



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 IX. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS
SOBREENPLOADAS**

IX. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS SOBREEXPLOTADAS

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1. Antecedentes
 - 1.2. Objetivos
 - 1.3. Planteamiento de los trabajos a realizar y sus metodologías
 - 1.4. Alcance y validez de los trabajos

2. IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS SOBREEXPLOTADAS O CON PROBLEMAS DE SALINIDAD
 - 2.1. Criterios para identificar y delimitar las áreas sobreexplotadas o con problemas de salinidad
 - 2.2. Balances hídricos globales de la zona en estudio
 - 2.3. Zonificación del área estudiada a efectos de la sobreexplotación
 - 2.4. Zonas no costeras con problemas de salinidad

3. CARACTERIZACIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA ZONA SOBREEXPLOTADA
 - 3.1. Consideraciones previas sobre los niveles piezométricos en la Zona Este de Gran Canaria
 - 3.2. Análisis piezométrico de detalle
 - 3.3. Conclusiones

4. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA ZONA SOBREEXPLOTADA

5. BALANCES HÍDRICOS DE LAS ZONAS DEFINIDAS COMO SOBREEXPLOTADAS

6. PROPUESTAS PARA EL CONTROL DE LA SOBREEXPLOTACIÓN Y LA REGULARIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
 - 6.1. Introducción
 - 6.2. Plan general de actuaciones
 - 6.3. Propuestas para la regularización de los recursos hídricos
 - 6.3.1. Propuestas sobre la desalinización de aguas salobres
 - 6.3.2. Propuestas sobre la reutilización de aguas residuales
 - 6.3.3. Propuestas sobre la desalación de agua de mar
 - 6.3.4. Propuestas sobre los recursos naturales
 - 6.4. Propuestas sobre las demandas de agua
 - 6.4.1. Demandas agrarias
 - 6.4.2. Demandas urbanas e industriales
 - 6.5. Propuestas de medidas de carácter socioeconómico
 - 6.5.1. Incentivos económicos para optimizar el consumo de aguas residuales depuradas

- 6.5.2. Actuaciones para favorecer la constitución de Comunidades de Regantes
- 6.5.3. Acciones para la actualización permanente de los datos del agua

7. PROGRAMA PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DEL ACUÍFERO

- 7.1. Objetivos
- 7.2. Vigilancia y control de niveles piezométricos
 - 7.2.1. Red de pozos
 - 7.2.2. Red de sondeos
- 7.3. Vigilancia y control de la calidad del agua
- 7.4. Vigilancia y control de las extracciones
- 7.5. Elaboración de los datos obtenidos
- 7.6. Estudios especiales
 - 7.6.1. Estudio de la evolución pluviométrica
 - 7.6.2. Continuación del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo y de la intrusión marina
- 7.7. Presupuesto

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 8.1. Zonificación del acuífero
- 8.2. Plan General de Actuaciones
 - 8.2.1. Regularización de recursos hídricos
 - 8.2.2. Propuestas complementarias
- 8.3. Programa para el control y vigilancia de la sobreexplotación

CUADROS

- IX.1. Resumen de balances hídricos en la zona Este de Gran Canaria
- IX.2. Distribución de pozos según contenidos en cloruros, cota de fondo del pozo y cota del nivel piezométrico (znp)
- IX.3. Balance hídrico de la capa superior. Año 1981 (hm³/a)
- IX.4. Balance hídrico de la capa superior. Año 1986 (hm³/a)
- IX.5. Balance hídrico de la capa superior. Año 1991 (hm³/a)
- IX.6. Balance hídrico de la capa superior. Año 1996 (hm³/a)
- IX.7. Balance hídrico de la capa superior. Año 2002 (hm³/a)
- IX.8. Características de los sondeos piezométricos

FIGURAS

- IX.1. Zonas sobreexplotadas
- IX.2. Distribución espacial de pozos con agua salobre con tendencia estacionaria

PLANOS

- IX.1. Zonas sobreexplotadas
- IX.2. Situación cortes piezométricos-hidroquímicos
- IX.3. Corte I-I'
- IX.4. Corte II-II'

- IX.5. Corte III-III'
- IX.6. Corte IV-IV'
- IX.7. Corte V-V'
- IX.8. Corte VI-VI'
- IX.9. Corte VII-VII'
- IX.10. Corte VIII-VIII'
- IX.11. Corte IX-IX'
- IX.12. Corte A-A'
- IX.13. Corte B-B'
- IX.14 a. Isopiezas del período 1980-82 y pozos con cota de fondo negativa.
- IX.14 b. Isopiezas del período 1980-82 y pozos con cota de fondo positiva.
- IX.15 a. Isopiezas del período 1985-87 y pozos con cota de fondo negativa
- IX.15 b. Isopiezas del período 1985-87 y pozos con cota de fondo positiva.
- IX.16 a. Isopiezas del período 1990-93 y pozos con cota de fondo negativa.
- IX.16 b. Isopiezas del período 1990-93 y pozos con cota de fondo positiva.
- IX.17 a. Isopiezas del período 1997-99 y pozos con cota de fondo negativa.
- IX.17 b. Isopiezas del período 1997-99 y pozos con cota de fondo positiva.
- IX.18. Isopiezas período 1990-93 + cloruros
- IX.19. Evolución piezométrica en la zona sobreexplotada 1980-82; 1985-87; 1990-93; 1997-99
- IX.20. Situación de sondeos de la red de observación

