hasta llegar a la isopieza 100, la piezometría es similar en los tres periodos. Desde las cumbres hasta la isopieza 500 se observa un gradiente horizontal muy alto (superior a 0,10) indicativo de una baja permeabilidad del conjunto. Por debajo de la isopieza 500 dicho gradiente se reduce a la mitad (0,05).

Por debajo de la isopieza 100 es donde se producen diferencias apreciables en los tres períodos mencionados.

En el período 1980-81 la isopieza cero se dibuja con claridad en la parte SE de la zona, adoptando una morfología lobulada desde Aguimes, Vecindario, Pozo Izquierdo, Juan Grande, acomodándose al curso ascendente del Barranco de Tirajana. La superficie con cota piezométrica negativa es de unos 60 km², diferenciándose dos conos de depresión cuyos vértices se sitúan uno, entre Agüimes y Cruce de Arinaga, y otro próximo al Barranco de Tirajana.

En el período 1990-93 se expande el área con cotas piezométricas negativas antes descrita hasta alcanzar una superficie de 70 km². En las proximidades de Telde se observan pozos con cota piezométrica negativa, entremezclados con otros con cota piezométrica positiva, sin que se puedan definir con precisión las zonas con piezometría por debajo del nivel del mar.

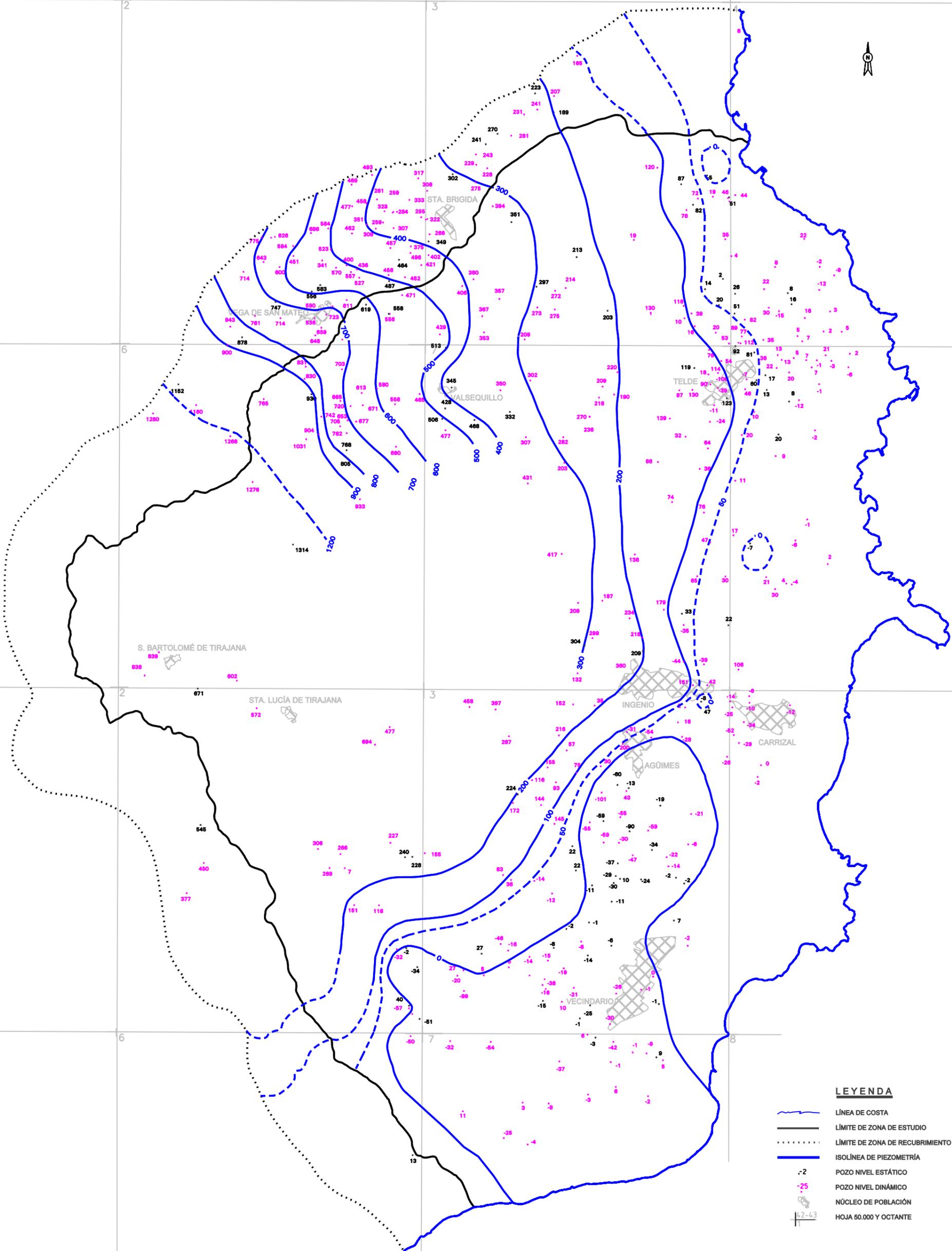
En el período 1997-99, los datos disponibles se limitan a la zona situada al norte de Carrizal. Las áreas con cota piezométrica negativa se han reducido respecto al período anterior y se agrupan alrededor del núcleo urbano de Telde.

7.3.2. Mapas de isopiezas según niveles dinámicos

Para estudiar con detalle la piezometría en la franja costera con problemas de sobreexplotación y de intrusión marina, se procedió a trazar nuevos planos de isopiezas de la Zona Baja atendiendo a los niveles dinámicos, que son más representativos para estudiar la intrusión marina. A su vez se diferenció entre pozos con cota de fondo negativa y pozos con cota de fondo positiva, lo que equivalía a dibujar para la misma zona dos familias de líneas isopiezas.

Se analizaron los períodos 1980-82, 1985-87, 1990-93 y 1997-99 (figuras I.8 a I.11). Además, para completar el análisis piezométrico se elaboraron 11 cortes piezométricos de detalle, 9 transversales y 2 paralelos a la costa. Como ejemplo, se representan los cortes III y A en las figuras I.12 y I.13.

Las principales conclusiones se resumen en:



LEYENDA

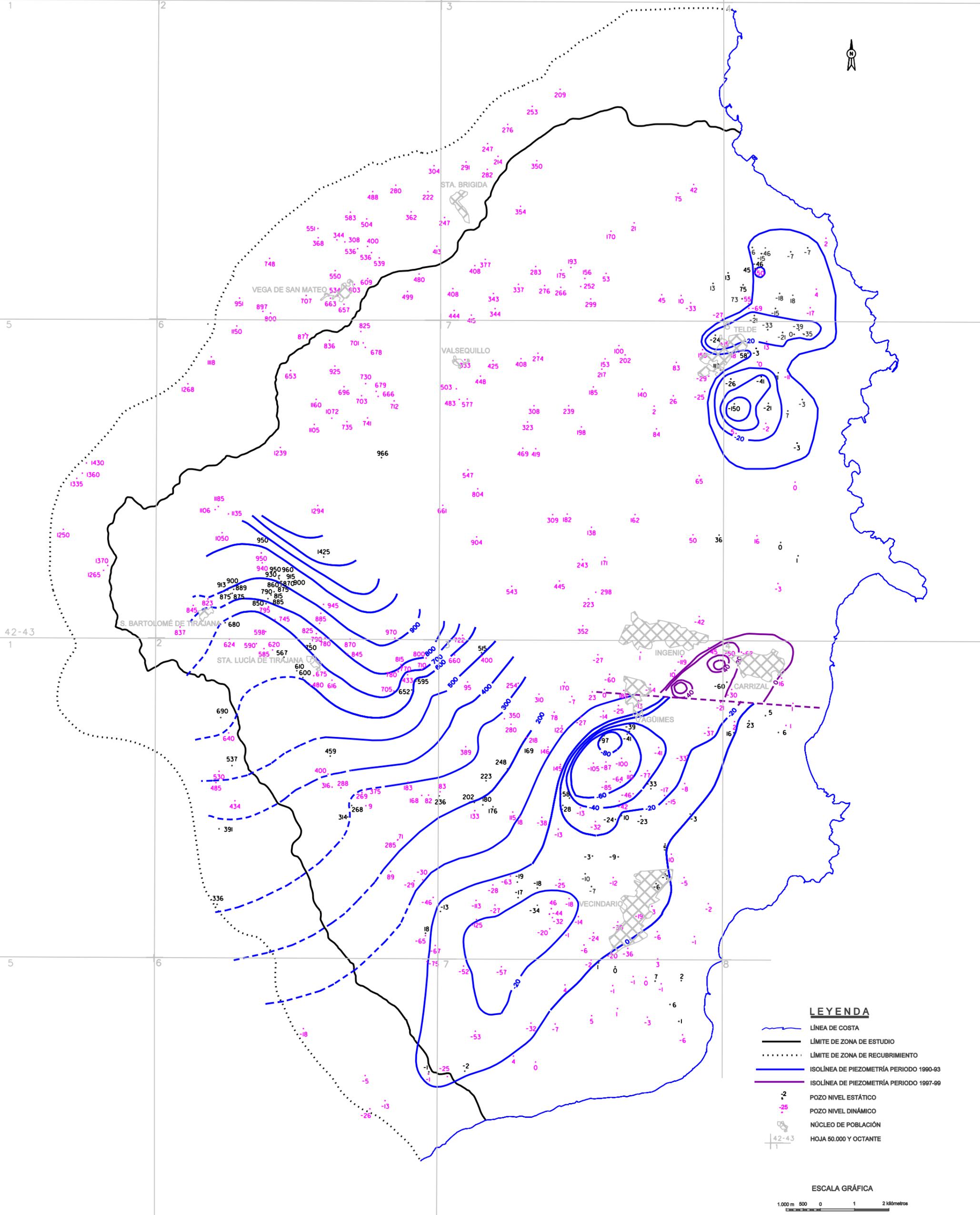
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
-  ISOLÍNEA DE PIEZOMETRÍA
-  -2 POZO NIVEL ESTÁTICO
-  -25 POZO NIVEL DINÁMICO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN
-  HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA



Fig. I.5 ISOLÍNEAS DE NIVELES ESTÁTICOS 1980 - 81

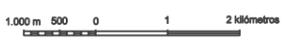
Fig. I.6 ISOLÍNEAS DE NIVELES ESTÁTICOS 1990 - 93

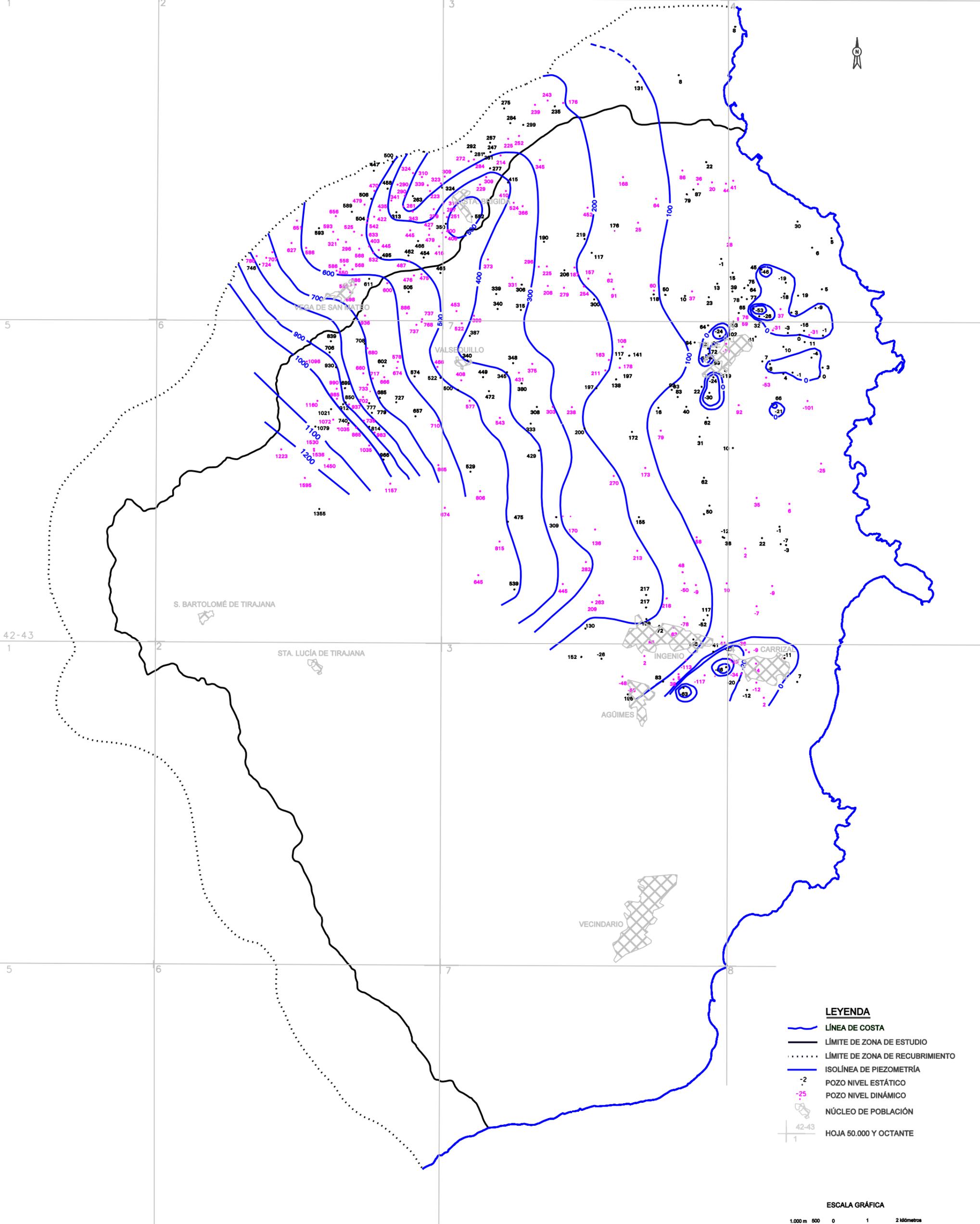


LEYENDA

- LÍNEA DE COSTA
- LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
- LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
- ISOLÍNEA DE PIEZOMETRÍA PERIODO 1990-93
- ISOLÍNEA DE PIEZOMETRÍA PERIODO 1997-99
- POZO NIVEL ESTÁTICO
- POZO NIVEL DINÁMICO
- NÚCLEO DE POBLACIÓN
- HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA





- LEYENDA**
- LÍNEA DE COSTA
 - LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
 - LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
 - ISOLÍNEA DE PIEZOMETRÍA
 - POZO NIVEL ESTÁTICO
 - POZO NIVEL DINÁMICO
 - NÚCLEO DE POBLACIÓN
- 42-43
1

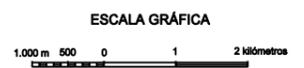
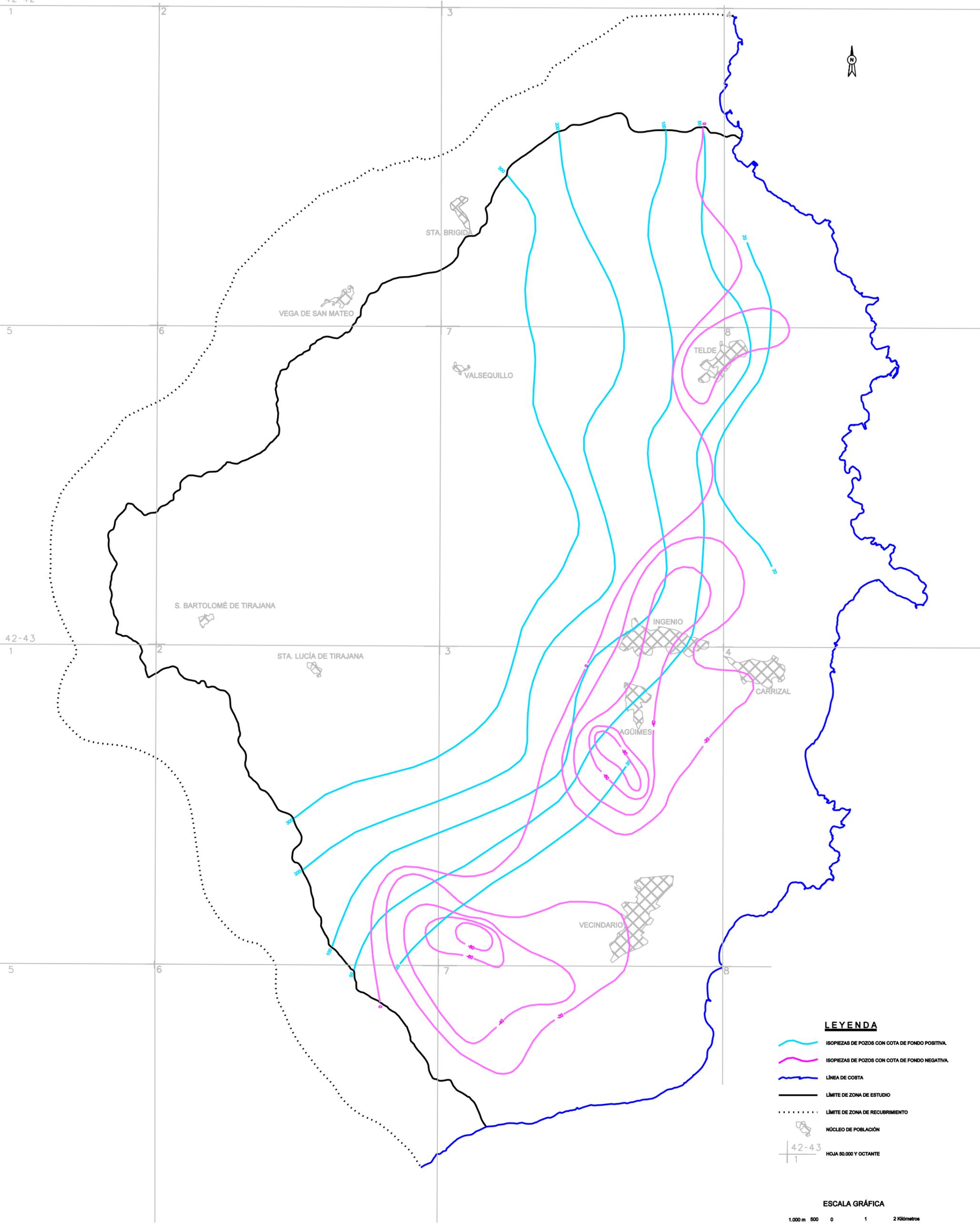


Fig. I.7 ISOLÍNEAS DE NIVELES ESTÁTICOS 1997 - 99



LEYENDA

-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO POSITIVA.
-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA.
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN

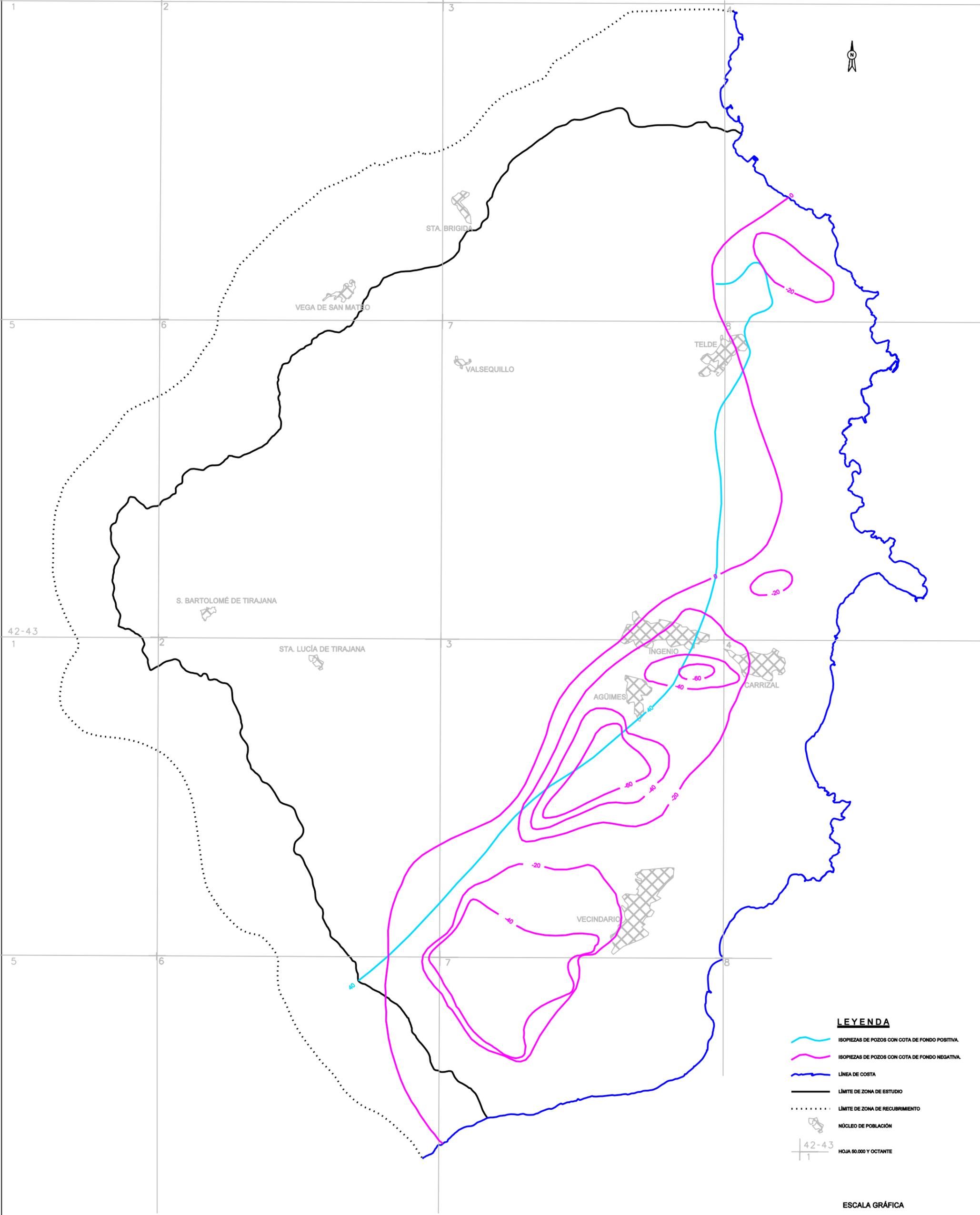
42-43
HOJA 50.000 Y OCTANTE
1

ESCALA GRÁFICA

1.000 m 500 0 1 2 Kilómetros

Fig. I.8 ISOLÍNEAS DE NIVELES DINÁMICOS 1980 - 82

42-42



42-43

LEYENDA

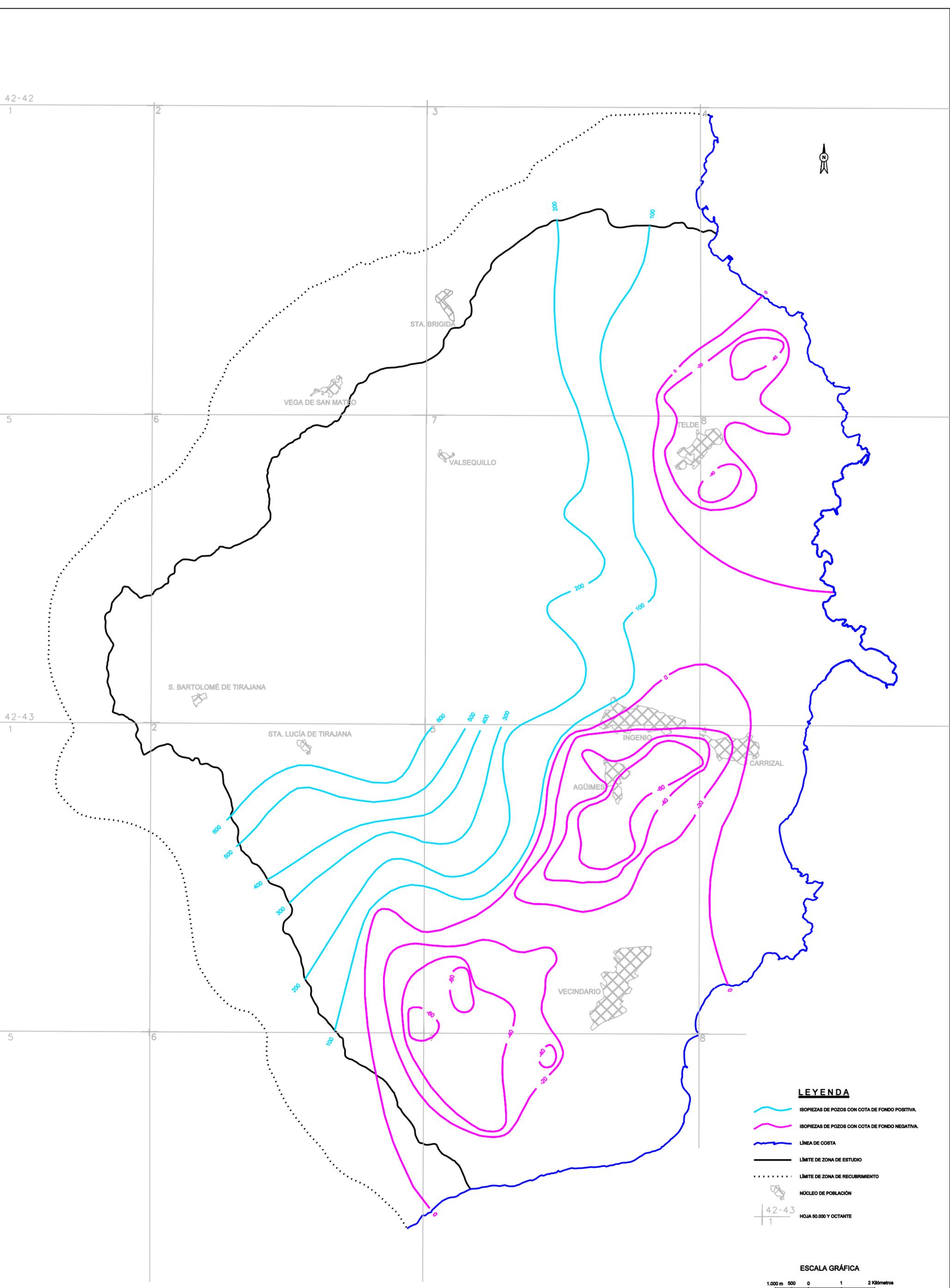
-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO POSITIVA.
-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA.
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECURRIMIENTO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN

42-43
1
HOJA 80.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA

1.000 m 500 0 1 2 Kilómetros

Fig. I.9 ISOLÍNEAS DE NIVELES DINÁMICOS 1985 - 87



LEYENDA

-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO POSITIVA.
-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA.
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECURRIMIENTO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN

42-43
1
HOJA 50.000 Y OCTANTE

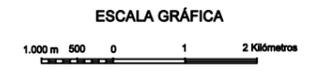
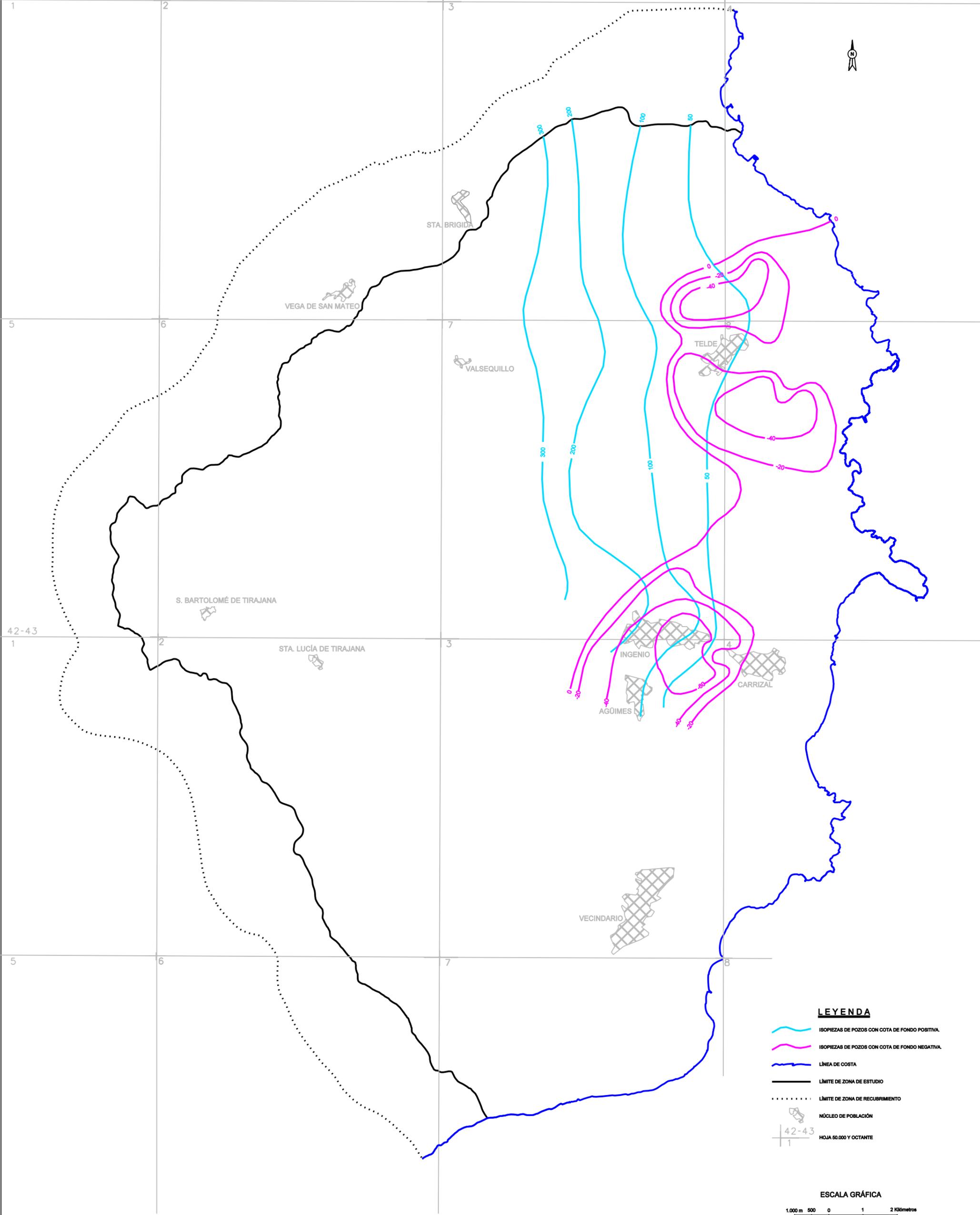


Fig. I.10 ISOLÍNEAS DE NIVELES DINÁMICOS 1990 - 93

42-42



LEYENDA

-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO POSITIVA.
-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA.
-  LINEA DE COSTA
-  LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LIMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN

42-43
1

ESCALA GRÁFICA

1.000 m 500 0 1 2 Kilómetros

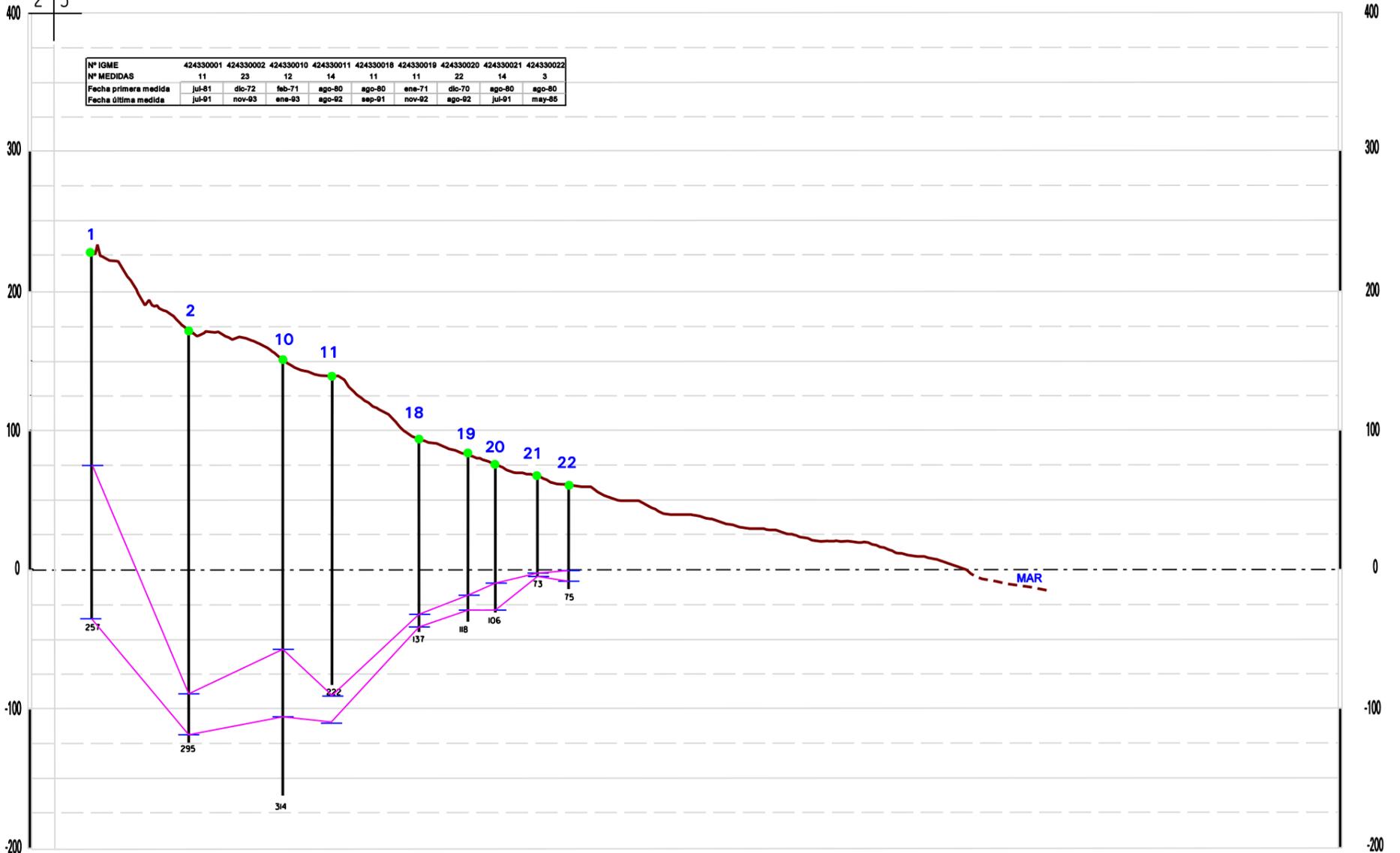
Fig. I.11 ISOLÍNEAS DE NIVELES DINÁMICOS 1997 - 99

4243

2 | 3

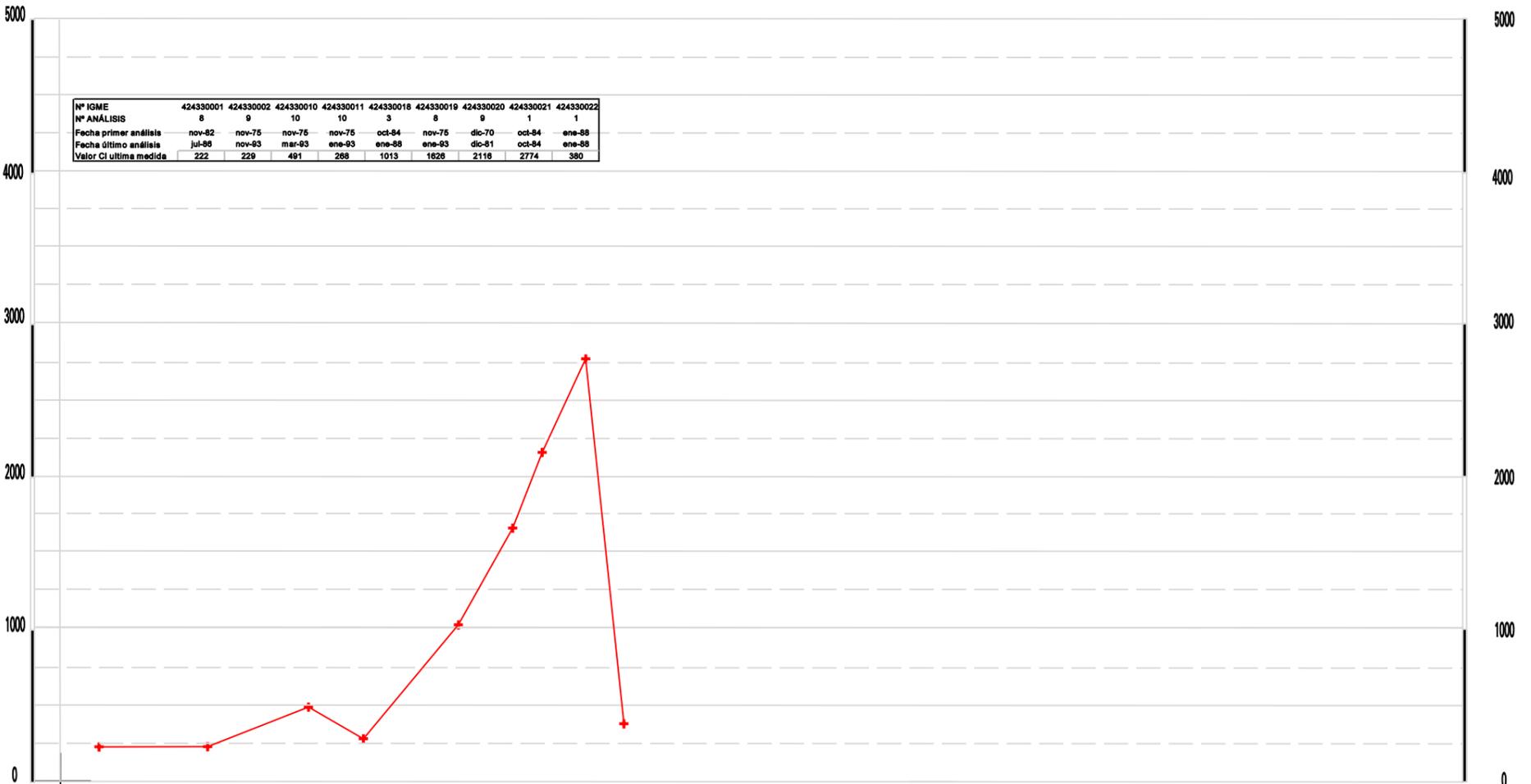
m s.n.m.

N° IGME	424330001	424330002	424330010	424330011	424330018	424330019	424330020	424330021	424330022
N° MEDIDAS	11	23	12	14	11	11	22	14	3
Fecha primera medida	jul-81	dic-72	feb-71	ago-80	ago-80	ene-71	dic-70	ago-80	ago-80
Fecha última medida	jul-91	nov-93	ene-93	ago-92	sep-91	nov-92	ago-92	jul-91	may-85



Cloruros
mg/l

N° IGME	424330001	424330002	424330010	424330011	424330018	424330019	424330020	424330021	424330022
N° ANÁLISIS	8	9	10	10	3	8	9	1	1
Fecha primer análisis	nov-82	nov-75	nov-75	nov-75	oct-84	nov-75	dic-70	oct-84	ene-88
Fecha último análisis	jul-86	nov-93	mar-93	ene-93	ene-88	ene-93	dic-81	oct-84	ene-88
Valor Cl última medida	222	229	491	268	1013	1628	2116	2774	380



LEYENDA

- 135 N° Registro IGME
 - Nivel Piezométrico máximo
 - Nivel Piezométrico mínimo
 - 223 Profundidad (m)
 - Nivel Piezométrico capa superior
 - Nivel Piezométrico capa inferior
 - + Cloruros mg/l
- (Datos correspondientes al último análisis)

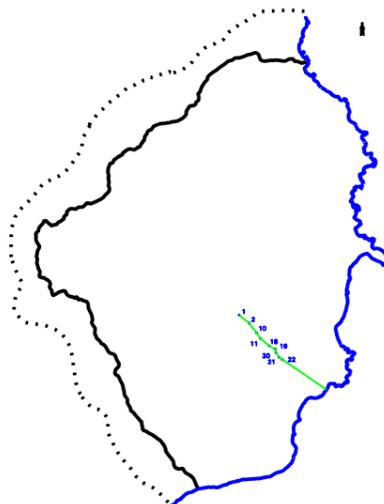


Fig. I.12 CORTE PIEZOMÉTRICO III - III'

En la zona de Telde se diferencia una capa acuífera superficial con piezometría por encima de la cota cero, superpuesta a otra más profunda con isopiezas negativas. Esta última es más importante que la primera en cuanto a extracciones de agua subterránea. Entre 1980-82 y 1985-87 no se aprecia una variación piezométrica de importancia. A partir de 1985-87 hasta 1997-99, la situación piezométrica de la capa profunda se deteriora (mayores embudos y más profundos) sin que se aprecien alteraciones sustanciales en la capa superficial.

En la zona de Ingenio-Agüimes la capa acuífera superficial tiene carácter testimonial con pequeño interés práctico desde el punto de vista de la explotación de las aguas subterráneas. La capa profunda tiene niveles piezométricos negativos desde 1980-82, que crecen moderadamente en extensión hasta un máximo en 1990-93, permaneciendo aparentemente invariable hasta 1997-99 según los datos disponibles para la zona.

En la zona de Santa Lucía-San Bartolomé de Tirajana la depresión piezométrica de la capa profunda, detectada ya en 1970-75 por el SPA-15, permanece sin cambio significativo desde 1980-82 hasta 1990-93, no disponiendo de datos posteriores a esta fecha.

Entre las zona de Telde y de Ingenio-Agüimes, se distingue una Zona de transición, sin embudos piezométricos significativos, en la que los niveles oscilan en todos los períodos analizados alrededor de la cota 0.

Los desplazamientos de los embudos piezométricos en cualquiera de las zonas descritas responden a relocalizaciones de los bombeos.

La evolución de las superficies ocupadas por las depresiones piezométricas ha sido la siguiente:

CUADRO I.19

EVOLUCIÓN DE LAS SUPERFICIES CON COTAS PIEZOMÉTRICAS NEGATIVA, SEGÚN NIVELES DINÁMICOS

ZONA INGENIO-AGÜIMES

Cotas	Superficies (km ²)			
	1980-82	1985-87	1990-93	1997-99
Entre -20 y -40 m	16,5	15,5	10,4	--
Entre -40 y -60 m	8,2	5,5	5,0	--
Menor que -60 m	2,2	4,1	5,7	---

ZONA SANTA LUCÍA-SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA

Cotas	Superficies (km ²)			
	1980-82	1985-87	1990-93	1997-99
Entre -20 y -40 m	13,3,	9,3	11,4	--
Entre -40 y -60 m	9,1	11,4	10,7	--
Menor que -60 m	2,2	0	1,5	---

ZONA DE TELDE

Cotas	Superficies (km ²)			
	1980-82	1985-87	1990-93	1997-99
Entre -20 y -40 m	4,1	2,5	9,9	10,3
Entre -40 y -60 m	0	0	2,3	6,1
Menor que -60 m	0	0	0	0

TOTAL ZONA ESTUDIADA

Cotas	Superficies (km ²)			
	1980-82	1985-87	1990-93	1997-99
Entre -20 y -40 m	33,9	27,3	31,7	--
Entre -40 y -60 m	17,3	16,9	18,0	--
Menor que -60 m	4,4	4,1	7,2	--

En general, la situación piezométrica mejora entre 1980-82 y 1985-87 empeorando en 1990-93. Telde acentúa su situación negativa entre 1990-93 y 1997-99.

7.3.3. Gradientes y flujos horizontales y verticales

El modelo matemático de simulación del flujo subterráneo de la isla de Gran Canaria, realizado en 1983 en el marco del Proyecto MAC-21, dejó claramente demostrado que el esquema general del flujo insular, dada la topografía y el reparto de las áreas de recarga y descarga en la misma, responde a un flujo tridimensional. Ello implica la existencia de componentes horizontales y verticales del flujo subterráneo, o lo que es lo mismo, la existencia de gradientes horizontales y de gradientes verticales.

Ya se ha comentado anteriormente que, en planta se diferencian dos áreas en función de los gradientes hidráulicos horizontales: una que se extiende desde las cumbres hasta la isopieza 500 m, en la que el gradiente medio es superior a 0,10; y, otra desde la isopieza 500 m hacia el mar en la que el gradiente medio se sitúa en torno a 0,05.

En cuanto a los gradientes verticales haría falta disponer de sondeos especialmente diseñados, con piezómetros múltiples capaces de medir niveles

piezométricos correspondientes a puntos situados a distintas profundidades, o grupos de piezómetros próximos cada uno de los cuales midiera el nivel a una determinada profundidad. La realidad es muy distinta y sólo es posible estimar groseramente los gradientes verticales a partir de los niveles medidos en pozos próximos cuyas cotas de fondo del pozo sean sustancialmente distintas. Con estas series de medidas se ha llegado a determinar que en la mayor parte de la zona estudiada las componentes verticales del flujo son descendentes y que los gradientes verticales pueden ser superiores a 1,0. En teoría deberían encontrarse flujos verticales ascendentes cerca de la costa. No ha sido así debido, sin duda, a que el flujo natural está muy distorsionado por el bombeo.

7.4. Parámetros hidráulicos

Permeabilidad, transmisividad, anisotropía y coeficiente de almacenamiento son los principales parámetros que definen las capacidades de un acuífero para transmitir y almacenar agua.

En la Zona Este de Gran Canaria los parámetros hidráulicos se han medido en los pozos de bombeo. Pese a las limitaciones que imponen sus características constructivas, los ensayos de bombeo y los ensayos de recuperación, constituyen el método más adecuado para su determinación.

En la Zona se dispone de 107 ensayos de bombeo que interpretados por los métodos de Theis y Jacob, arrojan los resultados de la transmisividad, en m²/día que agrupados por formaciones se resumen en el cuadro I.20. La media de los 107 ensayos es de 39 m²/día, que podría corresponder a una permeabilidad media de 0,4 m/día. Los valores obtenidos se mueven en el intervalo 0,01-1,50 m/día.

CUADRO I.20

RESUMEN ESTADÍSTICO DE TRANSMISIVIDADES EN m²/día OBTENIDAS A PARTIR DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

	Tamaño muestra	Media	Mediana	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Post Roque Nublo	15	32,9	20,0	39,5	3	154
Roque Nublo	37	58,1	17,0	139,7	1	790
F. Detrítica Las Palmas	8	32,1	24,5	24,8	11	90
Formación Sálica	12	12,6	8,0	10,3	3	36
F. Traqui Riolítica	3	63,7	91,0	50,0	6	94
Formación Fonolítica.	19	29,7	13,0	36,3	2	126
Basaltos Antiguos.	13	30,6	31,0	17,0	5	58

Un parámetro práctico que mide la capacidad de producción de un pozo es su caudal específico que se define como el caudal que proporciona un pozo (en litros/segundo) por cada metro de descenso del nivel en el mismo durante el bombeo. Los valores de caudales específicos relativos a la zona de estudio, agrupados por formaciones geológicas, se resumen en el cuadro I.21.

CUADRO I.21

**RESUMEN DE CAUDALES EN l/sq POR METRO DE DESCENSO
ESPECÍFICOS DE POZOS, SEGÚN
FORMACIONES GEOLÓGICAS**

	Tamaño muestra	Media	Valor mínimo	Valor máximo
Post Roque Nublo	5	0,21	0,09	0,55
Roque Nublo	24	0,16	0,01	0,48
F. Detrítica Las Palmas	4	0,66	0,06	1,33
Formación Sálca	9	0,22	0,03	1,29
F. Traqui Riolítica	--	--	--	--
Formación Fonolítica.	23	0,24	0,02	0,90
Basaltos Antiguos.	12	0,37	0,03	1,98

En la zona de estudio, y en general en toda la isla de Gran Canaria, tiene interés conocer la anisotropía vertical de las permeabilidades, es decir, el valor de K_z/k_h siendo K_z la permeabilidad vertical y K_h la permeabilidad horizontal. No se dispone de medidas directas de este parámetro, no obstante, el modelo matemático de simulación del flujo tridimensional realizado en el proyecto MAC-21, se ajustó con anisotropías verticales iguales a 1:100, es decir, una permeabilidad vertical cien veces inferior a la horizontal. Se explica esta fuerte anisotropía por la alternancia de capas más y menos permeables y por la intercalación de algares de baja a muy baja permeabilidad, aunque de pequeño espesor.

El coeficiente de almacenamiento es el parámetro que define la capacidad del acuífero para almacenar o liberar agua de las reservas cuando el nivel piezométrico desciende o asciende un metro. Por tratarse de un acuífero libre el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad eficaz de los materiales. No se conocen medidas directas de este parámetro, habiéndose determinado, mediante el ajuste del modelo matemático en régimen transitorio, que su valor a nivel de formaciones geológicas oscila entre 0,02 atribuido como valor medio a los Basaltos Antiguos y 0,07 a la Formación Roque Nublo.