ANEJOS

- Anejo IX.1. Relación de captaciones situadas en la zona sobreexplotada
- Anejo IX.2. Balance hídrico de las zonas sobreexplotada (A+B)
- Anejo IX.3. Estimación del volumen máximo de reutilización de aguas residuales depuradas
- Anejo IX.4. Identificación y caracterización de zonas sobreexplotadas.
Tomo de planos I y II.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la isla de Gran Canaria el estudio de las aguas subterráneas y la sobreexplotación de las mismas tiene una larga historia como se ha puesto de manifiesto en los diferentes estudios y trabajos realizados en las últimas décadas. Así, en el “Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias SPA/69/515” (SPA-15), iniciado en 1970, se concluía que, en lo que respecta a la Isla de Gran Canaria y a escala regional, la Isla conforma un acuífero único, muy heterogéneo, fuertemente anisótropo que, por su estructura interna se comporta como un conjunto de baja o muy baja permeabilidad, aunque localmente se encuentren materiales permeables o muy permeables.

Pocos años más tarde (1983) el modelo de simulación de flujo subterráneo elaborado en el marco del Proyecto MAC-21, determinaba la sobreexplotación del acuífero de Gran Canaria, considerando un primer esquema de flujo subterráneo tridimensional, y evaluaba el déficit global (calculado como la disminución de las reservas) en 52 hm³/a, 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.

En todos estos balances, que se extienden a un período de 25 años, se concluye que a nivel insular el déficit es global. Responde a un exceso del bombeo sobre los recursos disponibles, que se manifiesta por agotamiento de caudales, disminución de reservas e intrusión marina en zonas costeras. Todo ello ha obligado, como es bien sabido, a aportar recursos hídricos no convencionales al sistema (desalación de agua de mar, desalinización de agua salobre, reutilización de aguas residuales depuradas) que han permitido aminorar la sobreexplotación, aunque a un elevado coste.

En el presente Estudio se han elaborado los balances anuales, a partir del proceso de ajuste del modelo de simulación del flujo subterráneo, referido a las situaciones de los periodos de 1980-82, 1985-87, 1990-93 y 1997-99, prolongando después la simulación hasta el año 2002. Los resultados obtenidos están en línea con los balances a nivel insular antes comentados.

1.2. Objetivos

Los objetivos generales de este capítulo se resumen en los siguientes puntos:

- 1) Identificar y caracterizar las áreas sobreexplotadas en la Zona Este de Gran Canaria, o en riesgo de estarlo o con problemas de salinidad.

- 2) Formular propuestas para la regularización de los recursos hídricos disponibles a fin de erradicar la sobreexplotación de las aguas subterráneas y propiciar, en su caso, la regeneración de las áreas y de las captaciones afectadas.
- 3) Elaborar las propuestas para establecer los mecanismos que permitan la observación de la evolución del acuífero y el control de su explotación.

Cada uno de estos objetivos generales, complejos por su amplitud temática, incluye un conjunto de objetivos parciales, más simples y más concretos en su contenido, que por razones de orden práctico y de claridad metodológica se comentan a continuación.

El primer objetivo general incluye como objetivos parciales:

- 1.a) La identificación de las zonas sobreexplotadas o con problemas de salinidad, definiendo sus límites, en superficie y en profundidad, como resultado de aplicar los criterios que se exponen más adelante en el epígrafe 1.2. de este capítulo.
- 1.b) La caracterización piezométrica de las áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación y su evolución histórica.
- 1.c) La caracterización hidroquímica de dichas áreas, atendiendo a parámetros significativos de la sobreexplotación definiendo su distribución espacial y su evolución en el tiempo.
- 1.d) Determinación de los balances hídricos de las áreas sobreexplotadas.
- 1.e) Diagnóstico del tipo de sobreexplotación observada atendiendo a sus causas, efectos y a su carácter evolutivo.

El segundo de los objetivos generales antes enunciados incluye propuestas para erradicar la sobreexplotación con los siguientes objetivos parciales:

- 2.a) Control y moderación del crecimiento de las demandas futuras, especialmente de las demandas agrarias.
- 2.b) Mejora de la gestión de los recursos disponibles atendiendo a su disponibilidad, calidad, impacto ambiental y coste económico, salvaguardando el equilibrio de explotación de las aguas subterráneas e impulsando la reutilización de las aguas residuales con depuración secundaria en determinados usos.

Finalmente, el tercero de los objetivos generales, incluye propuestas para:

- 3.a) El seguimiento de la piezometría y de la calidad del agua subterránea.

3.b) El control de las extracciones de agua.

3.c) La mejora de la recarga del acuífero.

Las propuestas mencionadas deben entenderse como un enunciado preliminar de las mismas indicando sus objetivos específicos, pero es obvio que, una vez aprobadas por el Consejo Insular del Agua de Gran Canaria, deberán ser objeto de un desarrollo mucho más detallado antes de llevarlas a la práctica definiendo prioridades, equipos, plazos, coste económico, financiación, etc.