7.5. Modelo hidrogeológico conceptual. Áreas de recarga y descarga

El modelo hidrogeológico conceptual de un acuífero permite dar una explicación coherente de su funcionamiento hidráulico y del flujo subterráneo observado, que en régimen permanente dependen en última instancia de cuatro variables fundamentales: la geometría del acuífero, la naturaleza hidráulica de sus límites,

la distribución relativa de las permeabilidades y la distribución y cuantía de las recargas y descargas del acuífero. El régimen transitorio depende, además, del coeficiente de almacenamiento.

El análisis de las variables enunciadas, realizado principalmente en los capítulos II a VII del presente estudio, conduce a los siguientes hechos relevantes:

Primero. Los límites del acuífero por el norte, sur y oeste equivalen a límites impermeables a través de los cuales es nulo el flujo subterráneo. Por el este el mar actúa como un límite de nivel constante. En profundidad se desconoce la situación del sustrato impermeable, pero debe encontrarse gran profundidad. En planta la zona estudiada adopta la forma aproximada de un sector circular. La diferencia de cota topográfica entre el vértice del sector y el arco de costa es del orden de 1.500 m.

Los materiales se disponen en capas subhorizontales, no sometidas a pliegues ni fallas, con buzamiento general hacia el mar.

Segundo. Las macroestructuras al nivel de formaciones geológicas se muestran como una matriz de materiales que cubren una amplia gama de permeabilidades, entrecruzados por capas subhorizontales y, en menor extensión subverticales, de baja o muy baja permeabilidad, que reducen la permeabilidad del conjunto y, al mismo tiempo le confieren una fuerte anisotropía en sentido vertical. Probablemente podría detectarse una anisotropía, aunque menos acusada, en el plano horizontal.

En superficie predominan los materiales permeables con una apreciable capacidad de infiltración del agua de lluvia.

Tercero. El régimen pluviométrico predominante en la Isla, con lluvias concentradas en los meses de otoño-invierno y un aumento de las precipitaciones desde la costa hacia el interior según se asciende en altitud, configura una recarga del acuífero por infiltración del agua de lluvia que alcanza sus valores máximos en la zona de las Cumbres, disminuyendo según se desciende en altitud hasta quedar prácticamente anulada en la franja costera, con precipitaciones medias anuales inferiores a 150 mm.

El agua infiltrada en superficie tienen que recorrer un potente paquete de materiales no saturados (que puede oscilar entre 100 y más de 300 m) hasta llegar al nivel freático regional. Este largo recorrido puede durar varios años produciéndose una laminación de los caudales infiltrados en superficie.

Cuarto. La recarga de lluvia concentrada en las Zonas altas, la baja permeabilidad del conjunto, la fuerte anisotropía en sentido vertical, la situación de la base impermeable a gran profundidad y el nivel constante del mar a lo largo del límite este de la zona en estudio, son los principales factores que conducen a un flujo tridimensional como el indicado en la figura I.3. A su vez, la geometría en

planta del sector estudiado, condiciona un flujo en disposición radial desde el vértice del sector hacia la costa.

En condiciones naturales el nivel freático se sitúa próximo a la superficie. La capacidad de transporte del acuífero es inferior al caudal de recarga que recibe en las Zonas Alta y Media originándose, junto al flujo regional profundo que descarga en el mar, flujos locales en superficie que descargan a través de manantiales localizados preferentemente en los fondos de los barrancos, que actúan como líneas de drenaje del acuífero.

En la costa se localiza una interfaz agua dulce-agua salada que se mantiene en un equilibrio dinámico, con avances y retrocesos, en función de la secuencia de períodos húmedos y secos.

Quinto. Cuando se inició la explotación del acuífero mediante pozos y galerías, las nuevas captaciones provocaron descensos del nivel freático. Esto dio lugar a la distorsión de los flujos locales, afectando en primer lugar a los nacientes, lo que produjo una disminución del caudal hasta secarse por completo. El flujo profundo no se vio afectado en las fases iniciales de la explotación, especialmente en lo que se refiere a los gradientes costeros, de modo que durante años las descargas al mar se mantuvieron inalteradas o sólo disminuyeron ligeramente debido a las bajas permeabilidades del conjunto.

En consecuencia, los volúmenes explotados procedían del caudal sustraído a los nacientes y de las reservas almacenadas en el acuífero, pero no (o muy poco) de la descarga de agua dulce al mar. Los datos históricos disponibles surgieron que esta fase inicial abarca grosso modo a la primera mitad del siglo XX.

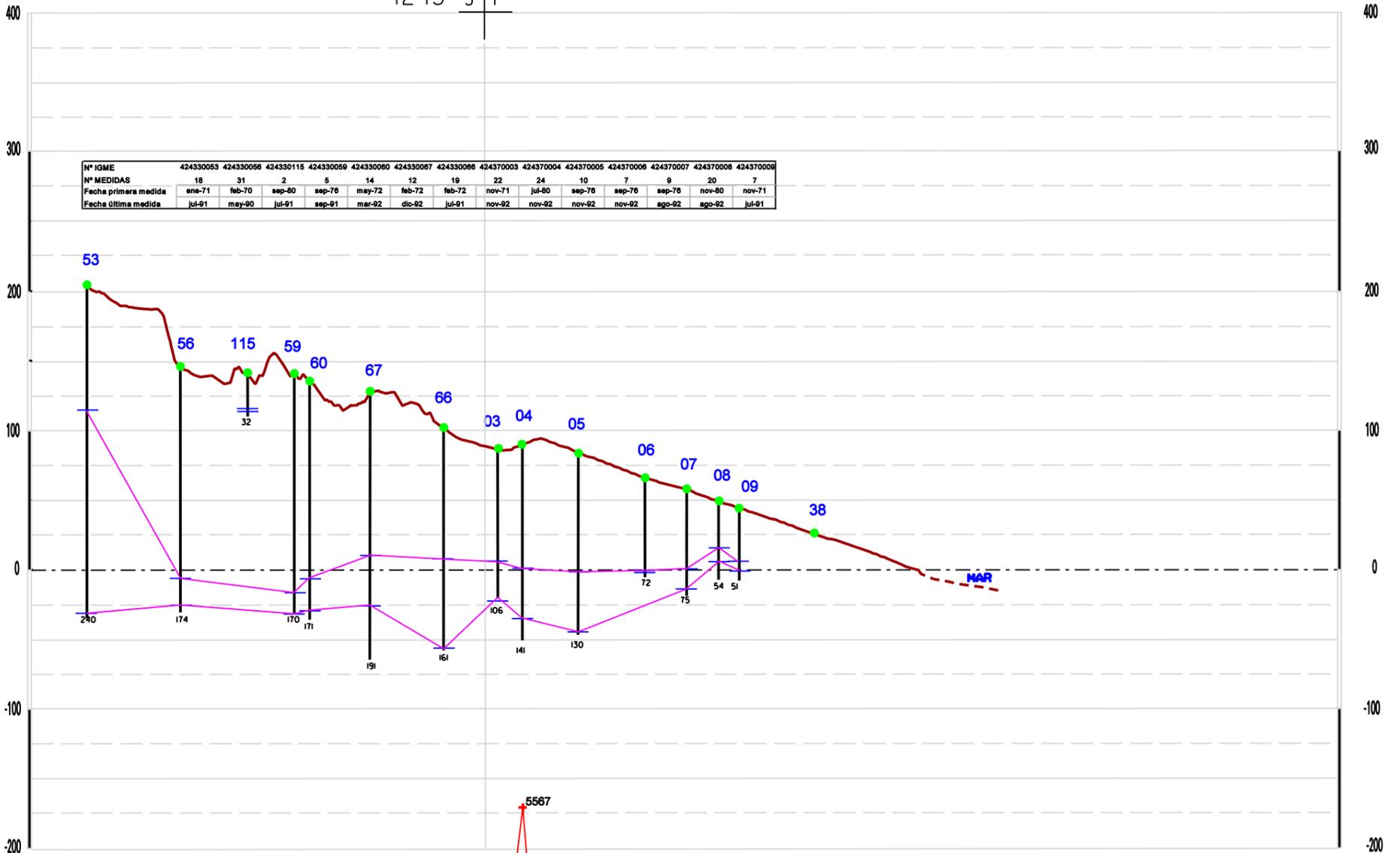
Sexto. Pasada la fase inicial de la explotación (que pudo durar varias décadas) la proliferación de pozos en la zona costera, penetrando muchos de ellos por debajo del nivel del mar, provocó un gran descenso de los niveles piezométricos, hasta alcanzar cotas negativas. Se produce la inversión del flujo subterráneo en la costa, iniciándose los procesos de intrusión marina y salinización del acuífero.

En la zona comprendida entre Carrizal y Juan Grande, los pozos detectan un sólo nivel piezométrico con cotas negativas, que recibe aportaciones ascendentes desde las capas más profundas del acuífero, aportaciones descendentes, procedentes de retornos de riego y fugas en redes urbanas que discurren por terrenos no saturados y aportaciones de agua de mar (figura I.14.).

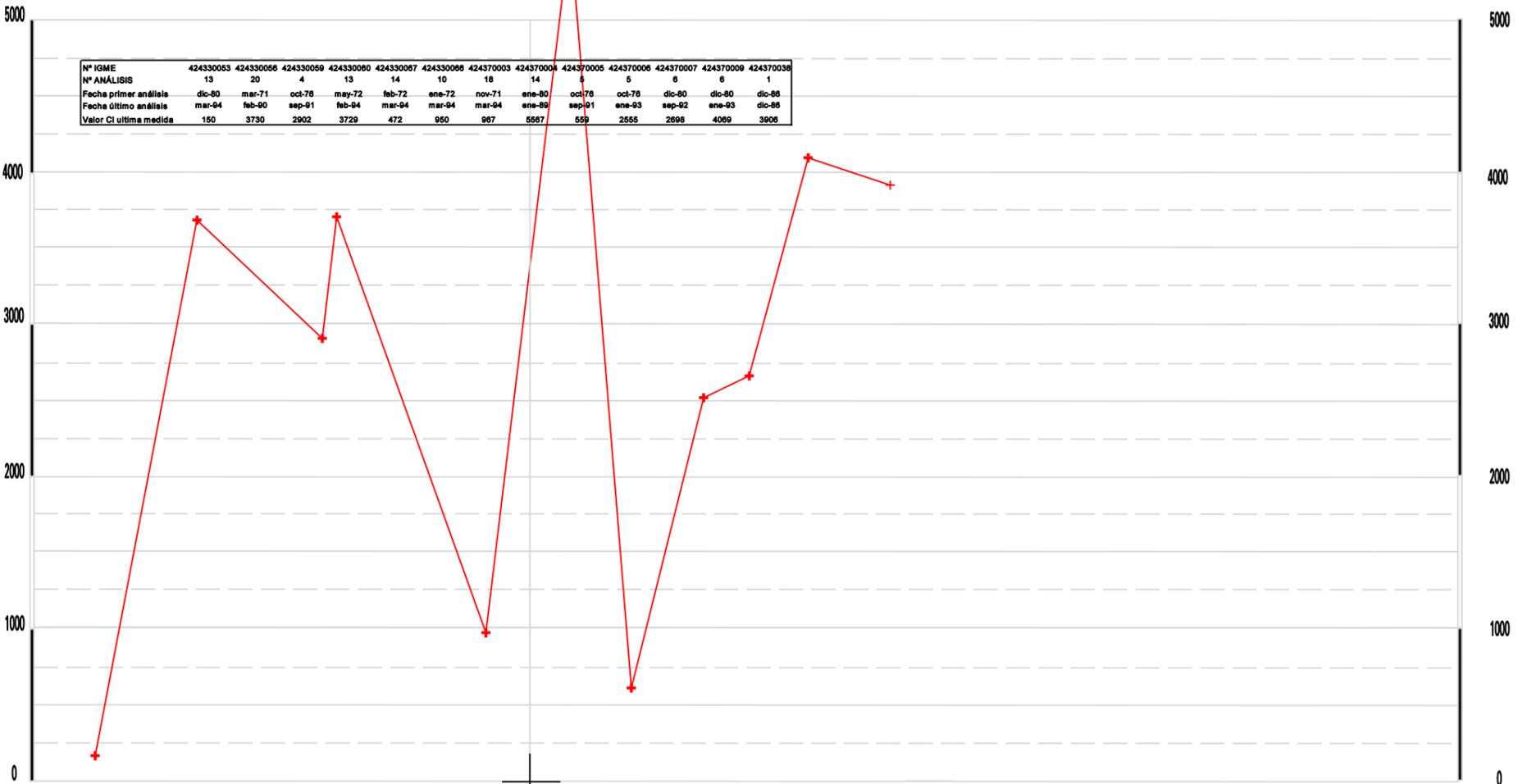
En la zona comprendida entre Agüimes y Telde se diferencia un nivel piezométrico profundo, con cotas negativas correspondientes a los pozos que penetran por debajo del nivel del mar, sujeto también a los procesos de intrusión marina, y un nivel freático superpuesto al anterior, con cotas positivas que corresponde a pozos menos profundos que no alcanzan el nivel del mar. Este nivel freático superficial está alimentado lateralmente por un flujo horizontal procedente del interior (dirección oeste-este) y por las filtraciones procedentes riegos y de abastecimientos urbanos e industriales (figura I.15).

4243 3 | 7

m s.n.m.

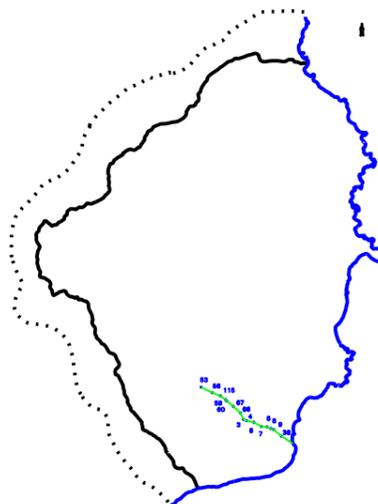


Cloruros
mg/l



LEYENDA

- 135 N° Registro IGME
- Nivel Piezométrico máximo
- Nivel Piezométrico mínimo
- 223 Profundidad (m)
- Nivel Piezométrico capa superior
- Nivel Piezométrico capa inferior
- + Cloruros mg/l
(Datos correspondientes al último análisis)



ESCALA GRÁFICA HORIZONTAL

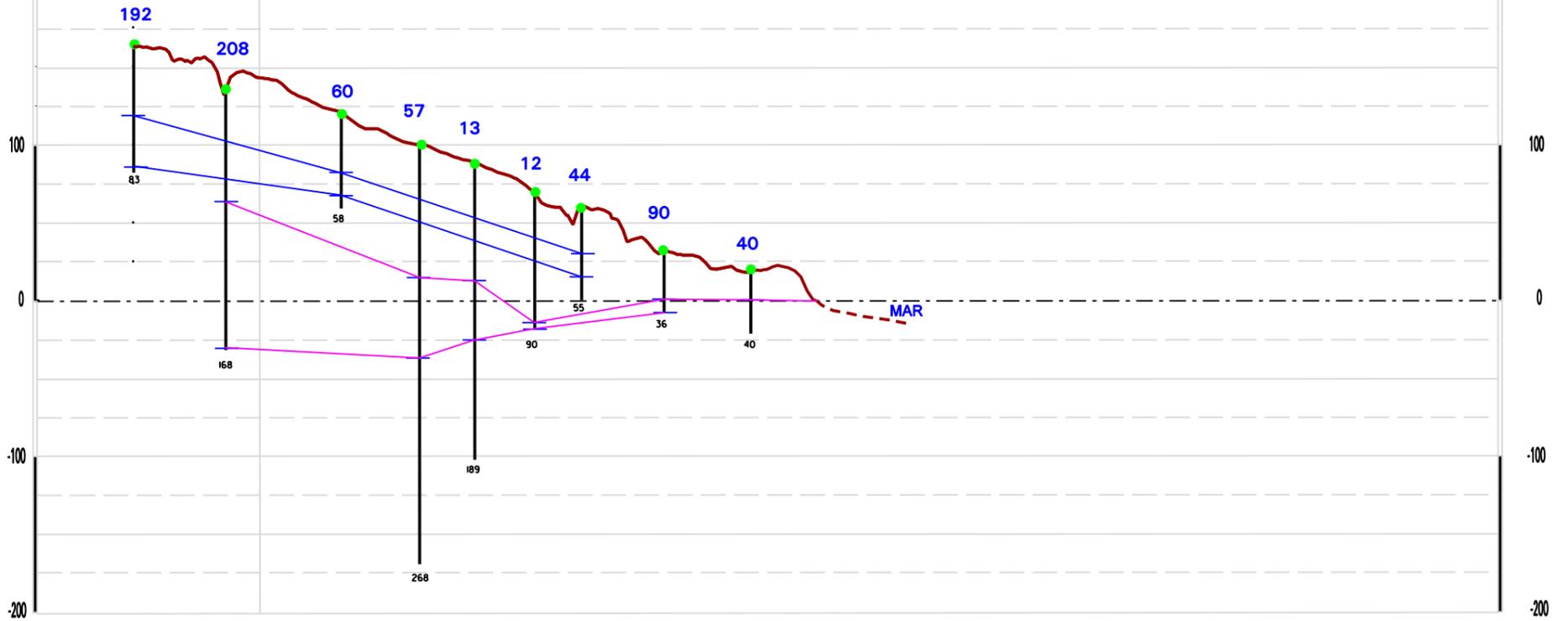


Fig. I.14 CORTE PIEZOMÉTRICO I-I'

4242 7 | 8

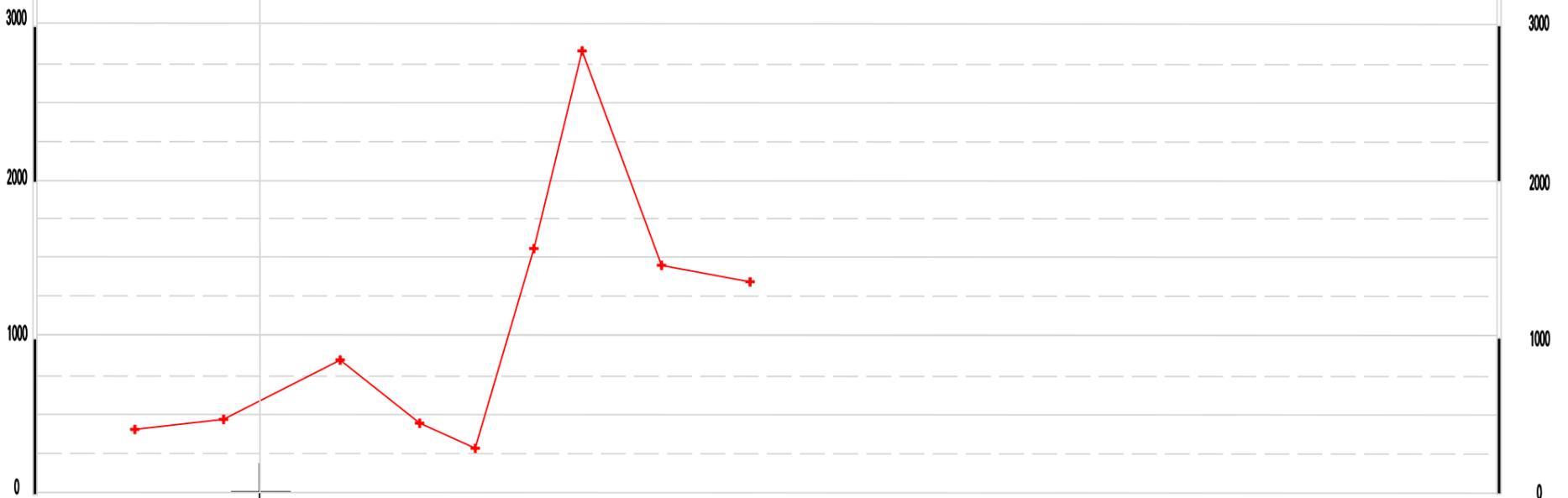
m s.n.m.

N° IGME	424270192	424270208	424280080	424280057	424280013	424280012	424280044	424280090	424280040
N° MEDIDAS	5	5	17	11	8	8	4	1	1
Fecha primera medida	ene-71	ene-81	jul-80	ene-70	dic-72	Jun-85	dic-70	ene-81	Jul-85
Fecha última medida	oct-87	feb-82	dic-90	nov-87	nov-87	oct-87	dic-88	sep-88	Jul-85



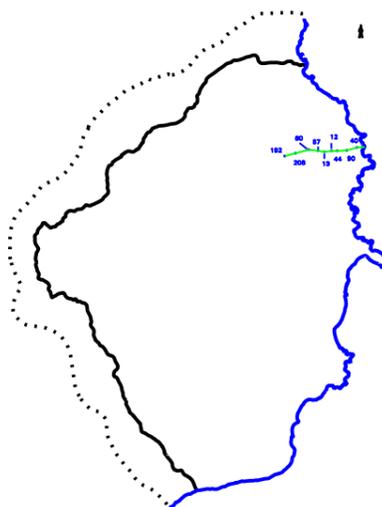
Cloruros mg/l

N° IGME	424270192	424270208	424280080	424280057	424280013	424280012	424280044	424280090	424280040
N° ANÁLISIS	3	2	12	11	6	8	8	2	1
Fecha primer análisis	nov-70	oct-87	ago-78	dic-70	Jun-85	ago-78	dic-70	ago-78	Jul-85
Fecha último análisis	oct-87	sep-88	mar-90	nov-87	nov-87	oct-87	sep-88	sep-87	Jul-85
Valor Cl última medida	399	422	819	433	301	1590	2843	1448	1313



LEYENDA

- 135 N° Registro IGME
 - Nivel Piezométrico máximo
 - Nivel Piezométrico mínimo
 - 223 Profundidad (m)
 - Nivel Piezométrico capa superior
 - Nivel Piezométrico capa inferior
 - + Cloruros mg/l
- (Datos correspondientes al último análisis)



ESCALA GRÁFICA HORIZONTAL



Fig. I.15 CORTE PIEZOMÉTRICO VIII - VIII'

Séptimo. Finalmente, conviene recalcar que desde el punto de vista de la distribución de recargas y descargas se diferencian, dentro del perímetro estudiado, una zona en la que predomina la recarga por infiltración de las lluvias sobre las extracciones de agua subterránea, y una zona de descarga en la que predominan netamente los bombeos sobre las recargas del acuífero. Conceptualmente la zona de recarga se puede hacer coincidir con las zonas de Cumbres y de Medianías, mientras que la zona de descarga coincide con la Zona Baja o Costa. La zona de recarga ocupa una superficie de 216 km² y en ella se origina el 90% de la recarga por lluvia y el 15% de las extracciones. La zona de descarga ocupa 202 km² y en ella se origina el 85% de las extracciones, y tan sólo el 10% de la recarga por lluvia.

8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El estudio de la calidad química del agua permite conocer la distribución espacial de la calidad del agua en el acuífero así como su evolución en el tiempo. Esa caracterización constituye una importante herramienta a la hora de gestionar la explotación de las aguas subterráneas y definir las áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación, que es el objetivo último de este proyecto.

Para ello, se ha realizado una importante labor de recopilación, depuración y análisis de las determinaciones hidroquímicas existentes, obteniendo a su vez la información asociada relativa al pozo y fecha del muestreo.

Como resultado final se han seleccionado 2.765 análisis, pertenecientes a 682 puntos de agua, distribuidos en la zona de estudio y el área de recubrimiento.

8.1. Caracterización geoquímica del agua subterránea

A partir de la información disponible en la BAC (Base de Datos de Agua de Canarias) se ha identificado 1.228 análisis pertenecientes a 203 captaciones en las que se conoce con razonable seguridad la formación geológica de la que se extrae el agua (cuadro I.22).

Los análisis mencionados, agrupados según la formación geológica de la cual se extrae el agua, han servido de base para elaborar gráficos de Piper, Stiff y Schöeller-Berkaloff que permiten clasificar y caracterizar los tipos de aguas existentes y su evolución en el tiempo. Ejemplos de los gráficos mencionados se muestran en las figuras I.16, I.17 y I.18.

CUADRO I.22**DISTRIBUCIÓN DE ANÁLISIS Y CAPTACIONES POR FORMACIONES GEOLÓGICAS**

Formación	Número de captaciones	Número de análisis
Basaltos Antiguos	51	452
Serie Sálica	8	28
Formación Fonolítica	52	308
Formación Roque Nublo	47	172
Formación Detrítica Las Palmas	11	107
Formación Post-Roque Nublo	28	107
Materiales sedimentarios	5	52
Depósitos gravitacionales	1	2
TOTAL	203	1.228

Tras su representación, se ha podido determinar que las aguas pertenecientes a los grupos A, generalmente bicarbonatadas sódicas, están poco mineralizadas, denotan escasa permanencia en el acuífero y corresponden a las zonas de recarga por infiltración de agua de lluvia en las Cumbres y en las Medianías. Los grupos B y C denotan una mayor permanencia en el acuífero, son aguas más evolucionadas, presentan una mineralización progresivamente mayor y se localizan preferentemente en la Zona Baja. Las aguas del grupo D, son las más mineralizadas, se localizan en la costa y, a menudo, presentan indicios de intrusión marina o contaminación por regadíos y efluentes urbanos. Esta diferenciación aparece resumida en el cuadro I.23.

CUADRO I.23**PRINCIPALES GRUPOS DE AGUAS DETECTADOS EN LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS**

FORMACIÓN GEOLÓGICA	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Basaltos Antiguos	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas magnésico-cálcicas	Bicarbonatadas magnésico-cálcicas	--
Serie Sálica	Bicarbonatadas sódicas	Cloruradas sódicas	--	--
Formación Fonolítica	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas cloruradas o sulfatadas sódicas	Cloruradas sódicas	Cloruradas magnésico-sódicas
Formación Roque Nublo	Bicarbonatadas sódicas	Bicarbonatadas cloruradas o sulfatadas sódicas	Cloruradas sódicas	--

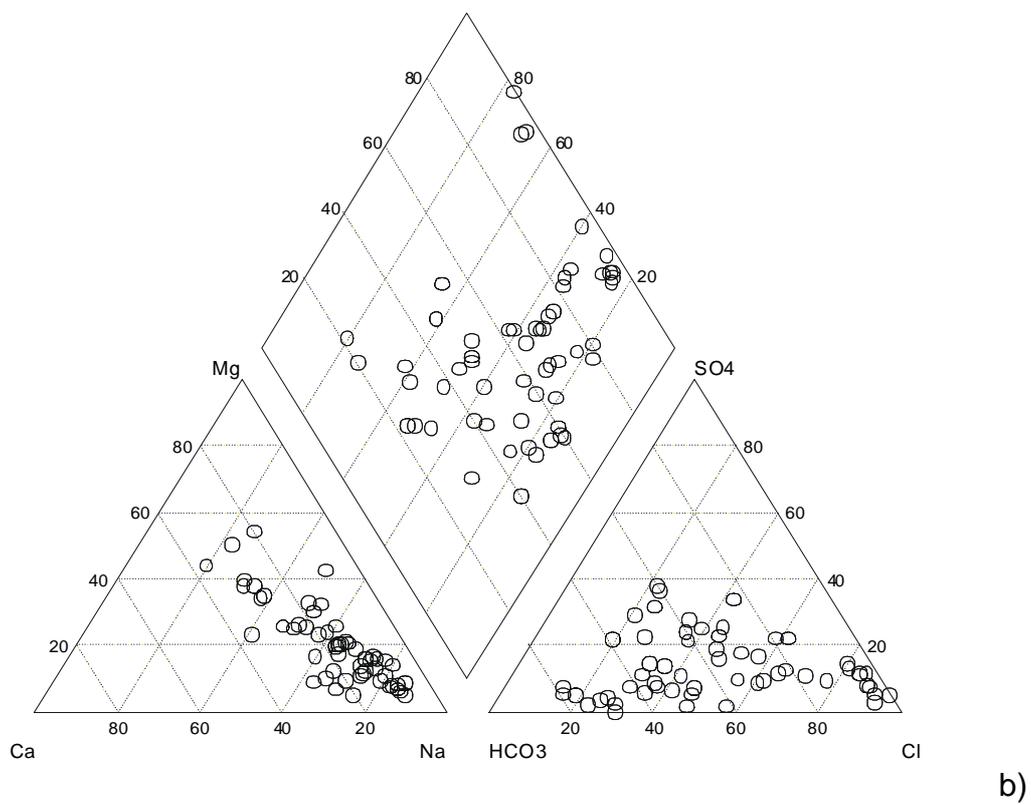
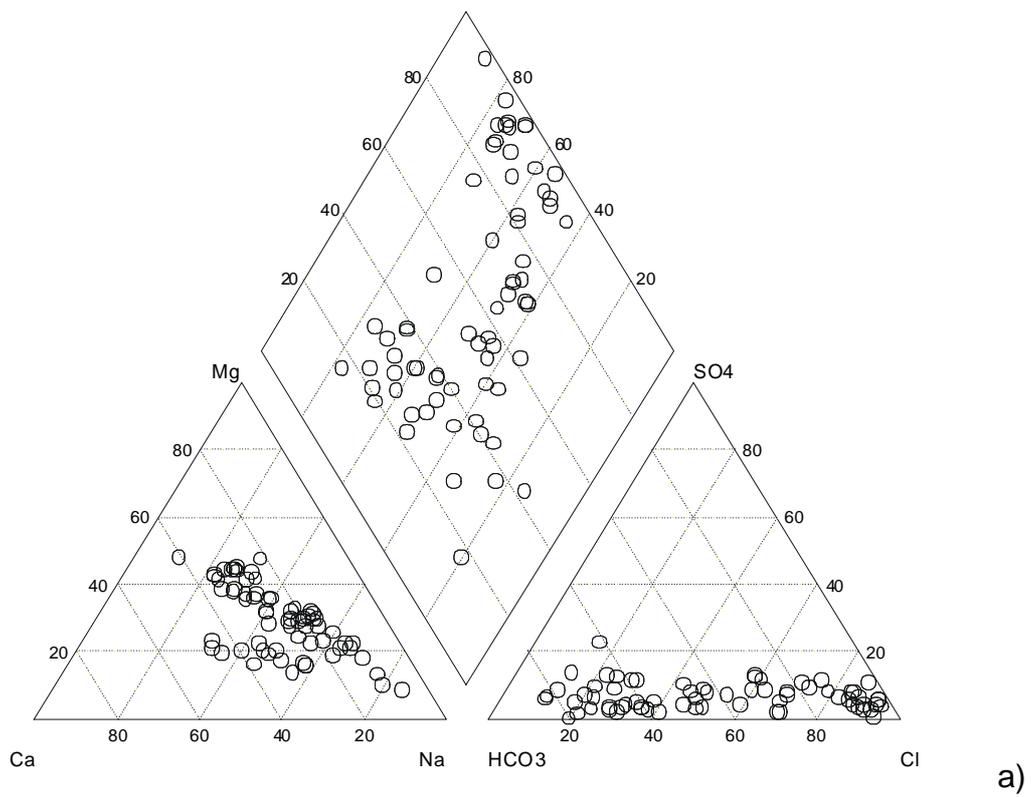


Fig. I.16 DIAGRAMAS DE PIPER DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PROCEDENTES DE:
a) FORMACIÓN BASALTOS ANTIGUOS y b) FORMACIÓN FONOLÍTICA.

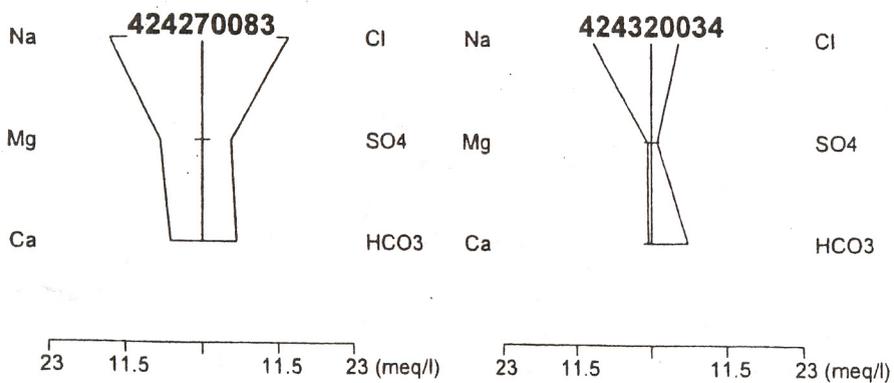
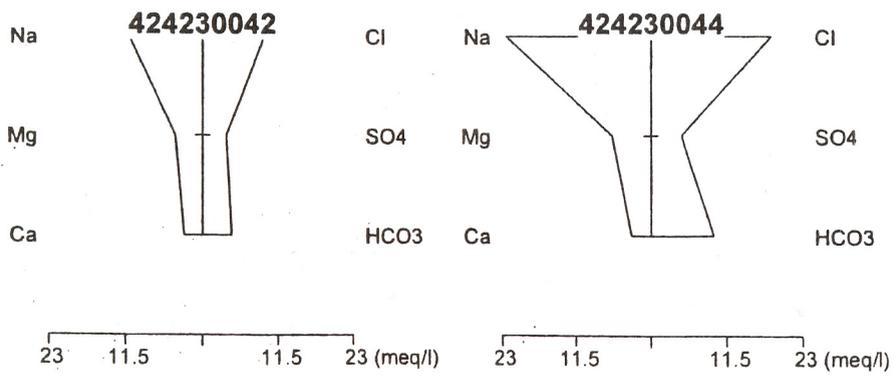
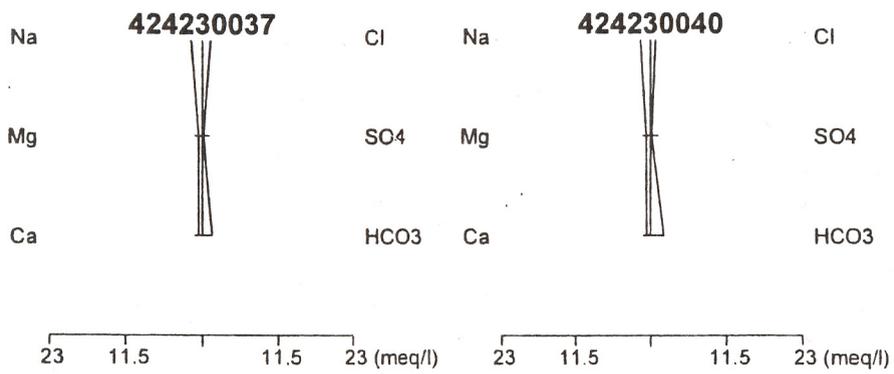
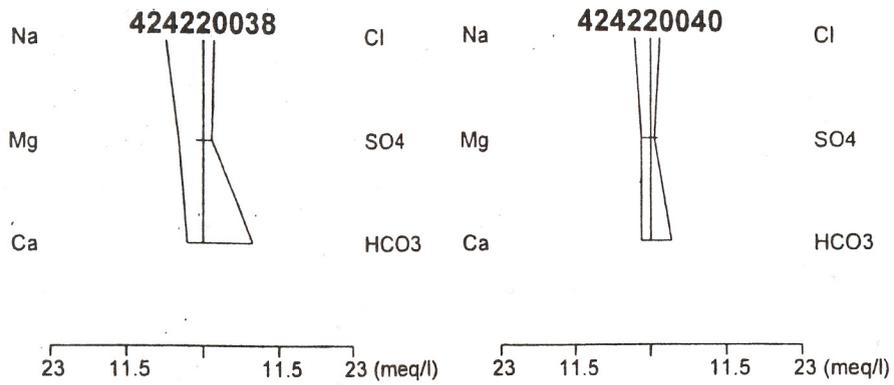


Fig I.17 DIAGRAMAS DE STIFF DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA SERIE SÁLICA

424370014

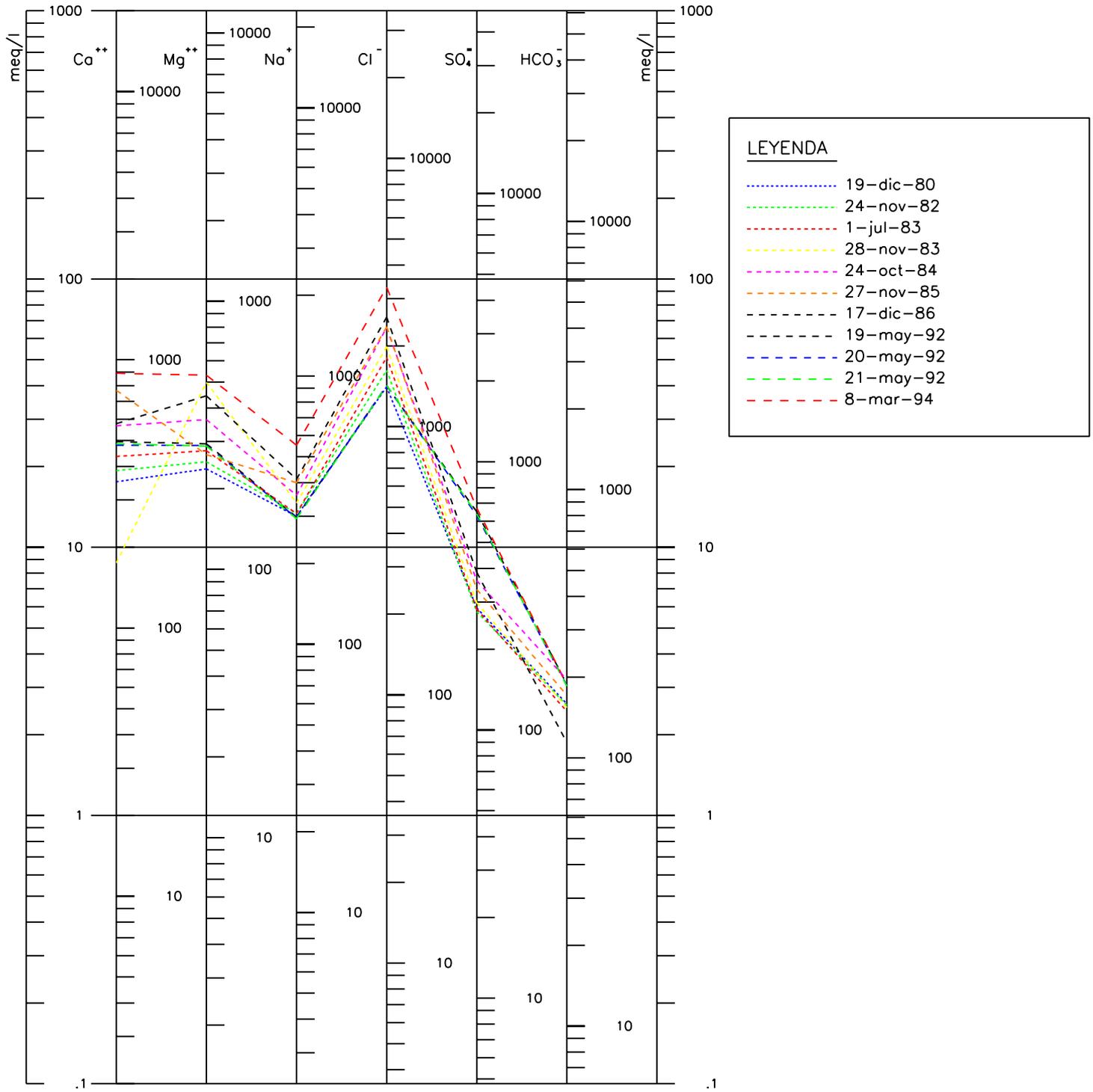


FIG. I.18 DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

FORMACIÓN GEOLÓGICA	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Formación Detrítica Las Palmas	Bicarbonatadas cloruradas magnésico-sódicas	Cloruradas magnésicas	Cloruradas sódico-magnésicas	Cloruradas sódicas con indicios de intrusión y contaminación
Formación Post-Roque Nublo	Bicarbonatadas sódicas o magnésico-sódicas	Cloruradas sódicas o sulfatadas cloruradas sódicas	Cloruradas sódico-magnésicas	--
Materiales sedimentarios	Cloruradas sódicas	Cloruradas cálcico-magnésicas	--	--

En conjunto, todos los tipos de aguas definidos y su distribución, confirman la existencia de un flujo general dirigido, en abanico, desde la Zona Alta hacia la costa.

Así mismo, los diagramas de Schöeller-Berkaloff realizados a diversas muestras de agua de una misma captación, permiten visualizar las variaciones o estabilidades hidroquímicas producidas en la misma a lo largo del tiempo. Por ello se planteó el realizar un estudio pormenorizado de los mismos con el fin de seleccionar uno o dos análisis tipo por captación que definieran hidroquímicamente a la misma. De esta forma se seleccionó de los 2.765 análisis recopilados, 751 análisis representativos, sin perjuicio en la calidad de la información. A partir de estos datos y su estudio se ha podido clasificar según la clasificación de iones dominantes que: el 53,5% de las aguas son bicarbonatadas, el 42,9% cloruradas y el 3,6% restante son sulfatadas. Atendiendo al contenido catiónico el 81% son sódicas, el 17% magnésicas y sólo el 2% cálcicas.

8.2. Evolución temporal y distribución espacial de parámetros indicadores de calidad en el período de 1970-74 (SPA-15)

Para su determinación se ha realizado un análisis de los datos de conductividad, cloruros, sulfatos y nitratos existentes en la zona. Se han elaborado mapas de isocontenidos para los períodos más extremos en el tiempo y con mayor cobertura espacial en la información. Como período de partida se tomó el correspondiente a 1970-74 (SPA-15) y como período final 1990-99.

Dichos mapas se han elaborado adoptando los valores medios de los parámetros-conductividad, en $\mu\text{S/cm}$, y cloruros, sulfatos y nitratos, en mg/l , para cada uno de los períodos.

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

8.2.1. Conductividad 1970-74

Para la realización de las isolíneas de conductividad eléctrica se han considerado un total de 138 puntos, cuyos valores oscilan entre 120 y 14.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura I.19).

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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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.

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.

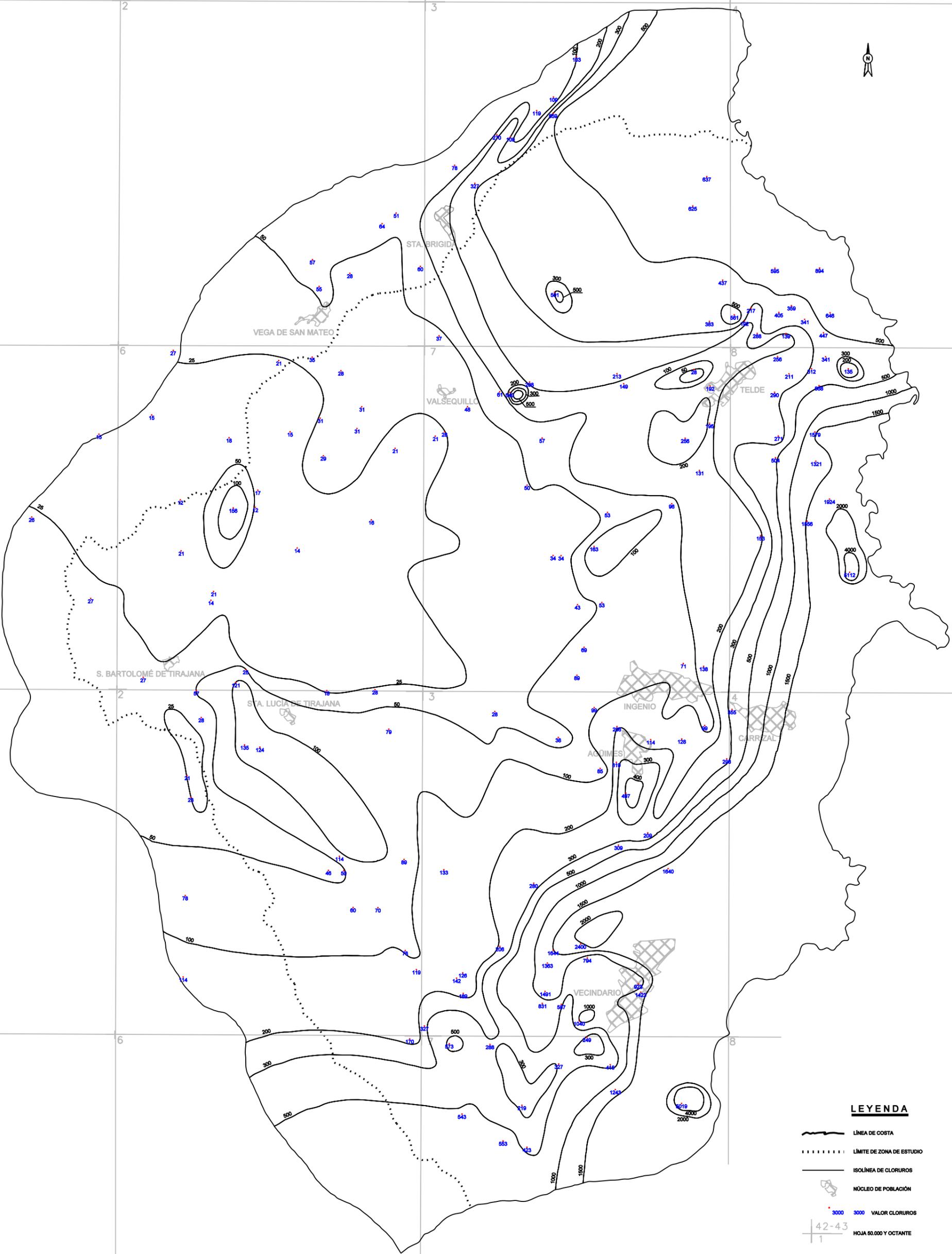
Otros valores anómalos elevados del orden de los 2.000-4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se han observado en algunas captaciones situadas en las inmediaciones de San Bartolomé de Tirajana y Santa Lucia de Tirajana, así como en algunas captaciones dispersas de la zona norte.

8.2.2. Cloruros 1970-1974

Para la realización del plano de isocloruros se ha utilizado un total de 164 datos (figura I.20).

Los valores de cloruros oscilan entre los 10 mg/l, en las zonas altas, hasta los 5.200 mg/l en la costa. Las isolíneas de cloruros 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 hacia el mar.

La distribución de las curvas 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 de contenido anormalmente alto de cloruros así como un



LEYENDA

-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  ISOLÍNEA DE CLORUROS
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN
-  VALOR CLORUROS

42-43
1

HOJA 60.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA



Fig. I.20 ISOLÍNEAS DE CLORUROS. PERÍODO 1970 - 74

aumento generalizado en la concentración de dicho parámetro al aproximarse a la costa.

En la zona comprendida entre Telde y Santa Brígida las aguas subterráneas presentan un contenido superior a los 200 mg/l de cloruros incluso en captaciones situadas a una cota de 400-500 m. Otra zona fuertemente perturbada es la comprendida por los núcleos de Cruce de Arinaga, Sardina, Vecindario, Doctoral y Juan Grande, donde se alcanzan valores en torno a los 1.500-2.000 mg/l de cloruros.

El incremento de 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 la infiltración en condiciones de aridez y con efecto de aerosol marino; y, en tercer lugar, a un prolongado recorrido y a un largo tiempo de residencia de algunas aguas en el acuífero. Además de estos procesos, la contaminación antrópica, la puntual existencia de aguas salinas atrapadas o la presencia de halita en algunos materiales también puede producir aumentos zonales de cloruros.

8.2.3. Sulfatos 1970-74

Para la representación de los contenidos en SO_4^{-2} se han considerado un total de 159 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 1.200 mg/l (figura I.21).

En la zona centro de la isla, las concentraciones en SO_4^{-2} son más bajas, produciéndose un aumento conforme se aproxima a la costa. Se observa cierto paralelismo entre las isolíneas y la línea de costa, concretamente a partir de la correspondiente a 50 mg/l.

En este período, los valores de sulfatos ya exceden a la concentración máxima admitida por la Reglamentación Técnico Sanitaria 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 proximidades de Telde con valores medios de 350-450 mg/l.

En la zona de Valsequillo y Santa Brígida la isolínea de 250 mg/l avanza hasta cotas próximas a los 700 m obteniéndose en algunas captaciones valores de sulfatos en torno a los 700-1.100 mg/l.

La presencia de sulfatos en las aguas subterráneas se puede atribuir a tres orígenes: los retornos de riego, cargados de abonos o aditivos correctores del índice SAR; litológico por disolución de la roca encajante; y marino como consecuencia de la intrusión de agua de mar en la captación.

En la zona de costa las isóneas de cloruros, sulfatos y nitratos tienen una morfología similar, lo que parece indicar que existen relaciones entre dichos parámetros.

En la zona de Vecindario la similitud entre las isóneas de sulfatos y cloruros indica un origen común para ambos parámetros que sería atribuible a un proceso de intrusión marina.

En la zona de Telde-Valsequillo-Santa Brígida las isóneas de los tres parámetros sulfatos, cloruros y nitratos presentan una morfología similar lo que dificulta su interpretación. Una posible explicación sería una doble fuente de sulfatos: agrícola y/o intrusión, lo que explicaría los altos valores alcanzados en las aguas subterráneas en dicha zona.