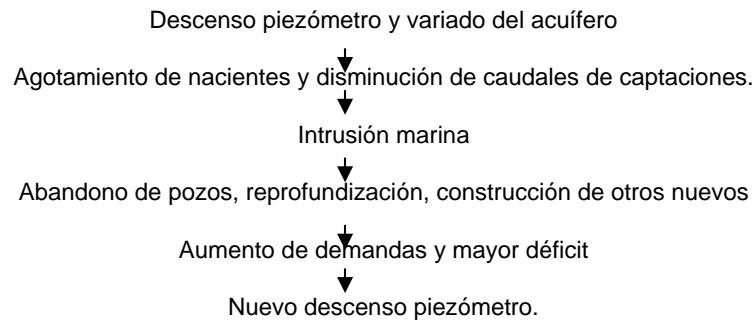
1.3. Planteamiento de los trabajos a realizar y su metodología

El planteamiento de los trabajos a realizar en el desarrollo de este apartado y su metodología, ha estado condicionado por tres elementos o factores principales:

- * Los resultados de los estudios básicos desarrollados en los capítulos precedentes de este informe.
- * Los datos básicos de partida relativos a las captaciones, a las medidas piezométricas y a las determinaciones hidroquímicas, disponibles en las bases de datos, y su fiabilidad.
- * Los objetivos concretos que se quieren alcanzar, que ya se han enunciado en el epígrafe 1.2.

De los estudios básicos desarrollados en capítulos precedentes, en particular, los relativos a usos y demandas de agua (cap.II), recursos hídricos no convencionales (cap.V), hidrogeología (cap.VI), calidad del agua (cap.VII) y modelo de simulación del flujo subterráneo (cap.VIII) se concluye que al menos durante los últimos 30 años y presumiblemente desde una fecha anterior, en la Zona Este de Gran Canaria el acuífero está globalmente sobreexplotado, es decir, el balance hídrico entre las recargas totales del acuífero y las descargas (bombeos y salidas al mar), es deficitario, afectando a la totalidad del acuífero. No obstante, en las Zonas Media y Alta (situadas por encima de las cotas 300 y 800 m respectivamente) por ser zonas de recarga por infiltración de agua de lluvia, por su situación respecto al mar en distancia y en cota, y por las propias características del flujo subterráneo, los efectos de la sobreexplotación se manifestaron con relativa celeridad en forma de descensos piezométricos y agotamiento de nacientes y de galerías. En la actualidad parece que ya se ha alcanzado una situación de equilibrio con variaciones piezométricas interanuales asociadas a las variaciones pluviométricas.

Por el contrario en la Zona Baja, situada por debajo de la cota topográfica 300 m, la sobreexplotación sigue manifestándose en forma de intrusión marina dirigida hacia los conos piezométricos provocados por los bombeos. En esta zona, por su condición de área costera conectada hidráulicamente con el mar, el proceso de la sobreexplotación, que se inicia con un balance hídrico deficitario, desencadena una secuencia de efectos no deseables que se concretan en:



Se entra así en una espiral sin límites que por algún lado hay que romper, en cuyo origen y desarrollo juegan un importante papel como causa determinante los pozos con cota de fondo por debajo del nivel del mar (negativa) que son, a su vez, los pozos más afectados. Por el contrario, los pozos con cota de fondo positiva salvo excepciones no estarán afectados por la intrusión. En consecuencia, gran parte del estudio de la sobreexplotación se ha basado en un análisis conjunto de las extracciones, de la piezometría y de la calidad del agua diferenciando pozos con cota de fondo negativa y pozos con cota de fondo positiva. Todo ello acompañado de un balance hídrico específico de la zona sobreexplotada.

Los estudios de detalle de la zona sobreexplotada incluyen su caracterización geométrica, piezométrica e hidroquímica. Para ello, se han confeccionado 11 cortes piezométricos e hidroquímicos a escalas horizontal H 1:25.000, y vertical V 1:2.000, anejo IX.4 Identificación y caracterización de zonas sobreexplotadas tomo de planos, que han puesto de manifiesto un complejo funcionamiento hidrogeológico de la zona sobreexplotada, en la que pueden coexistir niveles piezométricos superpuestos. Ello ha inducido a su vez a elaborar mapas de isopiezas diferenciados, según se trate de pozos con cota de fondo positiva o negativa. A su vez, este análisis ha llevado de la mano a una nueva interpretación de los datos históricos de niveles piezométricos, en la que la división en niveles estáticos y dinámicos ha quedado relegada a un segundo término, frente a la diferenciación de niveles en función de las cotas de fondo de las captaciones.

1.4. Alcance y validez de los trabajos

Los resultados obtenidos en este Estudio se pueden considerar suficientemente fiables y, aunque mejorables en el futuro, suponen un sensible avance en el conocimiento hidrogeológico de la zona sobreexplotada y constituyen una base sólida para abordar una regularización eficaz de sus recursos hídricos.

No obstante, sobre el alcance y la validez de los trabajos realizados para la elaboración de este capítulo es importante señalar algunas cuestiones relativas a los datos básicos de partida (medidas piezométricas, determinaciones analíticas) contenidos en las bases de datos. En primer lugar, sería necesaria en un futuro una nueva interpretación del significado hidrogeológico de los datos allí contenidos a la luz de los esquemas de funcionamiento hidráulico que más adelante se exponen. En segundo lugar, al quedar las series históricas interrumpidas, según zonas en el entorno del año 1993 o del año 1999 y será

necesaria una nueva campaña generalizada de medidas piezométricas y de muestreo y análisis de aguas, que permitan conocer el estado actual del acuífero y sacar las consecuencias pertinentes antes de aplicar las propuestas de regularización de los recursos hídricos disponibles que más adelante se exponen.

Otras consideraciones que conviene recordar aquí son las que se citan en el Capítulo VIII. Modelo de simulación del flujo subterráneo, del presente informe. En particular, la necesidad de profundizar en el conocimiento de cuatro temas que son básicos para mejorar el diagnóstico de la sobreexplotación en la Zona Este de Gran Canaria y la previsión de su evolución futura si se aplican las medidas propuestas. Estos temas son:

- a) Estudio de la evolución pluviométrica observada en los pluviómetros con mayores longitudes de registros en la Isla, emitiendo un pronóstico de su evolución futura y de la incidencia en la recarga del acuífero por infiltración del agua de lluvia.
- b) Alcanzar un mejor conocimiento de los volúmenes de agua extraídos en cada captación.
- c) Disponer de medidas piezométricas puntuales (X, Y, Z) puesto que se trata de un flujo tridimensional, obtenidas de una red de piezómetros ex profeso.
- d) Análogamente, disponer de análisis químicos del agua subterránea, que se puedan asignar con seguridad a puntos X, Y, Z del acuífero.

2. IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS SOBREEXPLOTADAS O CON PROBLEMAS DE SALINIDAD

2.1. Criterios para identificar y delimitar las áreas sobreexplotadas o con problemas de salinidad

La Ley 12/1990, de 25 de julio, de Aguas de Canarias no define de un modo explícito que se entiende por sobreexplotación de un acuífero ni los criterios por los que se considera que un acuífero se cataloga como sobreexplotado. Sin embargo, el punto 1 del artículo 208 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, Decreto 86/2002, de 2 de julio, dice: *La declaración de zona sobreexplotada deberá fundarse en la existencia de un régimen de explotación de un acuífero o parte de él caracterizado por lo excesivo o inadecuado de las extracciones de agua de sus captaciones, cuando éstas sean interdependientes y la reordenación de ese régimen suponga previsible mejoras con respecto al caudal captado globalmente, a la calidad media de las aguas aprovechadas o al coste económico conjunto de la explotación.* En las condiciones de la Zona Este de Gran Canaria, los principales efectos no deseables que pueden condicionar la explotación sostenible del acuífero, o de una parte del mismo, son:

- El descenso de los niveles piezométricos hasta límites no aceptables por cualquier causa.
- El vaciado progresivo del acuífero hasta un límite no aceptable.
- El agotamiento de caudales de las captaciones.

- La salinización por intrusión marina en la zona costera o la mineralización de las aguas con sales perjudiciales para el hombre o la agricultura en zonas del interior.

De los resultados obtenidos en el Capítulo VII. Calidad del agua de este estudio se deduce que la salinización por intrusión marina es el efecto perjudicial que impone unos límites a la explotación de las aguas subterráneas. La intrusión marina se produce cuando existen piezometrías negativas en zonas próximas a la costa. Su magnitud depende, entre otras variables, del balance hídrico del acuífero y de la distribución espacial de las captaciones existentes (en particular de su cota de fondo positiva o negativa). Habitualmente se ha utilizado como indicador de la intrusión la concentración del ión cloruro en las aguas subterráneas de las áreas presumiblemente afectadas.

En consecuencia, los criterios utilizados para identificar las áreas sobreexplotadas o en riesgo de estarlo, han sido los siguientes:

Primero: Balance hídrico deficitario. El balance hídrico de un acuífero es deficitario si la suma de todas las entradas (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 salidas (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 sí sólo es suficiente para concluir que un acuífero, o una parte de él, 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 o parte del territorio mediante su balance hídrico deficitario, se han aplicado estos dos criterios para proceder a la zonificación del acuífero a efectos de la sobreexplotación y para proceder a la caracterización de la zona sobreexplotada desde el punto 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 negativa) y la isolínea del contenido de cloruros igual a 300 mg/l se ha considerado como área en riesgo de salinización. 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.

2.2. Balances hídricos globales de la zona en estudio

La elaboración del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo aplicado a la Zona del Estudio ha exigido estimar las entradas (infiltración de lluvia, retornos de riegos, fugas en redes de abastecimiento) y las extracciones del acuífero (bombeos). A su vez, el modelo ha dado, entre otras repuestas, las descargas de agua subterránea al mar y las entradas de agua marina hacia el acuífero. Los años básicos para los cuales se han obtenido los balances han sido 1980-81, 1985-86, 1990-91, 1995-96 y 2001-02. Este último se ha simulado partiendo de una estimación de la recarga por infiltración del agua de lluvia conforme con las tendencias observadas en los años precedentes. El resumen de los balances aparece en el cuadro IX.1

La infiltración de lluvia, la intrusión marina y las salidas al mar 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 variación del almacenamiento se obtiene a partir de los resultados del modelo matemático. En esa magnitud se tiene en cuenta la intrusión marina como una entrada física del mar.

La diferencia entre entradas y salidas mide la cuantía del déficit hídrico, que asciende a 3,00 hm³/a al año 2001-02. En este cálculo no se contabiliza la intrusión marina como entrada por ser agua salada no aceptable para ningún uso. Sin embargo, la intrusión debe tenerse en cuenta para el cálculo del descenso medio de los niveles piezométricos debidos a la sobreexplotación, que en este caso resulta ser de 0,35 m/a en el conjunto del acuífero, considerando un coeficiente de almacenamiento medio igual a 0,03.