8.2.4. Nitratos 1970-74

En la realización de los mapas de isocontenidos en nitratos se han considerado un total de 163 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 350 mg/l (figura I.22).

En general, los contenidos en nitratos para las aguas subterráneas en este período son bajos exceptuando las captaciones próximas al núcleo de Telde donde los valores obtenidos sobrepasan los 250-300 mg/l de NO_3^- . Estos altos contenidos son atribuibles a los retornos de riego producidos en esta zona de gran tradición agrícola.

8.3. Evolución temporal y distribución espacial de parámetros indicadores de calidad en el período de 1990-99

8.3.1. Conductividad 1990-99

En su realización se han considerado un total de 539 puntos, cuyos valores oscilan entre 150 y 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura I.23).

En este período se sigue observando una distribución de las isóneas paralela a la costa aunque más heterogénea.

En general, los valores de conductividad eléctrica se mantienen o mejoran en la zona de cumbres, pero aumentan en el resto del área de estudio. La isónea de conductividad de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sufre una importante modificación en su trazado desplazándose hacia el interior de la isla indicando un aumento de la mineralización del agua en la zona costera. Concretamente, en algunas captaciones de la zona de Vecindario se alcanza valores de conductividad del orden de los 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que supone un aumento de unos 7.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en las captaciones más próximas a la costa, frente al núcleo de Telde, el aumento es de unos 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obteniéndose valores superiores a los 7.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

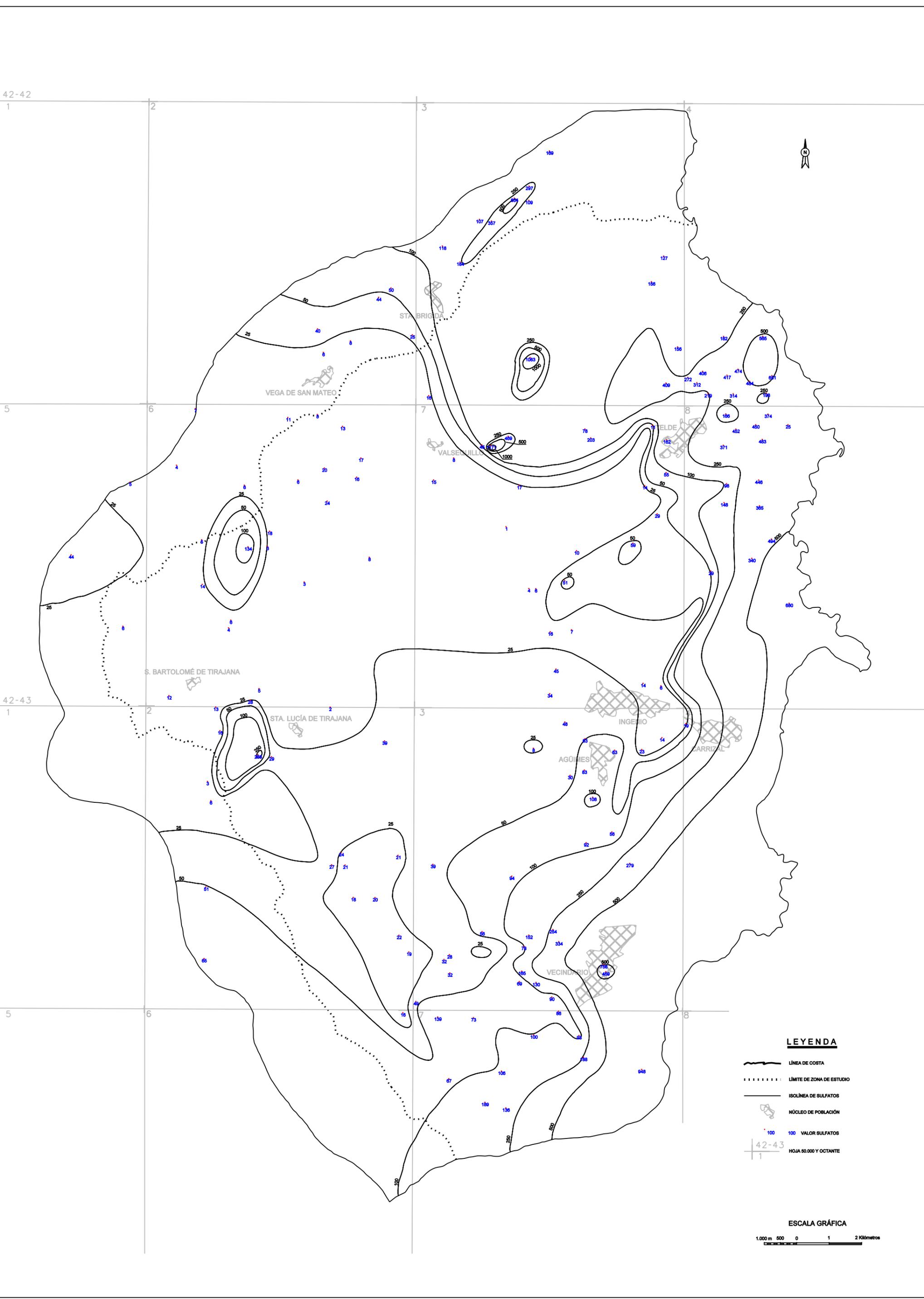
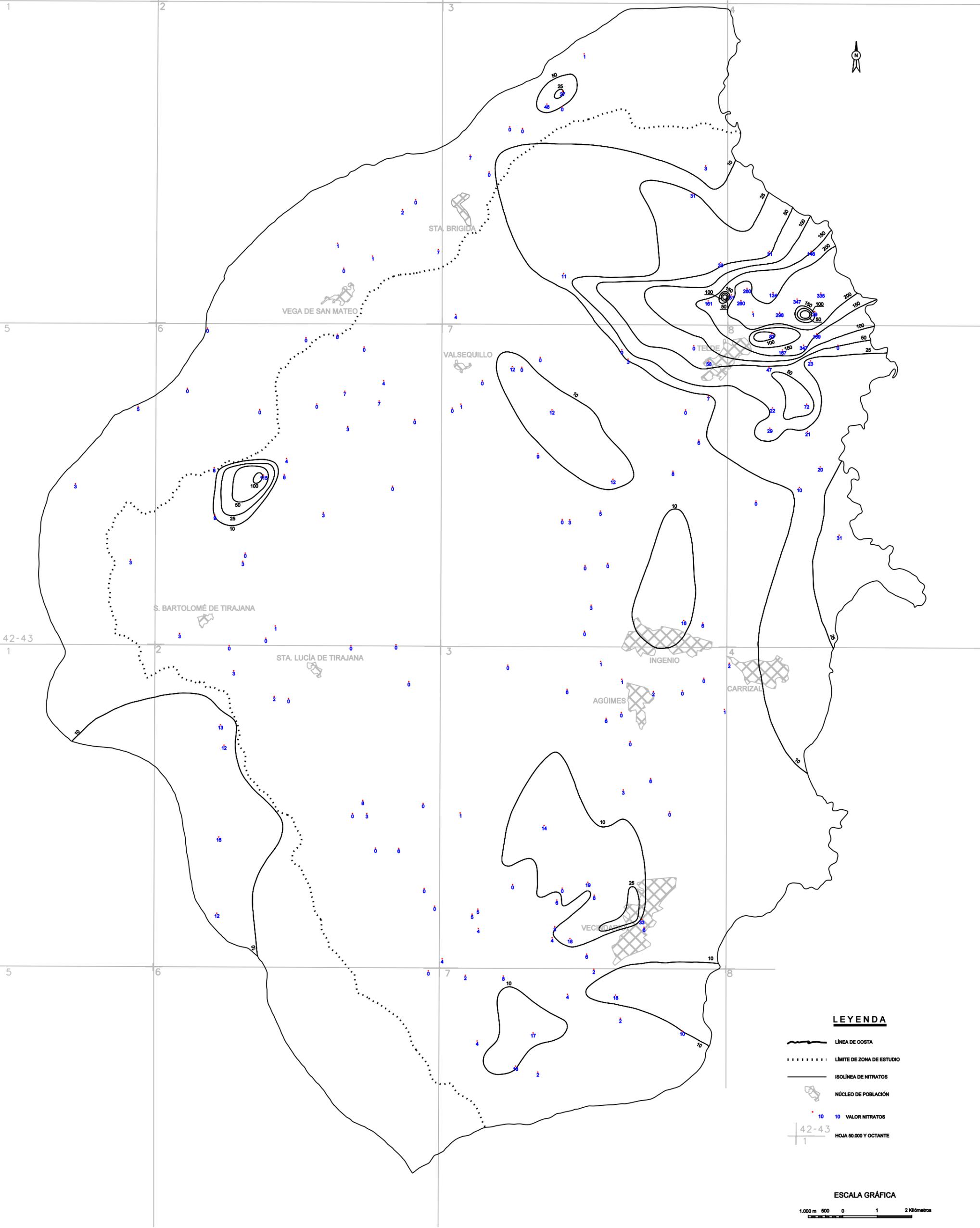


Fig. I.21 ISOLÍNEAS DE SULFATOS. PERÍODO 1970 - 74



LEYENDA

- LÍNEA DE COSTA
- LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
- ISOLÍNEA DE NITRATOS
- NÚCLEO DE POBLACIÓN
- VALOR NITRATOS

42-43
1
HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA

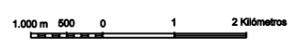
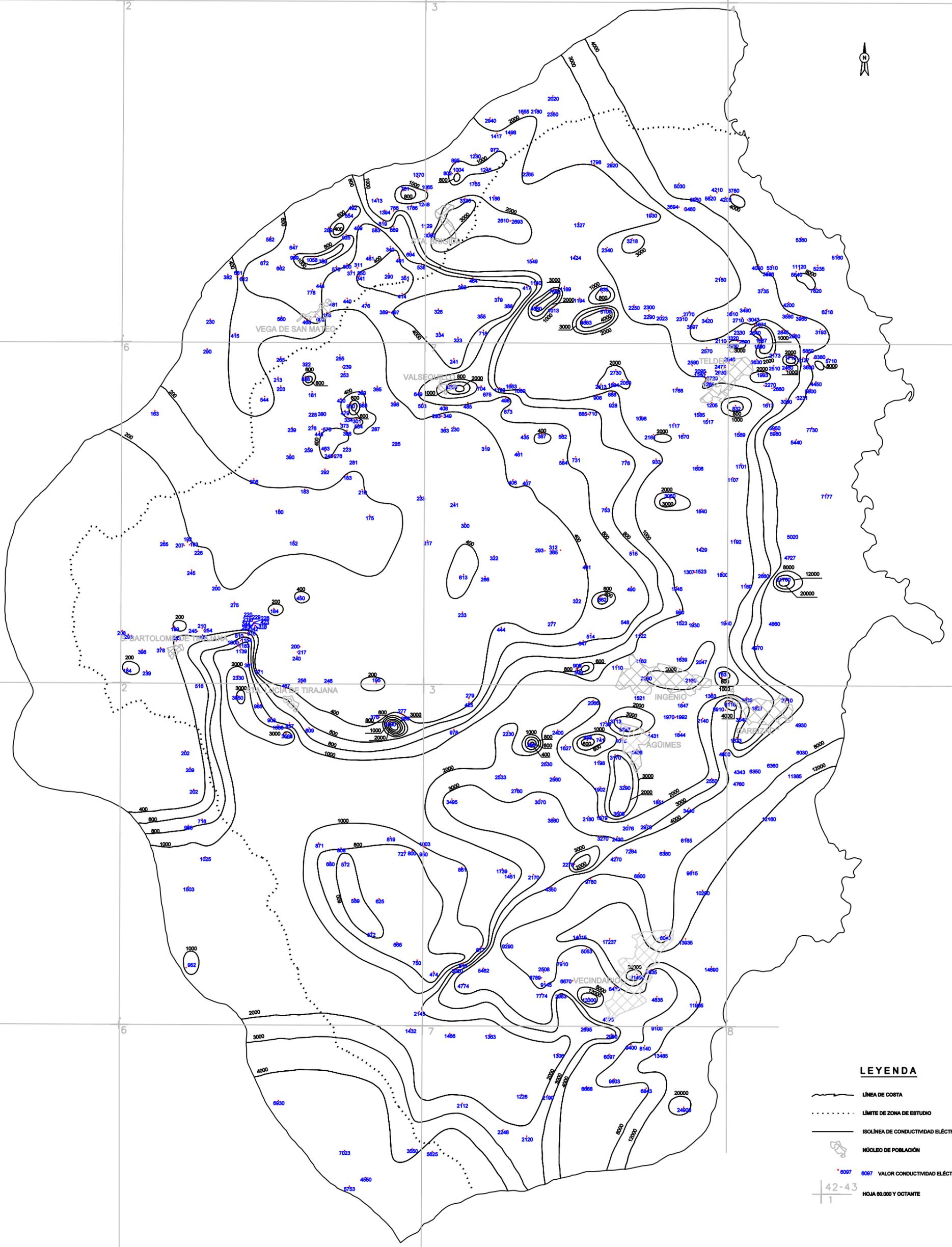


Fig. I.22 ISOLÍNEAS DE NITRATOS. PERÍODO 1970 - 74



LEYENDA

-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  ISOLÍNEA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN
-  6087 6087 VALOR CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
-  42-43 HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA

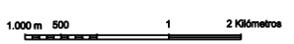


Fig. I.23 ISOLÍNEAS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. PERÍODO 1990 - 99

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 isolínea abarca una mayor superficie.

8.3.2. Cloruros 1990-99

Para dibujar las isolíneas de cloruros del período se han utilizado un total de 534 datos. Los valores de cloruros en este período se sitúan en torno a los 20 mg/l para la zona central de la isla y a los 2.000-5.000 mg/l para la zona más próxima a la costa, llegándose a valores puntuales que sobrepasan los 10.000 mg/l. (figura I.24)

Comparando los mapas de los períodos se observa:

Una migración hacia tierra adentro de las isolíneas comprendidas entre los 100 mg/l y los 1.000 mg/l de cloruros con respecto a las obtenidas en el SPA-15.

Que las captaciones de la zona de Vecindario – El Doctoral, con valores durante el SPA-15 en torno a los 1.500-2.000 mg/l de Cl^- , pasan a tener valores del orden de 4.000-5.000 mg/l, y que más hacia la costa, los contenidos aumentan, todavía más, apareciendo varios puntos que superan los 8.000 mg/l. Esto parece confirmar la intrusión de agua de mar que se produce en la zona.

La zona próxima al Carrizal y el Goro, presenta un notable aumento en la concentración de Cl^- , que podría estar relacionado con las extracciones realizadas a lo largo de esta década para abastecer a los cultivos de invernaderos existentes en la zona.

La concentración de cloruros en las aguas subterráneas de la zona comprendida entre Santa Brígida y Telde, ha aumentado en prácticamente la totalidad de las captaciones siendo del orden de los 400-500 mg/l.

En las captaciones entre núcleo de Telde y la costa los valores han aumentado pasando a estar entre los 500 y 1.000 mg/l de cloruros.

8.3.3. Sulfatos 1990-99

En su realización se han considerado un total de 538 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 1.700 mg/l (figura I.25).

En este período se mantienen los valores bajos de la zona central del área de estudio, aumentando la concentración en SO_4^{2-} a medida que se aproxima a la costa. Continúa existiendo cierto paralelismo entre las isolíneas y la costa persistiendo las distintas áreas de mayor concentración de SO_4^{2-} establecidas en el período del SPA. En la zona de Santa Brígida-Valsequillo la isolínea de 250

mg/l se adentra hasta cotas mayores de 400 m, llegando a cotas del orden de 200 m en la zona de Vecindario.

Además 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 Brigida-Valsequillo y Vecindario, quedan delimitados claramente en los tres planos de isocontenidos elaborados lo que indica cierta interrelación entre estas variables.

Puntualmente, a cotas mayores por encima de Vecindario y 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 regadío y/o aditivos correctores de SAR.

8.3.4. Nitratos 1990-99

En su realización se han considerado un total de 500 puntos, cuyos valores oscilan entre 0 y 350 mg/l (figura I.26).

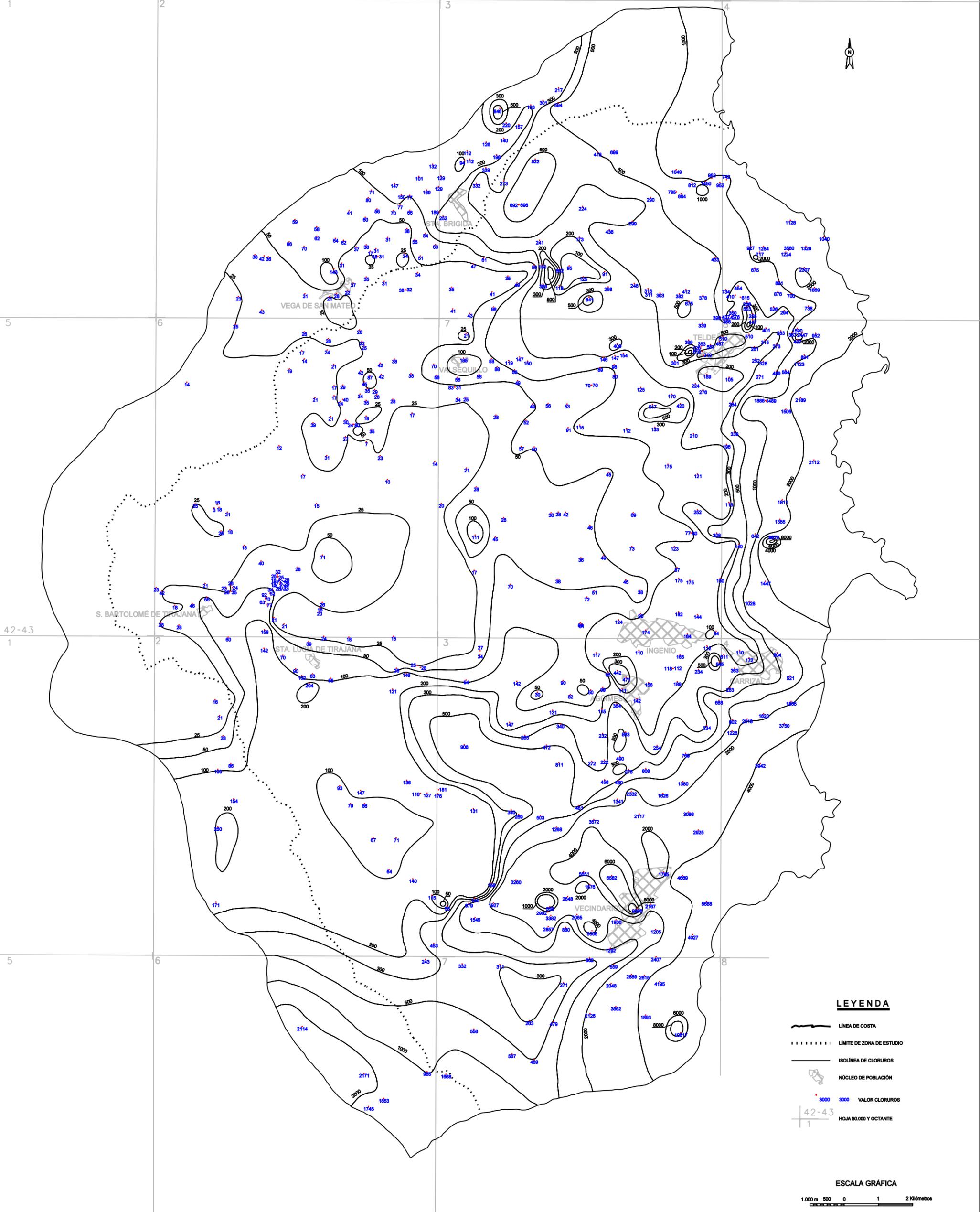
Al comparar cuantitativamente los valores máximos obtenidos en el período SPA-15 con los obtenidos en este período, podría parecer que no se han producido cambios significativos. Sin embargo, tras su representación espacial, se observa una modificación importante en la calidad del agua. La isolínea de 50 mg/l de NO_3^- se sitúa 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 NO_3^- es mayor de 50 mg/l situadas en las inmediaciones de los principales núcleos de población como Telde, Ingenio y Carrizal. Hacia el interior de la zona también se observan puntos con un contenido en NO_3^- elevado en San Bartolomé, Santa Lucía de Tirajana y en las inmediaciones de Valsequillo, aunque son de carácter local.

Este elevado contenido en NO_3^- se debe a procesos de carácter antrópico, procedentes de los retornos de riego. El hecho de no producirse un incremento cuantitativo respecto al período SPA-15 puede ser debido a una disminución de la superficie de riego para este período así como al uso de técnicas de menor consumo de agua minimizando el retorno.

8.4. Variaciones puntuales de la calidad

Para su determinación se procedió a la realización de diagramas XY de evolución de cloruros. El criterio de selección de captaciones vino dado por el número de análisis que presentaban así como del rango de cloruros existente en cada



LEYENDA

-  LINEA DE COSTA
-  LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  ISOLINEA DE CLORUROS
-  NÚCLEO DE POBLACION
-  VALOR CLORUROS

42-43
1
HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA

1.000 m 500 0 1 2 Kilómetros

Fig. I.24 ISOLÍNEAS DE CLORUROS. PERÍODO 1990 - 99



LEYENDA

-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  ISOLÍNEA DE NITRATOS
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN
-  VALOR NITRATOS

42-43
HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA



Fig. I.26 ISOLÍNEAS DE NITRATOS. PERÍODO 1990 - 99

captación. El fin último de dichos diagramas bidimensionales fue el de visualizar la variación temporal del parámetro considerado.

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.

De las 22 captaciones con cota de fondo positiva, se puede establecer dos grupos: un primer grupo formado por aquellas captaciones situadas hacia el interior cuyo rango de cloruros varía de 12 a 342 mg/l y un segundo grupo 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, presentan aguas buenas y estables en el tiempo, aunque 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.

Las captaciones 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 el contenido en cloruros aumenta considerablemente con el tiempo, llegando a triplicarse su concentración en muchas de ellas. Este aumento se refleja en los gráficos mediante un ascenso importante en las curvas.

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 situado en las proximidades del núcleo de Telde y un grupo situado a lo largo de la costa entre los núcleos de Carrizal y Vecindario.

Las aguas de este primer grupo 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. 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 segundo grupo 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.

8.5. Áreas con problemas de calidad del agua.

Basándose en todos los datos obtenidos, 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.

8.5.1. 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^+/rCa^+ , 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 $SO_4^{=}$ y NO_3^- y su evolución en el tiempo, ya que dan información complementaria sobre la posible afección y origen de la misma.

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.

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. Este alto contenido en cloruros 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.

Teniendo en cuenta todas las observaciones indicadas se procedió a analizar la información de las distintas captaciones considerándose finalmente un total de 123 captaciones con indicios de intrusión marina (figura I.27). La mayoría de ellas 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 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.

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

En este apartado se ha incluido 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. 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 más 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 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 indicar que en algunas captaciones no ha sido posible diferenciar claramente si esta afectada por vertidos de aguas residuales o por vertidos de retornos de riego. En algunos casos, esta no-diferenciación es debida a que dichas captaciones presentan ambas afecciones, en otras a que el nitrito ha desaparecido y se ha transformado en nitrato. Evidentemente, la presencia de nitritos en las muestras de agua es un claro indicador de un reciente vertido de aguas residuales así como de una proximidad del mismo a la captación.

Finalmente, se definieron un total de 103 captaciones con indicios de vertidos de aguas residuales y 127 captaciones con indicios de contaminación agrícola. En las figuras I.28 y I.29 se observa la distribución espacial de las captaciones afectadas por vertidos de aguas residuales y por retornos de riego respectivamente.

En la figura I.28 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 la figura I.29 se observa que la mayor concentración de captaciones se corresponde con la zona de Telde de gran tradición agrícola así como en zonas de cultivo más o menos importante.

9. MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

9.1. Objetivos

Los modelos matemáticos de simulación del flujo subterráneo constituyen unas inestimables herramientas de apoyo para la caracterización y gestión de acuíferos. Su utilización está especialmente indicada en el caso del estudio de la sobreexplotación del acuífero en la Zona Este de Gran Canaria dada la dificultad de medir directamente los intercambios de agua entre el acuífero y el mar, necesario para localizar y cuantificar la intrusión marina.