CUADRO IX.1

RESUMEN DE BALANCES HÍDRICOS EN LA ZONA ESTE DE GRAN CANARIA

	1980-81	1985-86	1990-91	1995-96	2001-02
<u>Recargas o entradas</u>					
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 de saneamiento	4,21	4,66	5,12	6,72	7,36
Suma entradas	38,09	31,99	31,02	32,43	29,39
Intrusión marina	2,65	2,72	3,60	4,13	3,95

Descargas o salidas					
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 salidas	45,63	30,35	42,52	36,41	32,39
VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO	-4,88	4,36	-7,91	0,18	0,96
RECARGAS-DESCARGAS	-7,54	1,64	-11,5	-3,98	-3,00

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.

2.3. Zonificación del área estudiada a efectos de la sobreexplotación

Una vez catalogado el acuífero de la Zona Este de Gran Canaria como un acuífero globalmente sobreexplotado, puesto que su balance hídrico global es deficitario, se han aplicado los criterios relativos al descenso de los niveles piezométricos y a la intrusión marina, lo que ha permitido diferenciar tres zonas en las que la sobreexplotación se manifiesta de muy distinta manera y con repercusiones prácticas también muy diferentes. Las tres zonas mencionadas se han obtenido por 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 del mar (cota de fondo negativa).








La zona definida por la isolínea de 300 mg/l de ión cloruro y la línea de la costa es una ZONA SALINIZADA por intrusión marina, lo que equivale a todos los efectos a la consideración de ZONA SOBREEXPLOTADA, según el artículo 49.1 de la Ley de Aguas. Tiene una superficie de 121 km² (Zona A en el plano IX.1 y figura IX.1).





La zona definida por la línea envolvente de los pozos con cota de fondo negativa (b. n. m.) 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 (Zona B en el plano IX.1 y figura IX.1). 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 (ver epígrafe 5.3), motivos por los cuales se les cataloga como ZONAS SOBREEXPLOTADAS.

La zona colindante con la envolvente de los pozos con cota de fondo negativa (b. n. m.) 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 (Zona C en el plano IX.1 y figura IX.1).

Finalmente, una pequeña zona 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, se puede definir como ZONA NO

LEYENDA

-  ISOCOLORUROS 300 mg/l.
-  ENVOLVENTE DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA
-  ISOPIEZA O DE POZOS CON COTA DE FONDO NEGATIVA PERIODO 1990 - 93
-  LÍNEA DE COSTA
-  LÍMITE DE ZONA DE ESTUDIO
-  LÍMITE DE ZONA DE RECUBRIMIENTO
-  NÚCLEO DE POBLACIÓN

-  **A** ZONA SOBREEXPLOTADA, CON INTRUSIÓN MARINA.
-  **B** ZONA SOBREEXPLOTADA, CON RIESGO DE INTRUSIÓN MARINA.
-  **C** ZONA DE RECARGA DE RECURSOS RESERVADOS.
-  **D** ZONA NO SOBREEXPLOTADA.

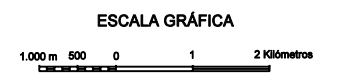


Fig. IX.1 ZONAS SOBREEXPLOTADAS

SOBREEXPLOTADA. Según el modelo matemático de flujo subterráneo la descarga al mar en el año 2002 ha sido de 1,1 hm³/a, además de incrementar las reservas en 0,3 hm³/a (Zona D en el plano IX.1 y figura IX.1). No obstante, 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 que en este caso no tiene una clara definición hidrogeológica.

2.4. Zonas no costeras con problemas de salinidad

En el epígrafe 5.2 del capítulo V. Recursos hídricos no convencionales se identifican 38 pozos que captan aguas salobres con conductividad eléctrica comprendida entre 2.000 y 9.000 µS/cm. En todos los casos las cotas de fondo de los pozos son positivas (s. n. m.) y, según los registros disponibles la tendencia de la salinidad es estacionaria excepto en un caso, además de otros doce casos de tendencia desconocida. Los aniones responsables de la alta salinidad son: bicarbonatos (17 pozos), cloruros (17 pozos) o sulfatos (4 pozos). Por su situación geográfica (figura IX.2) se puede afirmar que son pozos no costeros cuya salinidad es ajena a fenómenos actuales de intrusión marina.

Prescindiendo de 6 pozos que se ubican en la zona de recubrimiento del estudio, los 32 restantes se distribuyen de la siguiente manera:

- En la Zona D no sobreexplotada 13 pozos
- En la Zona C de recarga con asignación de recursos 16 pozos
- En la zona A+B sobreexplotada 3 pozos

Desde el punto de vista práctico, sólo podrían concederse nuevas autorizaciones de explotación de aguas subterráneas en zonas no sobreexplotadas, es decir, en la Zona D. Los 13 pozos situados en esta zona tienen las siguientes características:

<u>Nº IGME</u>	<u>Conductividad eléctrica (µS/cm)</u>	<u>Tendencia</u>	<u>Q (l/s)</u>
424230027	4.910	E (*)	4,37
424230031	2.410	E	0,89
424230032	3.080	E	5,41
424230036	2.690	--	2,91
424230038	2.140	E	4,00
424230045	2.300	--	3,91
424230075	5.820	E	18,0
424230078	5.030	E	7,0
424230116	1.186	E	5,0
424230126	2.610	--	7,0
424230166	3.460	--	15
424230174	4.210	--	--
424230176	4.200	E	12
Suma			85,49

(*) E= estacionaria

No es recomendable autorizar una explotación, en dicha zona, que exceda de 31,7 l/s continuos (1 hm³/a), caudal que se podría conseguir con no más de 7-8 pozos como los incluidos en el cuadro precedente.

3. CARACTERIZACIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA ZONA SOBREEXPLOTADA

3.1. Consideraciones previas sobre los niveles piezométricos en la Zona Este de Gran Canaria

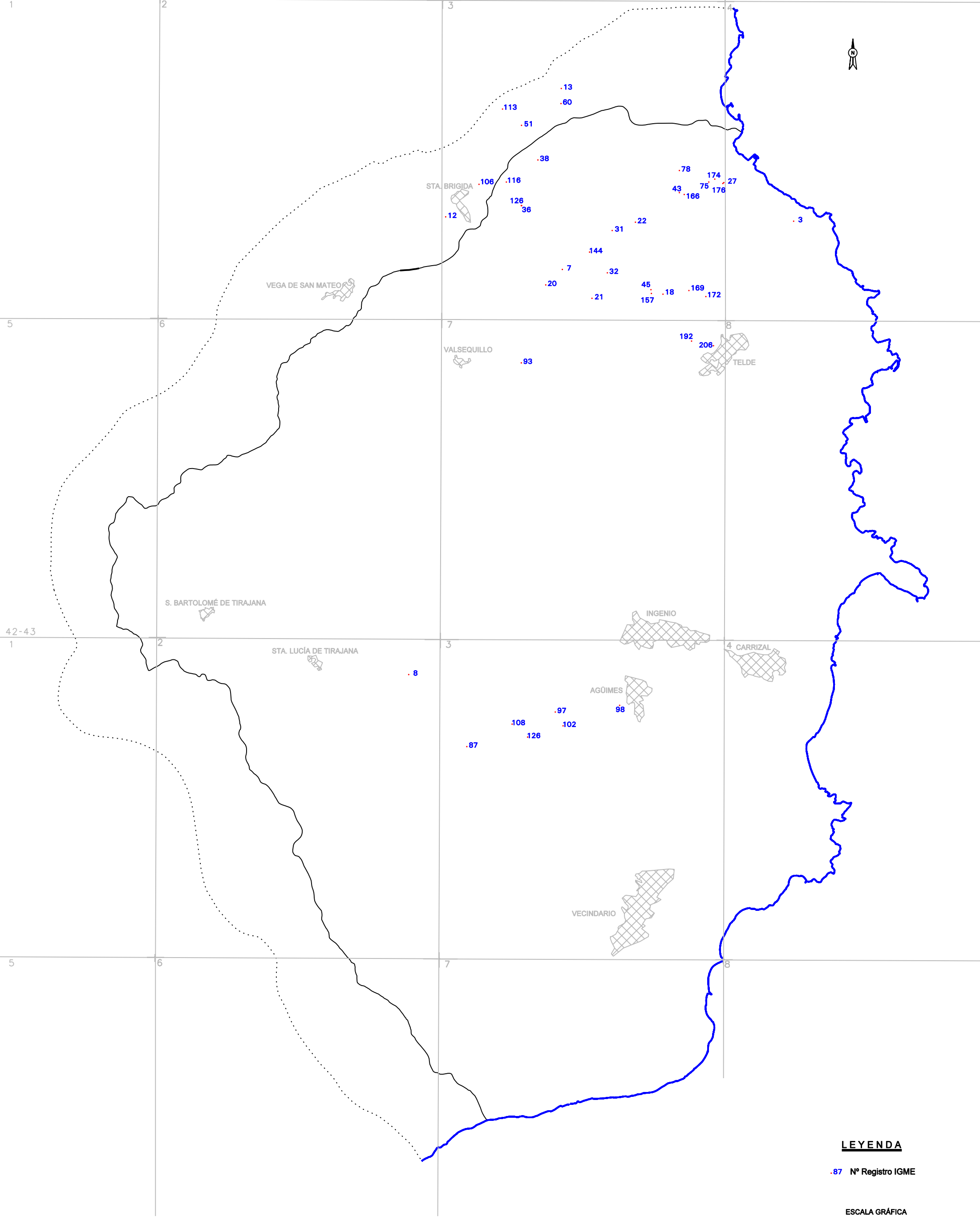
En los estudios hidrogeológicos realizados en la Isla de Gran Canaria ha sido una norma habitual analizar las situaciones piezométricas tratando de diferenciar los niveles medidos en los pozos en dos categorías: niveles estáticos y niveles dinámicos, utilizando unos u otros según el objeto concreto de cada estudio piezométrico. Siguiendo esa norma, los mapas de isopiezas incluidos en el capítulo VI, Hidrogeología del presente Estudio se han elaborado utilizando los niveles piezométricos que en la BAC están catalogados como niveles estáticos, utilizando en ocasiones los niveles dinámicos como guía para el trazado de las líneas. Esta forma de proceder, totalmente correcta según la teoría, tiene el inconveniente de no reflejar la situación piezométrica real en la Zona del Estudio que por el régimen de explotación de pozos, responde mucho más a una situación de niveles dinámicos que a la situación de los niveles estáticos. En consecuencia, se ha preferido caracterizar la piezometría, a efectos del estudio de la sobreexplotación, a partir de la banda de fluctuación de los niveles en cada pozo (y por agregación en cada zona) haciendo abstracción de si se trata de niveles estáticos o dinámicos.