La realización del modelo ha permitido:

- Definir los balances globales y zonales del acuífero en la situación actual y en posibles situaciones futuras. En especial la cuantificación de los

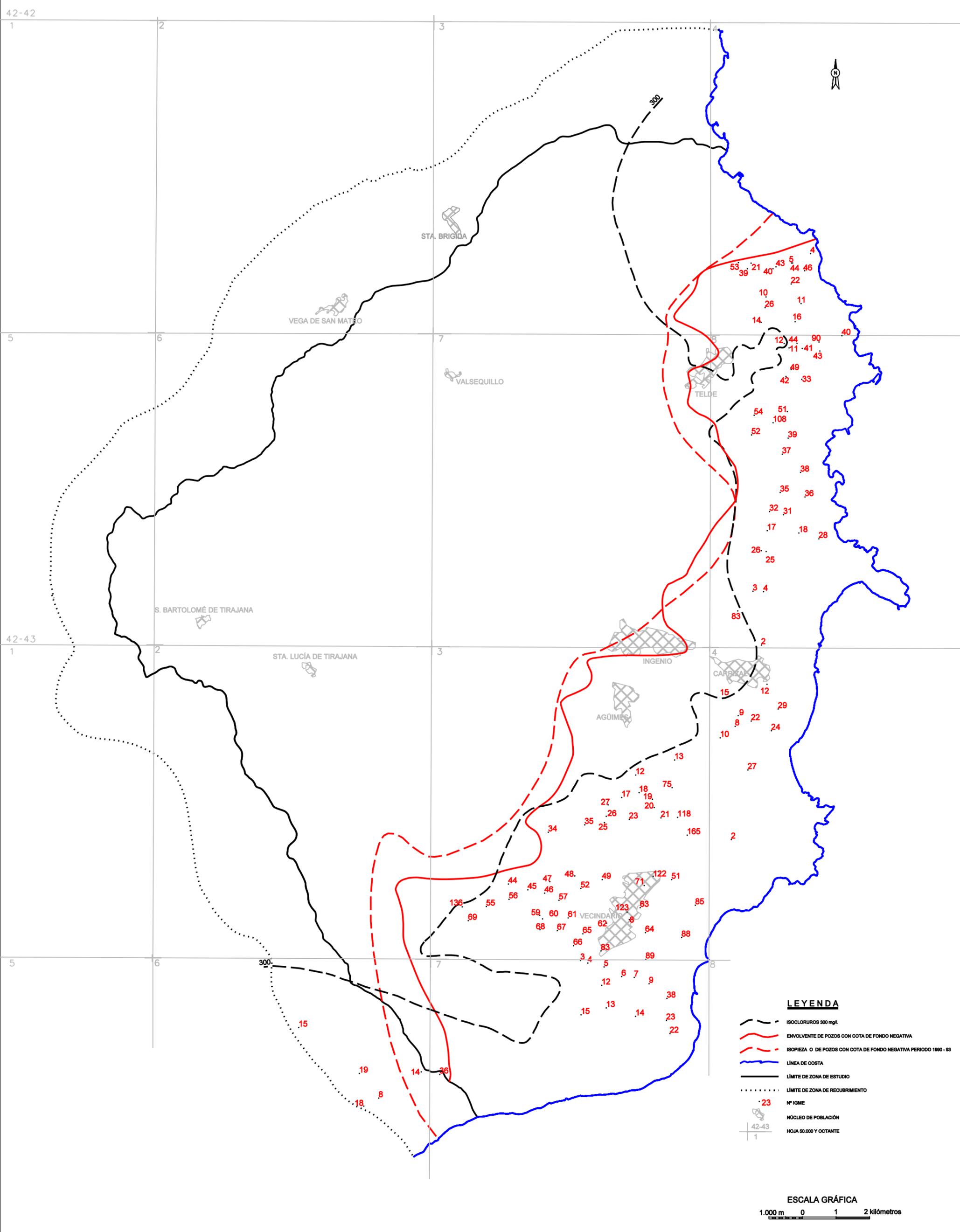


Fig. I.27 SITUACIÓN DE CAPTACIONES CON INDICIOS DE INTRUSIÓN MARINA

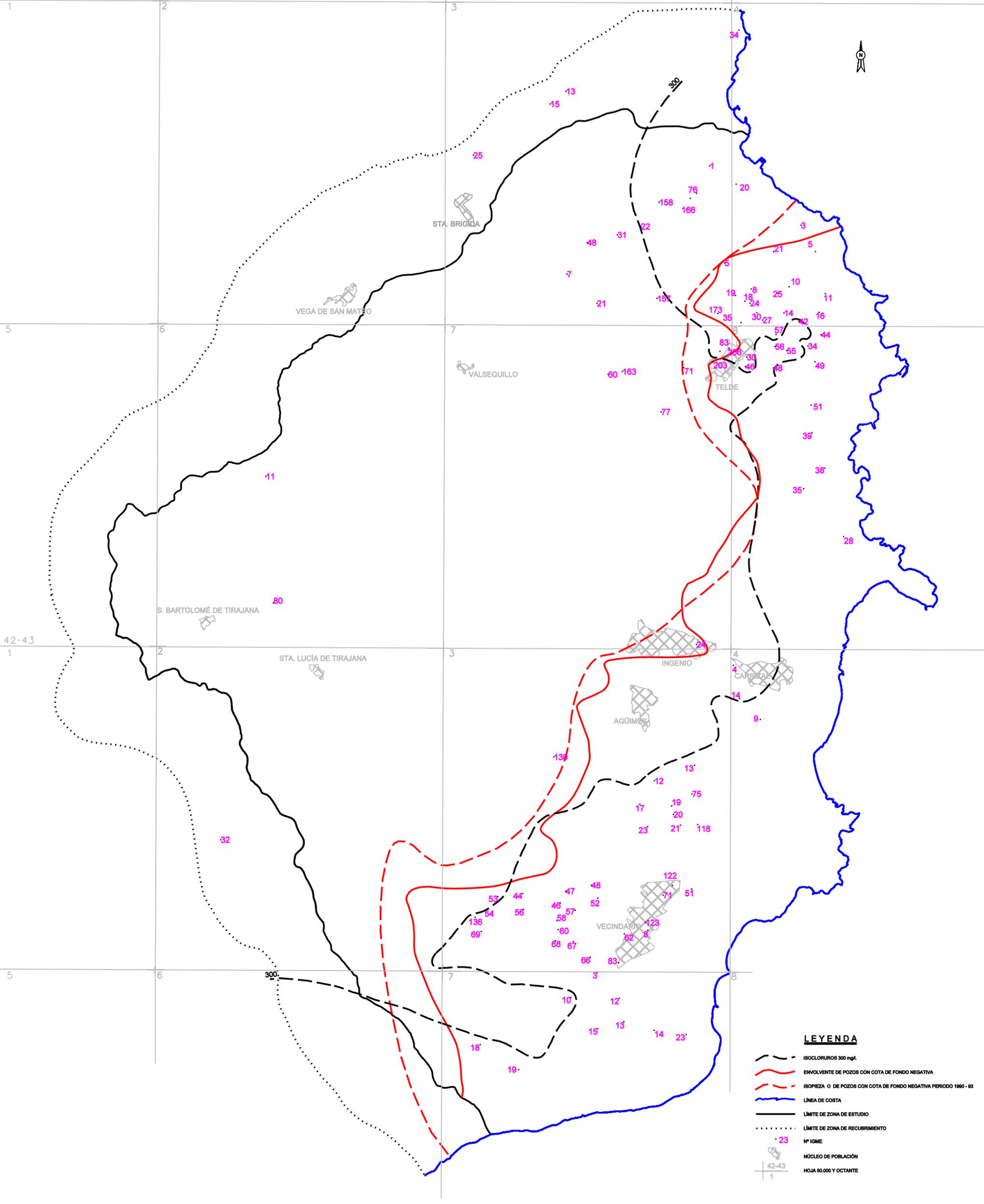
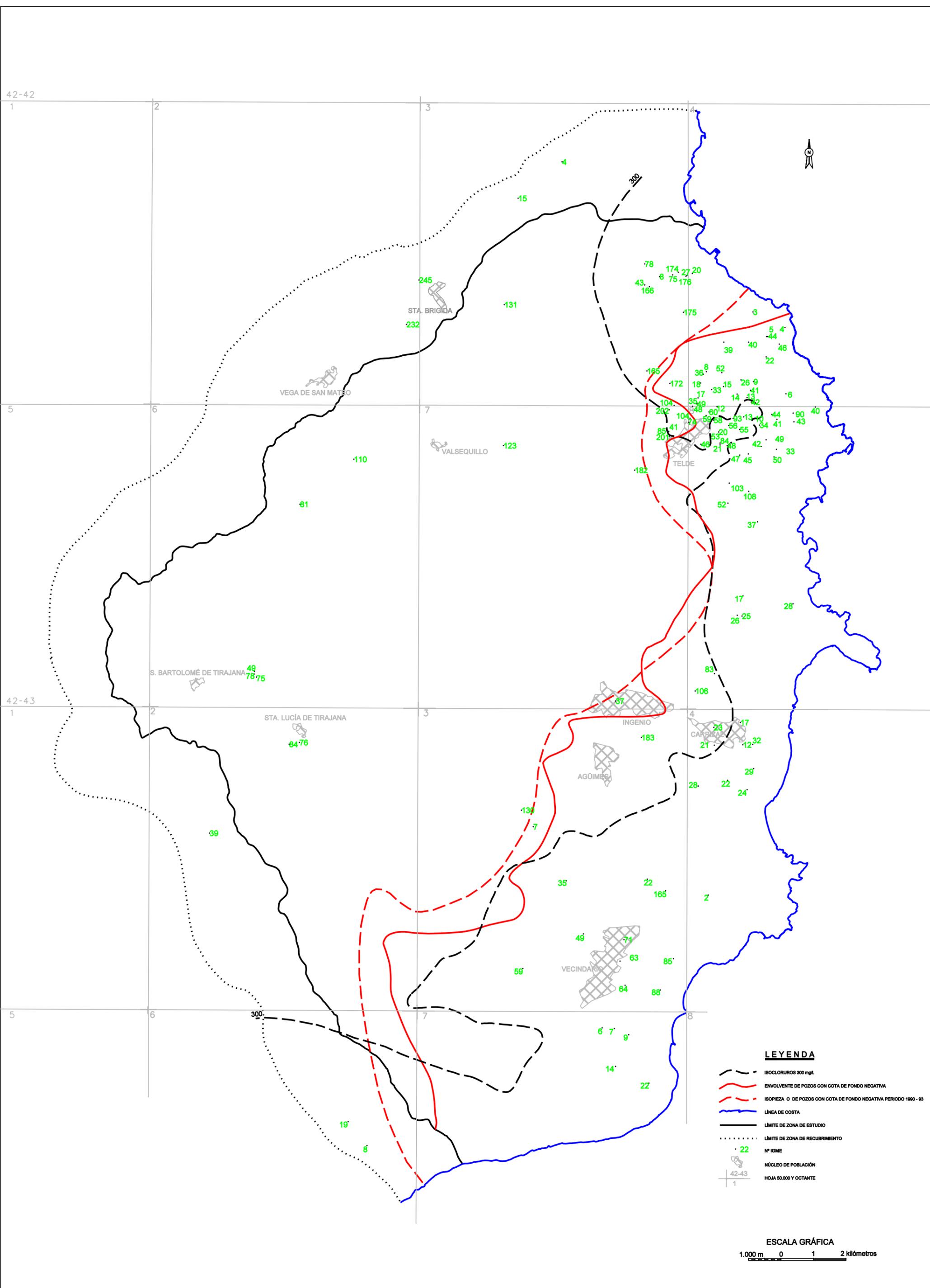


Fig. I.28 SITUACIÓN DE CAPTACIONES CON INDICIOS DE CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES

Fig. I.29 SITUACIÓN DE CAPTACIONES CON INDICIOS DE CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA



LEYENDA

- ISOCLORUROS 300 mg/l.
- ENVOLVENTE DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA
- ISOPIEZA O DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA PERIODO 1960 - 63
- LÍNEA DE COSTA
- LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
- LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
- N° IGME
- NÚCLEO DE POBLACIÓN
- HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA

1.000 m 0 1 2 kilómetros

elementos del balance de muy difícil medida directa como son la recarga por infiltración del agua de lluvia, la descarga del acuífero al mar y la intrusión marina.

- Conocer mejor y cuantificar el fenómeno de la sobreexplotación.
- Predecir la evolución futura de la sobreexplotación y el estado del acuífero, si no se adoptan medidas correctoras.
- Predecir cuantitativamente los efectos sobre el acuífero de posibles medidas que se adopten para el control y la corrección de la sobreexplotación.

9.2. Elaboración del modelo matemático

9.2.1. Trabajos previos

La elaboración del modelo matemático de simulación del flujo en el acuífero se inició con un minucioso análisis de los datos hidrogeológicos existentes incluyendo:

- La geometría del acuífero: definición de sus límites y su naturaleza hidrogeológica.
- Los materiales: disposición espacial, textura y petroquímica, existencia de capas impermeables o semipermeables y estructura geológica de las formaciones.
- La piezometría y su evolución temporal.
- Los parámetros hidráulicos: permeabilidades, anisotropía y coeficientes de almacenamiento.
- Recargas y descargas naturales: infiltración de lluvia, manantiales, drenaje fluviales y relaciones acuífero-mar.
- Recargas y descargas inducidas: localización y evolución temporal de retornos de riegos, fugas en redes urbanas, bombeos y extracciones por galerías.

A partir de ese análisis se procedió, en primer lugar, a valorar la información existente y seleccionar los datos útiles para alimentar al modelo matemático. En segundo lugar, se procedió a elaborar un modelo conceptual hidrogeológico, que es paso previo necesario para el diseño del modelo matemático propiamente dicho. El modelo conceptual revalidó el utilizado en el modelo matemático MAC-21, realizado para la totalidad de la isla en 1983, y que se expone detalladamente en el epígrafe 7.5 de este capítulo.

9.2.2. Diseño del modelo

Las principales características del modelo diseñado para el ajuste en régimen permanente fueron las siguientes:

Programa de cálculo. Se ha utilizado el MODFLOW, versión de 1996, desarrollado por el U.S.G.S., ampliamente utilizado en todo el mundo y que permite la simulación de un flujo tridimensional.

Geometría. El prototipo se ha discretizado mediante una malla en planta formada por 59 filas y 46 columnas que definen celdas de 500 x 500 m (figura I.30). Los límites Norte, Sur y Oeste se representan como límites impermeables por coincidir con supuestas divisiones hidrogeológicas; el límite Este, coincidente con el mar y es un límite de nivel constante. En profundidad se han considerado tres capas, numeradas de 1 a 3 de arriba abajo (figura I.30). La capa 1 tienen un espesor suficiente para englobar a la totalidad de los pozos existentes en la Zona, y es la única en contacto físico con el mar. Las capas 2 y 3 tienen por objeto permitir la simulación de flujos en las tres direcciones del espacio. El número de celdas activas es de 1.709 por capa (5.127 en total).

Parámetros hidráulicos. A cada celda activa de la malla se le ha asignado una permeabilidad horizontal y una permeabilidad vertical. Los valores inicialmente asignados fueron los valores finales resultantes del modelo MAC-21 en la zona de estudio. Oscilan entre 0,015 y 1,500 m/día en la capa 1; entre 0,01 y 0,06 m/día en la capa 2; y 0,06 m/día en la capa 3. La permeabilidad vertical asignada a cada celda fue igual a la permeabilidad horizontal dividida por 100 (o por 200 en algunos casos).

Niveles piezométricos iniciales. Aunque en las simulaciones en régimen permanente no es necesario asignar un nivel piezométrico específico a cada celda, por razones prácticas se asignó a cada celda el nivel piezométrico obtenido por el modelo MAC-21 en la simulación en régimen permanente, una vez alcanzado el ajuste.

Componentes del balance. Puesto que se pretendía ajustar el modelo para las condiciones de 1980-81 se trasladaron a las celdas del nuevo modelo, las recargas y descargas (infiltración de lluvia y extracciones en pozos y galerías) consideradas en el modelo MAC-21. Análogamente, se incluyó en el balance un término ficticio denominado "caudal de reservas" como artificio matemático para transformar en régimen permanente un régimen que en el acuífero real, en la situación de 1980, no era permanente sino transitorio, como demostraban los continuados descensos de niveles observados desde tiempo atrás en las zonas de bombeo.

9.2.3. Ajuste en régimen permanente

Con la estructura del modelo antes descrita y con los datos indicados, se inició el proceso de ajuste en régimen permanente, consistente en reproducir las isopiezas correspondientes al período 1980-82, suponiendo que permanecen constantes todas las entradas y salidas del acuífero, hasta alcanzar una situación de equilibrio.

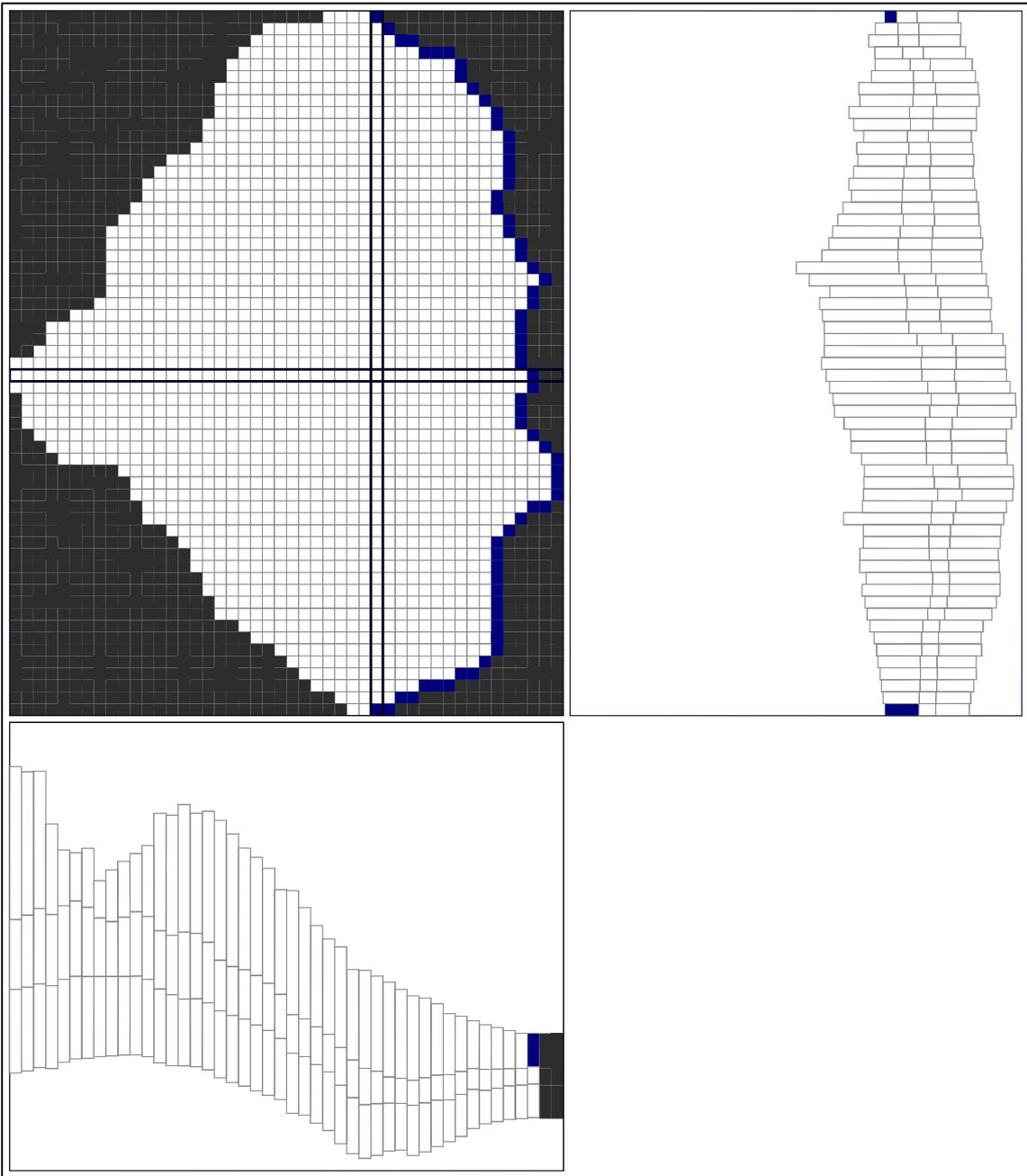


Fig. I.30 PERFILES CON LA DISCRETIZACIÓN VERTICAL ADOPTADA

En las sucesivas pasadas, actuando siempre con criterios hidrogeológicos, se van introduciendo cambios en los valores iniciales (principalmente valores iniciales de las permeabilidades y distribución de las recargas y de los bombeos (variables no bien conocidas) hasta alcanzar una solución aceptable.

Durante el proceso de ajuste los principales cambios fueron:

- Consideración de recargas por fugas en redes de abastecimiento y saneamiento y por retornos de riegos, no tenidos en cuenta en los datos iniciales.
- Modificaciones zonales de las conductividades hidráulicas (permeabilidades) adaptándose a la configuración de las formaciones geológicas y a una configuración radial desde la zona principal de emisiones volcánicas.
- Modificaciones zonales de la anisotropía (relación entre la permeabilidad horizontal y la permeabilidad vertical).

El ajuste alcanzado se representa en la figura I.31.

El balance global finalmente obtenido con el ajuste del modelo en régimen permanente, es el siguiente:

Entradas	hm³/a
Infiltración de lluvia	33,1
Retornos de riego	7,4
Fugas en redes urbanas	2,4
Suma Entradas	42,9
Salidas	
Bombeos	43,9
Salidas al mar	10,7
Suma Salidas	54,6

En este balance no se ha contabilizado la intrusión marina (1,7 hm³/a) por ser un volumen de agua salada no utilizable, ni el “caudal de reservas” por ser un caudal ficticio para conseguir un régimen permanente.

En estas condiciones el déficit es la diferencia entre salidas y entradas, que corresponde con 11,7 hm³/a.

9.2.4. Ajuste en régimen transitorio

El ajuste en régimen permanente es necesario para conseguir una adecuada fiabilidad del modelo final, pero sólo reproduce una situación concreta y estática del prototipo, no es capaz de reproducir la evolución histórica observada a lo largo del tiempo. Es por ello por lo que es preciso proceder al ajuste en régimen transitorio.

El ajuste en régimen transitorio ha consistido en introducir en el modelo los datos históricos anuales de recargas y descargas desde 1981 hasta 1999 tratando de reproducir los niveles piezométricos (líneas isopiezas) medidos en 1980-82, 1985-87, 1990-93 y 1997-99.

A partir del estado de niveles piezométricos obtenidos como resultado del ajuste en régimen permanente, que corresponden al período 1980-81, se inicia la simulación del período 1981-1999, dividiéndolo en 19 intervalos de un año.

Los datos a suministrar al modelo son: los niveles iniciales, procedentes del modelo en régimen permanente; las recargas y descargas en cada año de cálculo (infiltración de lluvia, retornos de riegos, fugas en redes y bombeos); los parámetros hidráulicos procedentes del modelo ajustado en régimen permanente, y el coeficiente de almacenamiento.

Para cada intervalo anual el modelo calcula: los niveles piezométricos en cada celda al final del intervalo; el balance hidráulico incluyendo las salidas al mar y la intrusión marina (si es el caso); y, la variación volumen de agua almacenada en el acuífero (figura I.32).

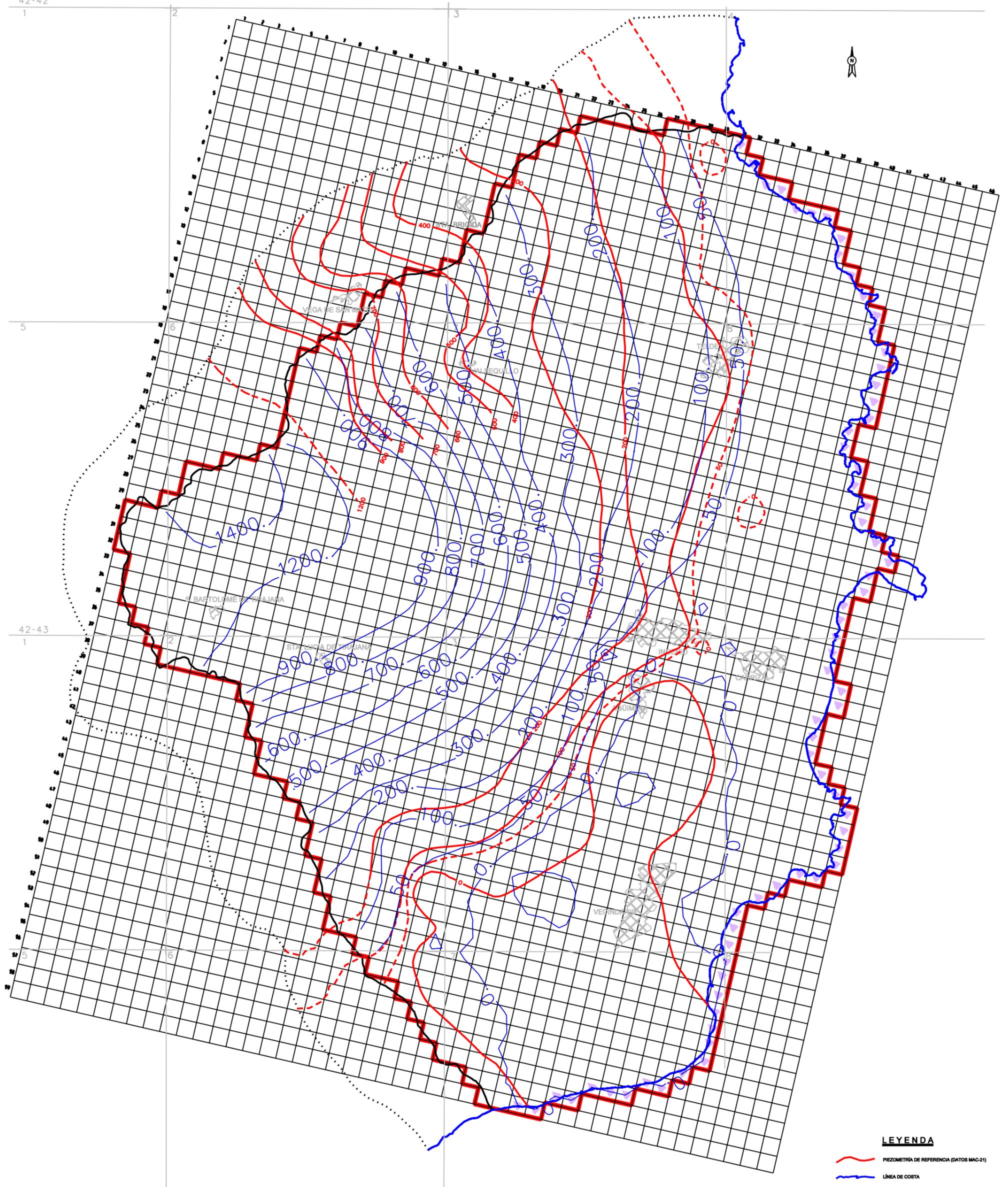
En el cuadro I.24 se recogen los valores de bombeos, retornos de riego y fugas en redes urbanas en los años de referencia para la simulación en régimen transitorio. Los valores en los años intermedios que no figuran en el cuadro se obtuvieron por interpolación entre los valores del cuadro.

Las principales modificaciones introducidas en el proceso de ajuste se refirieron: a la recarga por infiltración del agua de lluvia, ya que el período utilizado para el ajuste del modelo en régimen permanente fue notablemente más húmedo que el período utilizado para el ajuste en régimen transitorio; cambios en las conductividades hidráulicas; y cambios en la localización de los bombeos ya que han sufrido desplazamientos durante el período simulado.

CUADRO I.24

BOMBEOS, RETORNOS DE RIEGO Y FUGAS EN REDES URBANAS (hm³/a)

AÑO	BOMBEO	RETORNOS DE RIEGO	FUGAS EN REDES URBANAS
1981	43,900	8,907	4,218
1986	29,065	4,979	4,666
1991	41,243	6,462	5,115
1996	35,015	3,803	6,720
1999	32,900	3,413	7,041
2002	30,787	3,022	7,362



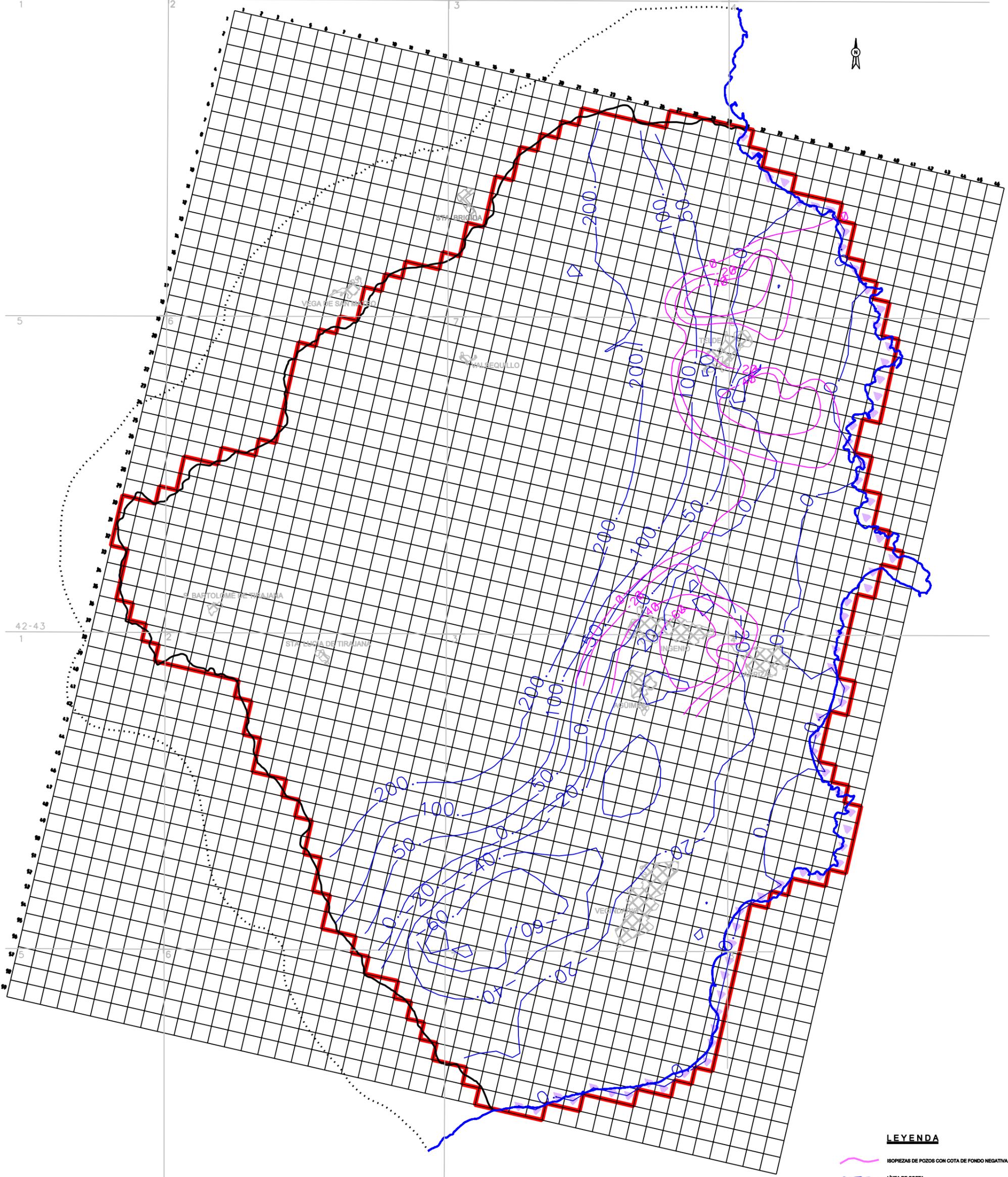
LEYENDA

-  PIEZOMETRÍA DE REFERENCIA (DATOS MAC-21)
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
-  ISOPIEZAS CALCULADAS
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN
-  42-43
1
-  HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRÁFICA



Fig. I.31 MEJOR AJUSTE DE NIVELES MEDIDOS Y CALCULADOS EN RÉGIMEN PERMANENTE DEL SECTOR ORIENTAL DE LA ISLA DE GRAN CANARIA



LEYENDA

-  ISOPIEZAS DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA.
-  LINEA DE COSTA
-  LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LIMITE DE ZONA DE RECURRIMIENTO
-  ISOPIEZAS CALCULADAS
-  NUCLEO DE POBLACION
-  42-43
1
-  HOJA 50.000 Y OCTANTE

ESCALA GRAFICA



Fig. I.32 ISOPIEZAS CALCULADAS Y REALES PARA EL AÑO 1999.

9.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad tiene por objeto comprobar cómo varían los resultados del modelo cuando se cambia alguna de las variables. No se ha realizado en este caso un análisis específico puesto que durante las sucesivas pasadas realizadas para los ajustes en régimen permanente y transitorio se ha podido comprobar la influencia de los cambios realizados en las permeabilidades, las anisotropías y la distribución de las recargas sobre los resultados del modelo. En general se ha observado que:

- Los cambios en las permeabilidades horizontales tienen una amplia repercusión en la piezometría de las zonas Alta y Media. El modelo es sensible a ese parámetro.
- Variando la relación entre la conductividad hidráulica horizontal y vertical (anisotropía) no se producen cambios acusados en la piezometría.
- El modelo muestra una gran inercia a los cambios globales de las recargas o descargas, pero es sensible puntualmente a la concentración del bombeo en un área reducida (por ejemplo en una celda).

9.4. Simulación de hipótesis de explotaciones futuras

Simuladas las situaciones pasadas del acuífero, se han planteado dos posibles escenarios futuros en función de cómo se plantee la ordenación de las extracciones de aguas subterráneas, hasta el año 2012.

La hipótesis 1 consiste en una extrapolación hasta el año 2012 de las recargas y bombeos observados desde 1981 hasta el presente. Su objeto es servir como referencia para conocer la evolución del acuífero en el caso de no adoptar medidas específicas para el control de la sobreexplotación. Entre el año 2002 y el año 2012 los bombeos pasan de 30,8 hm³/año a 32,2 hm³/año.

En la hipótesis 2 se ha supuesto que se adopten las medidas propuestas en el capítulo IX del presente estudio, consistentes en reducir los bombeos de aguas subterráneas desde 30,8 hm³/año hasta 22,8 hm³/año en el año 2012, principalmente como consecuencia de incrementar la reutilización de aguas residuales depuradas.

10. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SOBREEXPLOTADAS

El modelo de simulación de flujo subterráneo elaborado en el marco del Proyecto MAC-21 con datos de 1981, determina la sobreexplotación del acuífero de Gran Canaria considerando un esquema de flujo subterráneo tridimensional. El déficit global, calculado como la disminución de las reservas, se evalúa en 52 hm³/año, concentrados principalmente en los sectores norte y este de la isla.

A partir de los estudios y trabajos realizados para la elaboración del Plan Hidrológico de la Isla de Gran Canaria se define un balance hídrico referido al año 1996 en el que, pese al importante esfuerzo realizado para la producción de agua industrial, persiste un déficit importante, estimado en unos 40 hm³/año.

En ambos balances, separados entre sí por un intervalo de tiempo de 15 años, se concluye que en el ámbito insular existe una sobreexplotación de las aguas subterráneas originada por un exceso del bombeo sobre los recursos naturales disponibles.

Las cuestiones básicas que se plantean en relación con el presente estudio son: en primer lugar, definir los criterios más adecuados para identificar las áreas sobreexplotadas teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas de la zona y las características de las captaciones existentes; en segundo lugar, evaluar el déficit existente en la zona estudiada determinando si se trata de una sobreexplotación global o meramente local; en tercer lugar, proceder a la zonificación del área estudiada a efectos de la sobreexplotación, caracterizando cada zona desde el punto de vista piezométrico y de la calidad del agua (intrusión); y, finalmente, evaluar el balance hídrico de cada zona.

10.1. Criterios para identificar las áreas sobreexplotadas

Los criterios utilizados para identificar las áreas sobreexplotadas han sido los siguientes:

Primero: Balance hídrico deficitario. El balance hídrico de un acuífero es deficitario si la suma de todas las recargas (infiltración de lluvia, retornos de riegos, fugas en redes de abastecimiento y saneamiento, flujo subterráneo procedente del entorno del propio acuífero) pero sin incluir la intrusión marina, es menor que la suma de todas las descargas (bombeos, nacientes, flujo subterráneo hacia el entorno del propio acuífero) incluidas las descargas o salidas subterráneas al mar. Este criterio es la causa de la sobreexplotación. Por si sólo es suficiente para concluir que un acuífero o un perímetro está sobreexplotado, pero no permite delimitar ni caracterizar suficientemente la sobreexplotación detectada.

Segundo: Descenso de niveles e intrusión marina. Estos criterios no son la sobreexplotación, sino los efectos de la sobreexplotación. Una vez confirmada la sobreexplotación de un determinado perímetro mediante su balance hídrico deficitario, se han aplicado estos dos criterios para delimitar las zonas sobreexplotadas y para caracterizarlas desde los puntos de vista piezométrico y de la intrusión marina. Los límites adoptados han sido:

- Para la piezometría la isopieza de cota cero, que define los recintos de piezometría negativa.

- Para la intrusión marina se ha adoptado la isolínea de 300 mg/l de ión cloruro, que puede considerarse un límite máximo para el riego de cultivos resistentes a la salinidad.

Tercero. Pozos con cota de fondo negativa. El recinto delimitado por la línea envolvente de los pozos que profundizan por debajo del nivel del mar (cota de fondo negativo) y la isolínea del contenido de cloruros igual a 300 mg/l.

Esta zona, por tener concentraciones en cloruros inferiores a 300 mg/l no se ha catalogado como afectada por la intrusión marina pero, por existir en ella numerosos pozos que explotan el acuífero por debajo del nivel del mar, se considera que existe un riesgo cierto de salinización.

10.2. Balances hídricos globales de la zona en estudio

El modelo matemático de simulación del flujo subterráneo aplicado a la Zona del Estudio ha permitido obtener los balances hídricos del acuífero en los sucesivos años simulados (1981 a 2002).

Los balances más significativos se resumen en el cuadro siguiente:

CUADRO I.25

RESUMEN DE BALANCES HÍDRICOS EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA (hm³/año)

Recargas	1980-81	1985-86	1990-91	1995-96	2001-02
Infiltración de lluvia	24,97	22,35	19,43	21,91	19,0
Retornos de riego	8,91	4,98	6,47	3,80	3,03
Fugas en redes abastecimiento y saneamiento	4,21	4,66	5,12	6,72	7,36
SUMA RECARGAS	38,09	31,99	31,02	32,43	29,39
Intrusión marina	2,65	2,72	3,60	4,13	3,95
Descargas					
Bombeos	43,87	29,02	41,25	35,02	30,79
Salidas al mar	1,76	1,33	1,27	1,39	1,6
SUMA DESCARGAS	45,63	30,35	42,52	36,41	32,39
VARIACIÓN DEL ALMACENAMIENTO	-4,88	4,36	-7,91	0,18	0,96
RECARGAS-DESCARGAS	-7,54	1,64	-11,50	-3,98	-3,00

La infiltración de lluvia, la intrusión marina, las salidas al mar y la variación del almacenamiento, proceden del ajuste en régimen transitorio del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo (capítulo VIII); los retornos de riego, las fugas en redes de abastecimiento y saneamiento y los bombeos se han estimado en el estudio sobre los usos y demandas de agua (capítulo II).

La diferencia entre las recargas y las descargas mide la cuantía del déficit hídrico, que asciende a 3,00 hm³/año para el año 2001-02. En este cálculo no se contabiliza la intrusión marina como recarga por ser agua salada no aceptable para ningún uso. Sin embargo, el modelo sí tiene en cuenta la intrusión para el cálculo de la variación del almacenamiento.

Los balances expuestos, en los que la suma de descargas (incluidas las salidas al mar) superan año a año a la suma de las recargas sin incluir la intrusión marina, contemplados junto a la situación piezométrica del acuífero y los indicadores de la intrusión marina demuestran, sin lugar a dudas, que el acuífero se puede catalogar como globalmente sobreexplotado.

10.3. Zonificación del área estudiada a efectos de la sobreexplotación

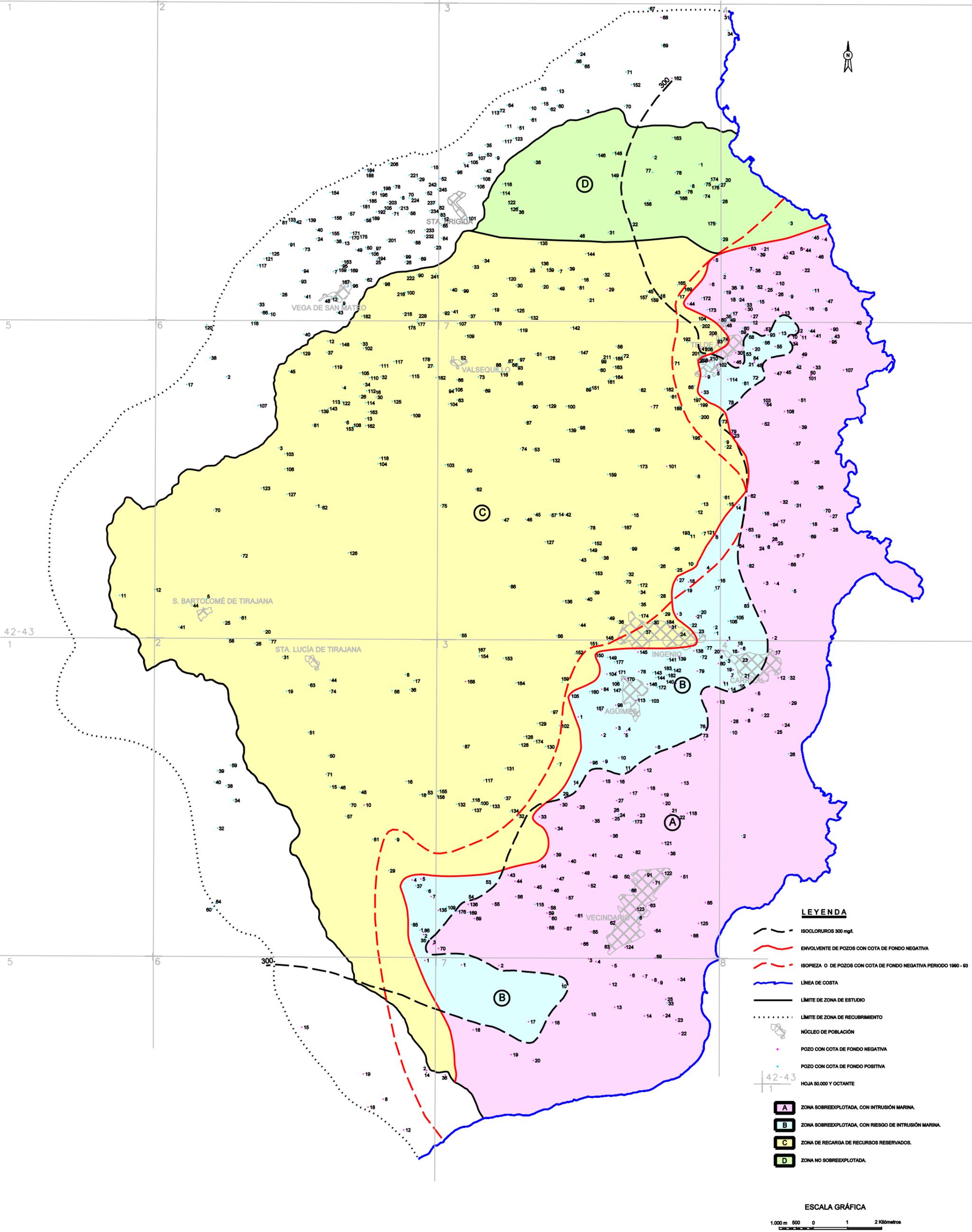
Catalogado el acuífero de la Zona Este de Gran Canaria como un acuífero globalmente sobreexplotado, se han aplicado los criterios relativos al descenso de los niveles piezométrico y a la intrusión marina, diferenciado las zonas A, B, C y D que se muestran en la figura I.33, en las que la sobreexplotación se manifiesta de muy distinta manera y con repercusiones prácticas también muy diferentes. Dichas zonas resultan de la superposición de la isolínea del contenido en ión cloruro, igual a 300 mg/l, y una línea que define el recinto dentro del cual se localizan los pozos que penetran por debajo del nivel de mar (cota de fondo negativa).

La zona A es el recinto definido al norte, por la línea envolvente de los pozos con cota de fondo negativa, al sur por el límite de la zona de estudio, al este por la línea de la costa y, al oeste por la línea de contenido en ión cloruro de 300 mg/l. En todo el recinto el agua subterránea tiene una concentración en cloruro igual o superior a 300 mg/l. La superficie del recinto es de 121 km². Se considera que toda la zona está afectada por la intrusión marina.

La zona B definida por la línea envolvente de los pozos con cota de fondo negativa y la isolínea de 300 mg/l de cloruros, es una ZONA CON RIESGO DE SALINIZACIÓN por intrusión marina. Tiene una superficie de 34 km². El conjunto de las Zonas A y B (155 km²), salinizada o con riesgo de salinización y con niveles piezométricos por debajo del nivel del mar, tiene un balance hídrico deficitario motivos por los cuales se les cataloga como ZONAS SOBREEXPLOTADAS.

La zona colindante con la envolvente de los pozos con cota de fondo negativa y cuyo flujo subterráneo fluye hacia las zonas A y B es una ZONA DE RECARGA DE RECURSOS RESERVADOS para la protección de las zonas A y B. Tiene una superficie de 235 km².

Finalmente, la zona D de 26 km², perteneciente a los municipios de Las Palmas y Santa Brígida, cuyo flujo subterráneo vierte directamente al mar en un tramo de costa de unos 7 km de longitud, es una ZONA NO SOBREEXPLOTADA. Según



LEYENDA

- ISOCLORUROS 300 mg/l.
- ENVOLVENTE DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA
- ISOPIEZA O DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA PERIODO 1960 - 63
- LINEA DE COSTA
- LIMITE DE ZONA DE ESTUDIO
- LIMITE DE ZONA DE RECARGAMIENTO
- NÚCLEO DE POBLACIÓN
- POZO CON COTA DE FONDO NEGATIVA
- POZO CON COTA DE FONDO POSITIVA
- HOJA 50.000 Y OCTANTE
- A** ZONA SOBREENPLOTA, CON INTRUSIÓN MARINA.
- B** ZONA SOBREENPLOTA, CON RIESGO DE INTRUSIÓN MARINA.
- C** ZONA DE RECARGA DE RECURSOS RESERVADOS.
- D** ZONA NO SOBREENPLOTA.

ESCALA GRÁFICA



Fig. I.33 ZONAS SOBREENPLOTADAS CON INTRUSIÓN MARINA Y ZONAS SOBREENPLOTADAS CON RIESGO DE INTRUSIÓN.

el modelo matemático de flujo subterráneo la descarga al mar en el año 2002 ha sido de 1,1 hm³/año, además de incrementar las reservas en 0,3 hm³/año. Estos resultados hay que tomarlos con cautela ya que se trata de una zona marginal en la que se ha podido producir una cierta distorsión del flujo por la proximidad del límite adoptado para definir la Zona del Estudio.

10.4. Caracterización piezométrica e hidroquímica de las zonas sobreexplotadas

Las zonas A, B, C y D definidas según la sobreexplotación, están claramente diferenciadas por sus características piezométricas y por la calidad de sus aguas.

En la zona A, sobreexplotada y salinizada, los niveles piezométricos, afectados simultáneamente por los bombeo y por el efecto estabilizador del mar, oscilan generalmente entre 0 y -20m. Sólo en el Barranco de Tirajana descienden hasta -60 m. El agua está salinizada por la intrusión marina, oscilando el contenido en cloruros entre 300 y más de 5.000 mg/l.

En la zona B, sobreexplotada y en riesgo de salinización, la piezometría, generalmente por debajo de -20m llega a descender en algunos puntos por debajo del a cota -100m. Sin embargo, el agua no está salinizada, oscilando el contenido en cloruros entre 200 y 300 mg/l.

En la zona C, zona de recarga de recursos reservados para la protección de las zonas A y B, todos los niveles piezométricos tienen cota positiva y el contenido en cloruros suele oscilar en 100 y 200 mg/l, salvo en áreas muy concretas, en las que se excede el límite superior, pero sin tener relación con la intrusión marina.

En la zona D las características piezométricas y de calidad del agua son similares a las de la zona C.

10.5. Balances hídricos de las zonas definidas según la sobreexplotación

Los balances hídricos de cada una de las zonas A, B, C y D se resumen en los cuadros I.26 a I.29, correspondientes a los años 1981, 1991, 1996 y 2002.

Todos los balances se refieren a la capa superior (capa 1) de las tres que se contemplan en el modelo. Esta capa es la que recibe todas las solicitaciones externas al acuífero (recargas por infiltración de lluvia, retornos de riego, fugas en redes urbanas y extracciones por bombeos, galerías, o nacientes). Aunque existan intercambios de flujo con las capas 2 y 3, estas dos últimas actúan solamente como transmisoras del flujo.