Por otra parte, se ha introducido un nuevo criterio para la caracterización piezométrica de las áreas sobreexplotadas consistente en diferenciar, dentro de la zona de sobreexplotación, la piezometría resultante de los pozos con cota de fondo negativa de la que resulta a partir de los niveles medidos en los pozos con cota de fondo positiva. Esta diferenciación ha permitido el trazado de dos familias de isopiezas superpuestas (por decirlo de algún modo isopiezas profundas e isopiezas superficiales) que clarifican el funcionamiento hidrogeológico de las áreas sobreexplotadas.

Todo lo dicho anteriormente se observa en los 11 cortes piezométricos representados en los planos IX.3 a IX.13 y los mapas de isopiezas en planta (planos IX.14 a IX.17) correspondientes a distintos períodos de tiempo. La situación de los cortes piezométricos se puede ver en el plano IX.2, en el anejo IX.4 Identificación y caracterización de zonas sobreexplotadas.

3.2. Análisis piezométrico de detalle

Para la caracterización piezométrica de la zona sobreexplotada se ha considerado oportuno trazar 11 cortes piezométricos a escalas H 1:25.000 y V 1:2.000,



LEYENDA

.87 N° Registro IGME

ESCALA GRÁFICA

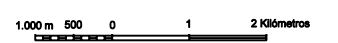


Fig. IX.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POZOS CON AGUA SALOBRE CON TENDENCIA ESTACIONARIA

apoyados en los datos de profundidades de las obras, niveles y calidades del agua correspondientes a 120 captaciones. Según se puede ver en el plano IX.2, los cortes I a IX presentan un trazado transversal a la costa, y los cortes A y B son paralelos a la misma. La longitud total de los cortes es de 89,85 km. En cada pozo se indica en el corte el número IGME, la profundidad de la obra, la cota del terreno, la banda en la que se mueven los niveles piezométricos, la primera y la última medida realizada y su fecha, y el número de medidas realizadas.

Como quiera que la piezometría es una superficie tridimensional variable a lo largo del tiempo, el examen de los cortes debe realizarse en paralelo con los mapas de isopiezas en planta elaborados para los períodos 1980-82, 1985-87, 1990-93 y 1997-99. Se han considerado períodos de 3 años para disponer de datos suficientes para el trazado de las líneas. Por otro lado, para cada periodo se han trazado dos familias de isopiezas correspondientes una a los pozos que profundizan por debajo del nivel del mar y otra a los pozos con cota de fondo positiva (Planos IX.14 a IX.17).

Se pueden identificar cuatro zonas bien diferenciadas: Zona de Telde, Zona de Ingenio-Agüimes, Zona de Santa Lucía-San Bartolomé de Tirajana más una Zona de Transición, que se describen a continuación (En el plano IX.19 se puede ver la evolución en el tiempo de las líneas isopiezas).

Zona de Telde

Alrededor del núcleo urbano de Telde y hacia el Este hay una importante zona de regadíos (ver planos II.1 y II.2 del capítulo II) que han propiciado un importante número de pozos para su abastecimiento. La zona ocupa una superficie de unos 36 km² distribuidos entre los octantes 4242-3, 4242-4, 4242-7 y 4242-8, en la que existen unas 130 captaciones de las que el 80 % penetran por debajo del nivel del mar y el 20% restante tienen cota de fondo positiva.

En los cortes VII, VIII, IX y B que interceptan esta zona, así como en los planos de isopiezas, se han establecido dos capas o niveles acuíferos, uno por encima de la cota 0 y otro por debajo de la misma. Ambos niveles o capas poseen piezometrías claramente diferenciadas aún cuando entre las capas no se ha identificado ninguna discontinuidad hidráulica definida. En su estado inicial debió existir entre ambas capas un salto piezométrico más o menos acusado debido a la anisotropía del medio que propiciaba una pérdida de carga apreciable. Posteriormente, a causa del bombeo, principalmente localizado en la capa inferior, se amplió considerablemente la diferencia de niveles. Los datos disponibles no permiten apreciar si entre ambas capas el terreno está saturado en toda su extensión o si existen porciones no saturadas, aunque esta última hipótesis parece la más probable.

En la capa superior (ver corte IX) las cotas de los niveles piezométricos oscilan entre 10 a 25 m en la costa, y 75 a 90 m hacia el interior; la banda de oscilación de los niveles tiene unos 15 m de amplitud.

En la capa inferior, las isopiezas forman un embudo señalado por la isopieza -20 que en el período 1980-82 se sitúa bajo el núcleo urbano de Telde alcanzando cotas piezométricas puntuales generalmente comprendidas entre -20 y -40 m, con un valor puntual de -107 m mientras que en el mismo lugar las cotas piezométricas de la capa superior suelen oscilar entre 50 y 70 m, por lo que el salto piezométrico puede superar los 100 m.

En el período 1985-87 el embudo piezométrico señalado por la isopieza -20 se ha desplazado unos 2 km hacia el noreste de Telde. En la vertical de Telde el salto piezométrico entre la capa superior y la inferior es más reducido que en el periodo 1980-82.