Las variaciones significativas del almacenamiento se producen en la capa superior que funciona como acuífero libre, mientras que en las capas 2 y 3 la variación del almacenamiento es muy pequeña o despreciable.

Los intercambios con el mar se producen directamente en las celdas costeras de la capa 1 de nivel constante, e indirectamente a través de las celdas subyacentes de la capa 2.

En las columnas relativas a cada una de las Zonas A+B, C y D, se han tenido en cuenta los intercambios de flujo entre ellas a fin de obtener el balance hídrico individualizado de cada zona. En la columna del TOTAL se ha prescindido de los intercambios internos de flujo a fin de obtener el balance global de la zona estudiada.

Una variación del almacenamiento negativa (positiva) significa que se está vaciando (llenando) el acuífero. El balance hídrico es igual a la suma de recargas – suma de descargas \pm variación del almacenamiento.

La diferencia entre recargas y descargas, cuando es un número negativo, mide el déficit hídrico del acuífero y es, por lo tanto, la medida de la sobreexplotación. Es interesante observar cómo disminuye progresivamente la sobreexplotación hasta el año 2002.

En la totalidad del acuífero el déficit hídrico evoluciona desde 7,54 hm³/año en 1981 hasta 3,01 hm³/año en el 2002. En la zona sobreexplotada propiamente dicha (zona A + B) el déficit pasa de 9,89 hm³/año a 3,71 hm³/año, en dicho período de tiempo.

CUADRO I.26

BALANCE HÍDRICO DE LA CAPA SUPERIOR.
AÑO 1981 (hm³/a)

CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA 2	TOTAL
Recarga lluvia	0,20	24,21	0,56		24,97
Retorno riegos	6,00	2,77	0,14		8,91
Pérdida redes	3,03	0,58	0,60		4,21
De capa 2	2,17	0,91	0,32		
De zona A+B		0,32	0,07	0,02	
De zona C	7,19		0,29	3,57	
De zona D	0,18	0,13		0,06	
RECARGAS	18,77	28,92	1,98	3,65	38,09
Intrusión marina	2,55	0,00	0,09	0,01	2,65
Bombeos	27,51	15,58	0,78		43,87
Salidas al mar	0,74	0,00	0,93	0,09	1,76
A capa 2	0,02	3,57	0,06		
A zona A+B		7,19	0,18	2,17	
A zona C	0,32		0,13	0,91	
A zona D	0,07	0,29		0,32	
DESCARGAS	28,66	26,63	2,08	3,49	45,63
Variación almac.	-7,35	2,30	-0,01	0,18	-4,88
REC.- DESC.	-9,89	2,29	-0,10	0,16	-7,54

CUADRO I.27

BALANCE HÍDRICO DE LA CAPA SUPERIOR. AÑO 1991 (hm³/a)

CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA 2	TOTAL
Recarga lluvia	0,20	18,13	1,10		19,43
Retorno riegos	4,36	2,01	0,10		6,47
Pérdida redes	3,68	0,71	0,73		5,12
De capa 2	2,22	0,95	0,32		
De zona A+B		0,27	0,03	0,03	
De zona C	6,47		0,25	3,60	
De zona D	0,89	0,12		0,07	
RECARGAS	17,82	22,19	2,53	3,70	31,02
Intrusión marina	3,50	0,00	0,09	0,01	3,60
Bombeos	25,94	14,63	0,68		41,25
Salidas al mar	0,32	0,00	0,88	0,07	1,27
A capa 2	0,03	3,60	0,07		
A zona A+B		6,47	0,89	2,22	
A zona C	0,27		0,12	0,95	
A zona D	0,01	0,25		0,32	
DESCARGAS	26,576	24,95	2,64	3,56	42,52
Variación almac.	-5,27	-2,76	-0,04	0,16	-7,91
REC.- DESC.	-8,75	-2,76	-0,11	0,14	-11,50

CUADRO I.28

BALANCE HÍDRICO DE LA CAPA SUPERIOR. AÑO 1996 (hm³/a)

CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA 2	TOTAL
Recarga lluvia	0,18	20,50	1,23		21,91
Retorno riegos	2,56	1,18	0,06		3,80
Pérdida redes	4,83	0,93	0,96		6,72
De capa 2	2,23	0,94	0,31		
De zona A+B		0,31	0,02	0,03	
De zona C	6,34		0,25	3,59	
De zona D	0,89	0,12		0,07	
RECARGAS	17,03	23,98	2,83	3,69	32,43
Intrusión marina	4,01	0,00	0,10	0,02	4,13

Bombeos	21,90	12,54	0,58		35,02
Salidas al mar	0,39	0,00	0,93	0,07	1,39
A capa 2	0,03	3,59	0,07		
A zona A+B		6,34	0,89	2,23	
A zona C	0,31		0,12	0,94	
A zona D	0,02	0,12		0,31	
DESCARGAS	22,65	22,59	2,59	3,55	36,41

Variación almac.	-1,60	1,27	0,35	0,16	0,18
-------------------------	-------	------	------	------	------

REC. - DESC.	-5,62	1,39	0,24	0,14	-3,98
---------------------	-------	------	------	------	-------

CUADRO I.29

BALANCE HÍDRICO DE LA CAPA SUPERIOR. AÑO 2002 (hm³/a)

CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA 2	TOTAL
Recarga lluvia	0,00	17,83	1,17		19,00
Retorno riegos	2,04	0,94	0,05		3,03
Pérdida redes	5,30	1,02	1,05		7,36
De capa 2	2,21	0,96	0,31		
De zona A+B		0,36	0,01	0,03	
De zona C	6,06		0,25	3,56	
De zona D	0,80	0,13		0,07	
RECARGAS	16,40	21,24	2,84	3,66	29,39
Intrusión marina	3,87	0,00	0,06	0,02	3,95
Bombeos	19,25	11,03	0,51		30,79
Salidas al mar	0,46	0,00	1,07	0,07	1,60
A capa 2	0,03	3,56	0,07		
A zona A+B		6,06	0,80	2,21	
A zona C	0,36		0,13	0,96	
A zona D	0,01	0,25		0,31	
DESCARGAS	20,11	20,90	2,58	3,55	32,39
Variación almac.	0,17	0,33	0,33	0,13	0,96
REC.- DESC.	-3,71	0,34	0,26	0,11	-3,01

11. PROPUESTAS PARA EL CONTROL DE LA SOBREEXPLOTACIÓN Y LA REGULARIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

11.1. Plan General de Actuaciones

La multiplicidad de causas que propician la sobreexplotación del acuífero en la zona estudiada y sus amplias repercusiones económicas, sociales y medioambientales, exigen adoptar un conjunto de medidas y acciones de muy diversa índole, sostenidas en el tiempo y coordinadas entre sí, que, para ser eficaces, deben encuadrarse en un Plan General de Actuaciones, impulsado y dirigido por el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, que deberá consensuar las actuaciones con los agentes sociales involucrados. De alguna manera el Plan deberá incorporarse al Plan Hidrológico de la Isla en el momento de su revisión. Se propone que el Plan general se estructure en cuatro grupos de actuaciones.

- 1.- Regularización de recursos hídricos
- 2.- Moderación del crecimiento de demandas futuras
- 3.- Medidas complementarias de carácter económico, social y legal
- 4.- Programa para el control y vigilancia del acuífero.

11.2. Regularización de recursos hídricos

Se enuncian a continuación las actuaciones propuestas relativas a la regularización de los recursos hídricos disponibles, evaluando globalmente los resultados esperados.

11.2.1. Propuestas sobre los recursos naturales

Teniendo en cuenta que el 94% de la zona estudiada se cataloga como sobreexplotada (zonas A y B) o como zona de recarga con recursos reservados (zona C), se recomienda:

- a) Sustitución del volumen actualmente sobreexplotado del acuífero por el incremento de la reutilización de aguas residuales depuradas.
- b) No concesión de nuevas captaciones ni incremento de los volúmenes extraídos anualmente del acuífero.
- c) En especial, disminución de los volúmenes explotados en las zonas A y B, mientras dure la sobreexplotación, compaginando el derecho individual de cada usuario con el interés general.

11.2.2. Propuestas sobre reutilización de aguas residuales depuradas

Aunque la zona Este de gran Canaria cuenta con unos 14 hm³/año de aguas residuales con depuración terciaria, su utilización actual se limita a 5,6 hm³/año.

El conjunto de propuestas que se enuncian a continuación tienen como objetivo maximizar la reutilización de aguas residuales llegando, si fuera posible, a 12 hm³/año al horizonte del año 2012. Estas propuestas son las siguientes:

- a) Extender a las 2.188 ha en regadío que se localizan en las áreas sobreexplotadas (A+B) el uso de aguas residuales depuradas. Probablemente será necesario completar la red de distribución de aguas residuales e impulsar la creación de nuevas Comunidades de Regantes, así como al riego de campos de golf. Se podrían reutilizar unos 10-11 hm³/año por este concepto.
- b) Extender a los núcleos urbanos de Telde, Ingenio, Agüimes y Santa Lucía el uso de aguas residuales para el riego de parques, jardines y baldeo de calles. Se estima una reutilización de 0,7 hm³/año.
- c) Estudiar la viabilidad de abastecer con aguas residuales depuradas, determinadas industrias ubicadas en los polígonos industriales.

11.2.3. Propuestas sobre desalinización de aguas salobres

En el caso de las plantas desalinizadoras que toman aguas salobres en las zonas sobreexplotadas (zonas A y B) se propone proceder a un progresivo cierre de las mismas ya que se requiere bombear entre 1,25 y 1,45 m³ de agua del acuífero para obtener 1m³ de agua desalinizada, lo que es muy perjudicial desde el punto de vista de la sobreexplotación, denegando cualquier autorización futura de desalinización.

Análogamente, también se deben denegar (o en su caso cerrar) las desalinizadoras que se alimentan con aguas salobres no vinculadas a la intrusión marina situadas en la zona C ya que los efectos del bombeo se transmiten íntegramente a las zonas A y B sobreexplotadas.

Solamente en la zona D se puede autorizar la desalación de agua salobre no marina, hasta alcanzar como máximo un volumen anual de 1 hm³/año, previa la realización de estudios de detalle que confirmen los resultados aquí obtenidos.

11.2.4. Propuestas sobre desalación de agua de mar

En el momento actual la capacidad nominal de desalación de agua de mar instalada en la zona de estudio es de 61.700 m³/día. En principio no parece necesario prever ampliaciones de la capacidad de desalación a corto y medio plazo, especialmente si se llevan a la práctica las propuestas de reutilización de aguas residuales antes expuestas.

11.2.5. Efectos esperados

En el cuadro I.30 y I.31 se resumen los balances hidráulicos al año 2012, que se obtendrían en los supuestos de no adoptar ninguna medida específica para la regularización de los recursos (hipótesis 1) o en el caso de aplicar las propuestas antes expuestas (hipótesis 2).

A nivel global del acuífero, en el año 2012, según la hipótesis 1, el agua almacenada en el acuífero aumenta en 2,92 hm³ pero, como la intrusión marina es de 3,77 hm³, el resultado es una disminución de agua dulce de 0,85 hm³. Además, la descarga supera a la recarga en 0,86 hm³. El déficit global es de 1,71 hm³.

CUADRO I.30

**BALANCES HÍDRICOS POR ZONAS EN LA CAPA SUPERIOR
CORRESPONDIENTES A 2012 PARA LA HIPÓTESIS DE INCREMENTO EN
LOS BOMBEO (hm³/a)**

Balance capa superior. Año 2012. Hipótesis 1					
CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA2	TOTAL
Recarga lluvia	0,00	19,84	1,31		21,15
Retorno riegos	2,04	0,94	0,05		3,03
Pérdidas redes	6,67	1,28	1,32		9,27
De capa 2	2,19	0,98	0,30		
De zona A+B		0,40	0,00	0,03	
De zona C	5,93		0,25	3,55	
De zona D	0,80	0,14		0,07	
RECARGAS	17,63	23,58	3,23	3,65	33,45
Intrusión marina	3,72	0,00	0,03	0,02	3,77
Bombes	20,11	11,52	0,53		32,16
Salidas al mar	0,78	0,00	1,29	0,08	2,15
A capa 2	0,03	3,55	0,07		
A zona A+B		5,93	0,80	2,19	
A zona C	0,40		0,14	0,98	
A zona D	0,00	0,25		0,30	
DESCARGAS	21,32	21,25	2,83	3,55	34,31
Variación almac.	0,03	2,33	0,43	0,13	2,92
REC. - DESC.	-3,69	2,33	0,40	0,10	-0,86

En el año 2012, según la hipótesis 2, el agua almacenada en la totalidad del acuífero aumenta en 10,37 hm³. Como la intrusión marina es de 2,59 hm³ hay un aumento de agua dulce de 7,78 hm³. No hay déficit en el acuífero y hay un excedente de agua que permite una progresiva recuperación de los niveles piezométricos y de la calidad del agua en las zonas salinizadas por intrusión.

CUADRO I.31

**BALANCES HÍDRICOS POR ZONAS EN LA CAPA SUPERIOR
CORRESPONDIENTES A 2012 PARA LA HIPÓTESIS DE
RESTRICCIONES EN LOS BOMBEO (hm³/a)**

Balance capa superior. Año 2012. Hipótesis 2					
CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA2	TOTAL
Recarga lluvia	0,00	19,84	1,31		21,15
Retorno riegos	2,04	0,94	0,05		3,03
Pérdidas redes	6,67	1,28	1,32		9,27
De capa 2	2,08	1,01	0,31		
De zona A+B		0,44	0,00	0,02	
De zona C	5,16		0,25	3,53	
De zona D	0,46	0,13		0,06	
RECARGAS	16,41	23,64	3,24	3,61	33,45
Intrusión marina	2,58	0,00	0,00	0,01	2,59
Bombes					
	11,25	11,03	0,51		22,79
Salidas al mar	1,29	0,00	1,51	0,10	2,90
A capa 2	0,02	3,53	0,06		
A zona A+B		5,16	0,46	2,08	
A zona C	0,44		0,13	1,01	
A zona D	0,00	0,25		0,31	
DESCARGAS	13,00	19,97	2,67	3,50	25,69
Variación almac.					
	6,01	3,66	0,57	0,13	10,37
REC. - DESC.					
	3,41	3,67	0,57	0,11	7,76

Los resultados relativos a la Zona costera sobreexplotada (Zona A+B) son todavía más espectaculares. Según la hipótesis 1, la variación del almacenamiento en la zona sobreexplotada al año 2012 es despreciable (0,03 hm³/año) frente a una intrusión marina de 3,72 hm³/año. Es decir, el agua dulce en el acuífero disminuye en 3,7 hm³/año. En la hipótesis 2 el incremento del almacenamiento es 6,01 hm³/año y la intrusión marina es de 2,58 hm³/año. El volumen de agua dulce ha crecido, por lo tanto, en 3,43 hm³/año.

11.3. Propuestas para moderar el crecimiento futuro de las demandas de agua

En la Zona Este de Gran Canaria frente a una demanda de 49 hm³/año la cuantía de los recursos subterráneos por infiltración de agua de lluvia es tan sólo de 20 hm³ en un año medio. Se puede afirmar que el agua no es sólo un recurso natural escaso, como se dice en la Ley de Aguas y en el Plan Hidrológico de la Isla, sino que es un recurso natural insuficiente y no basta con optimizar el uso de los recursos naturales o no naturales, es preciso también moderar el crecimiento de las demandas futuras. Es verdad que cualquier crecimiento de la demanda futura se podría satisfacer con desalación de agua de mar, pero a un coste muy elevado y permanente en crecimiento, a tenor de la tendencia del coste de las fuentes de energía.

11.3.1. Recomendaciones para moderar el crecimiento de las demandas agrarias

Admitiendo que el déficit actual del balance hídrico del acuífero de la Zona Este se sitúa en torno a los 3,7 hm³/año y que la corrección del déficit vendrá por la vía de reutilización para regadío de las aguas residuales depuradas, se tendrá que admitir que la demanda agraria no debería crecer hasta que se haya corregido ese déficit y que una vez corregido se podría admitir un crecimiento de la demanda para riego en la misma cuantía en que crezca el agua residual depurada disponible para riego.

La moderación de las demandas de agua para riego exige el control de la evolución de la superficie regada y de las dotaciones de agua para riego. Para llegar a un control eficaz conjugando a un tiempo el interés general y los derechos adquiridos de los usuarios se recomienda:

Primero. La participación en todo el proceso junto al CIAGC de los Servicios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, de los regantes individuales y de las Comunidades de Regantes, de las Comunidades de Aguas, y, de los productores de recursos hídricos no convencionales.

Segundo: Determinación por consumo entre todos los agente sociales de las dotaciones de riego aplicables a cada cultivo según los sistema de riego, la cota topográfica y la orientación del terreno. Las dotaciones se revisarán periódicamente en el marco del Plan Hidrológico de la Isla.

Tercero: A efectos de la utilización de agua residual depurada todos los regantes estarán obligatoriamente integrados en Comunidades de Regantes y cursarán los pedidos a través de su Comunidad.

11.3.2. Recomendaciones sobre las demandas urbanas e industriales

Para la recuperación del acuífero es imprescindible controlar de manera efectiva e inmediata el cumplimiento de las Ordenanzas del Plan Hidrológico respecto a la

prohibición de abastecer con agua de pozos a la población, turismo e industrias situados por debajo de la cota 300 m sobre el nivel del mar.

11.4. Propuestas de medidas complementarias de carácter socioeconómico

11.4.1 Incentivos económicos para optimizar el consumo de aguas residuales depuradas

Las diferencias existentes entre el régimen de producción de aguas residuales (prácticamente un caudal constante a lo largo del año) y la acusada variación estacional de la necesidades de agua para riego no permite utilizar el 100% del potencial de producción de aguas residuales depuradas. La solución mediante balsas de regulación permitiría incrementar la utilización pero son obras muy costosas y no sería fácil encontrar espacios adecuados para su ubicación.

Se recomienda estudiar posibles soluciones consistentes en establecer tarifas diferenciadas para los usos agrarios según se trate del período de máxima o de mínima demanda de agua para riego, para incentivar su uso.

11.4.2. Actuaciones para favorecer la constitución de Comunidades de Regantes

Las Comunidades de Regantes son el instrumento clave para la ordenación de los recursos hídricos en el medio rural. Además, son la condición necesaria para la reutilización de las aguas residuales depuradas.

Por ello, se recomienda abordar actuaciones que favorezcan la constitución de nuevas Comunidades de Regantes, que pueden consistir en ayudas técnicas y financieras para:

- Dotarles de una mínima organización interna
- Dotarles de la adecuada infraestructura hidráulica para la distribución del agua entre los comuneros.
- Dotarles de los automatismos y medios informáticos necesarios para la gestión del riego y de la propia Comunidad.
- Dotarles de los instrumentos de medida y control de caudales a nivel de Comunidad y de parcela.

Los sistemas de riego automatizados e informatizados y los programas para la gestión de las Comunidades de Regantes han demostrado ser el método más eficaz para ahorrar agua en el regadío.

11.4.3. Propuesta para la actualización permanente de los datos del agua.

La importancia socioeconómica y medioambiental del agua en Gran Canaria exige que los gestores apoyen sus decisiones en datos fiables y actualizados, en especial cuando tienen que enfrentarse a procesos dinámicos como es el caso de la sobreexplotación de acuíferos.

Por ello se recomienda adoptar las medidas necesarias para mantener permanentemente actualizadas las estadísticas de extracciones de aguas de pozos, producción de aguas industriales, etc. De modo que a nivel mensual se disponga de las cifras de producciones, bombeos, consumos y, a nivel anual, del balance hídrico del acuífero.

El cuadro estadístico general del estado del agua en la zona se completaría con los datos de evolución de niveles piezométricos y de calidades de agua que se hayan obtenido en la red de observación hidrogeológica como se expone más adelante.

11.5. Programa para el control y vigilancia del acuífero

El programa previsto para el control y la vigilancia del acuífero incluye:

- a) Establecimiento de una red de pozos para la medida de niveles piezométricos. Se recomienda a corto plazo:
 - Disponer de 155 puntos de medida en la zona sobreexplotada (A y B) que equivale a 1 punto por km^2 de superficie. Se proponen 2 medidas anuales en cada punto.
 - Disponer de 100 puntos de medida en las zonas no sobreexplotadas (C y D) lo que equivale a 1 punto por $2,6 \text{ km}^2$, efectuando una medida anual.

A medio plazo de:

- Construir una red de sondeos perforados específicamente para medida de niveles piezométricos al menos a dos profundidades distintas. Estarán equipados con una estación automática de medida y registro de niveles conectada a una estación remota de telecomunicación.
- b) Establecimiento de una red para control y vigilancia de la calidad del agua. Se recomienda utilizar los mismos puntos de medida de niveles piezométricos realizando medidas in situ cada vez que se efectúen las medidas de niveles piezométricos. Cada dos años se enviarán muestras para efectuar las determinaciones analíticas en laboratorio.
 - c) El conocimiento de las extracciones de agua subterránea es esencial para el estudio de la sobreexplotación. Por ello se propone establecer, siempre

que sea posible, un doble sistema de medida y control. El primero consistiría en instalar, con autorización de la propiedad de la captación, un contador volumétrico. El segundo método consistiría en el control del consumo energético en el pozo o captación junto con datos de la altura de bombeo y de la potencia de las bombas.

Con periodicidad anual el CIAGC elaborará un informe con los datos obtenidos en las redes de observación analizando la evolución observada con respecto a las series históricas existentes, incorporando datos de extracciones de aguas subterráneas y de producción industrial de recursos no convencionales. Las conclusiones incluirán un diagnóstico del estado de la sobreexplotación del acuífero y de sus respuestas a las medidas adoptadas para el control de la sobreexplotación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabildo de Gran Canaria 1991 *Actualización del conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria*. 1 tomo (Inédito)
- Cabrera Santana, M.C. 1995 *Caracterización del Funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria)*. U. Salamanca, Dpto. de Geología. Tesis doctoral. 2 tomos, 363 pp.
- Carracedo, J.C.; Pulido, T; et alt. 1980 *Canarias*. Ed ANAYA. ISBN 84-207-2006-2. 320pp
- CIAGC 1998 *Plan Hidrológico de Gran Canaria*. Boletín Oficial de Canarias
- COPVA- Cabildo Insular de Gran Canaria 1990 *Avance del Plan Hidrológico de Gran. Inventario de recursos subterráneos. Nivel 1*. Oficina del Plan Hidrológico de Gran Canaria. 4 tomos (Inédito)
- COPVA- Cabildo Insular de Gran Canaria 1991 *Avance del Plan Hidrológico de Gran. Zonificación hidrológica*. Oficina del Plan Hidrológico de Gran Canaria. 1 tomo (Inédito)
- COPVA- Cabildo Insular de Gran Canaria 1993 *Avance del Plan Hidrológico de Gran. Inventario de captaciones de agua subterránea. Zona Sur sectores 1 y 2*. 2 tomos (Inédito)
- Custodio, E 1979 *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. Ed. CEDEX
- Custodio, E; Llamas, M.R. 1976 *Hidrología subterránea*. Ed Omega. 2 tomos.
- ITGE *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-83 (1.109-IV). Teror.*
- ITGE 1990 *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-84 (1.109-III). San Bartolomé de Tirajana.*
- ITGE 1990 *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-85 (1.114-IV). Santa Lucía.*
- ITGE *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-85, 83-87 (1.114-I). Maspalomas.*
- ITGE *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-83 (1.109-I). Santa Brigida.*
- ITGE *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-84 1.109-I). Telde.*
- ITGE 1990 *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-85 (1.114-I). Agüimes.*
- ITGE *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-86 (1.114-II). Castillo del Romeral.*
- ITGE 1992 *MAGNA a escala 1:100.000. Hoja 21-21/21-22. Isla de Gran Canaria.*
- 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. Subsistemas S.1.A. y S1.M. Tres tomos. (Inédito)*
- La Moneda, E 2002 *Estudio hidrogeológico del Barranco de Tirajana (Gran Canaria). ULPGC. Trabajo Tutelado. (Inédito).*
- Lomoschitz, A 1995 *Análisis del origen y evolución de la depresión de Tirajana. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña. (Inédita) 203 pp.*
- Lomoschitz, A 1999 *La depresión del barranco de Tirajana. Gran Canaria. Ediciones del Cabildo de Gran Canaria. 200 pp. ISBN 84-8103-207-7*
- MOP-UNESCO. 1975 *Proyecto SPA/69/515. Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias. 4 tomos.*
- Pérez Torrado, F.J. 1992 *Volcanoestratigrafía del grupo Roque Nublo (Gran Canaria). ULPGC. Facultad de Ciencias del mar. Dpto. de Física. Tesis doctoral. 510 pp.*