En el período 1990-93 el embudo piezométrico de las isopiezas negativas ha crecido en extensión considerablemente, extendiéndose hacia el norte, hacia el sur y hacia el este del Telde. La superficie encerrada por la isopieza -20 ha pasado de $2,5 \text{ km}^2$ en 1985 a 10 km^2 en 1990. Además, en su interior se detectan dos zonas por debajo de la cota -40 de $1,3$ y $1,0 \text{ km}^2$ respectivamente, situadas al noreste y sureste de Telde. En ese período las isopiezas positivas discurren en dirección norte-sur, mostrando a la altura de Telde una curvatura convexa hacia el mar, indicando que es una zona de recarga, que debe responder a los retornos de riego y las fugas en las redes de abastecimiento y de saneamiento de Telde. El salto piezométrico entre las isopiezas de las capas superior e inferior del acuífero en la vertical de Telde se sitúa entre 90 y 175 m.

En el período 1997-99 vuelven a diferenciarse dos zonas con piezometría por debajo de -20 m, situadas al norte y al sur de Telde. Además, en el interior de cada una de estas zonas existe otra zona con cotas inferiores a -40 m. Las superficies conjuntas son:

- Por debajo de cota -20 la superficie es $16,4 \text{ km}^2$ (en 1990-93 era de $12,4 \text{ km}^2$).
- Por debajo de cota -40 la superficie es $6,1 \text{ km}^2$ (en 1990-93 era de $2,3 \text{ km}^2$).

Es decir, la situación piezométrica de la capa inferior ha empeorado entre 1990-93 y 1997-99. Por el contrario, en la capa superior, las isopiezas positivas han experimentado en ese intervalo de tiempo cambios pocos significativos manteniendo los niveles una tendencia estacionaria.

Que la piezometría de la capa superior no sufra cambios significativos al cambiar el embudo piezométrico de la capa inferior, podría significar que se está produciendo entre ambas capas un "efecto ducha" típico de un flujo en medio no saturado en alguna parte de su recorrido descendente. Los datos relativos a la explotación de los pozos de esta zona, anejo VI.3 Datos de explotación, han permitido determinar que el 85% de las extracciones proceden de pozos con cota de fondo negativa y el 15% restante de pozos con cota de fondo positiva.

Zona de Ingenio-Agüimes

Está interceptada por los cortes A, B, III, IV y V. A medida que se progresa hacia el sur, desde Telde hacia Ingenio-Agüimes, los pozos con cota de fondo positiva y situados dentro de la zona sobreexplotada son cada vez más escasos. Todo ocurre como si las capas superior e inferior estuvieran mejor conectadas hidráulicamente y que el descenso piezométrico provocado por el bombeo en los pozos profundos hubiera provocado un severo drenaje de la capa superior restándole importancia como acuífero. Es significativo que en la hoja 4243, octantes 2, 3, 4 y 7 para el período 1990-99 sólo se dispone de 5 datos de explotación de pozos con cota de fondo positiva, que en conjunto extraen 0,6 hm³/a, mientras que en la misma hoja y octantes, se tiene datos de las extracciones de 100 pozos con cota de fondo negativa de los que teóricamente se extraen 26 hm³/a. La capa acuífera superior que ha sido agotada por la sobreexplotación de la capa inferior, tiene actualmente carácter testimonial y lo que sigue se refiere exclusivamente a la piezometría de la capa inferior.

En el período 1980-82, en torno a los núcleos urbanos de Ingenio-Carrizal-Agüimes, se observa un amplio embudo piezométrico identificado por las isopiezas -20, -40 y -60, localizándose la parte más profunda del embudo a unos 2 km al sur-suroeste de Agüimes.

En el período 1985-87, todas las curvas (-20, -40, -60) han sufrido un ligero desplazamiento hacia el sur-suroeste observando en el interior de la curva -20, dos embudos diferenciados formados por las isolíneas -40 y -60.

En el período 1990-93, los dos embudos definidos por las isopiezas -40 y -60, se han fusionado formando una depresión única de mayores dimensiones.

Del período 1997-99, sólo se dispone de información en el entorno de los núcleos urbanos de Ingenio-Carrizal-Agüimes, donde parece que no ha cambiado sustancialmente la situación respecto a la observada en el período 1990-93.

Zona de Santa Lucía (Vecindario) – San Bartolomé de Tirajana

Al este de Vecindario, a caballo entre los términos municipales de Santa Lucía y San Bartolomé de Tirajana, se ha detectado un embudo piezométrico definido por las isopiezas -20, -40, -60, -80, que, con pequeños cambios, ha permanecido desde el período 1980-82 hasta 1990-93. No hay datos piezométricos posteriores a dicha fecha. Por otra parte, al igual que en la Zona de Ingenio-Agüimes, aquí tampoco hay una capa acuífera superficial por encima de la cota o de interés hidrogeológico. En las isopiezas del SPA-15 ya se detectaba un embudo no muy diferente del actual.

Zona de Transición

Por último, cabe señalar que entre las zonas de Telde y de Ingenio-Agüimes, se diferencia una zona de transición cuyos niveles piezométricos se mueven con

pequeñas oscilaciones en torno a la cota 0, sin formarse embudos de importancia en ninguno de los períodos analizados.

3.3. Conclusiones

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 en la zona en que se dispone de datos.

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 y que desde 1980-82, permanece sin cambios significativos hasta el período 1990-93, no disponiendo de datos posteriores a esta fecha.

Entre las zonas 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:

ZONA INGENIO-AGÜIMES

Superficies (km²)	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.

Superficies (km²)	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

Superficies (km²)	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

Superficies (km²)	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.

4. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA ZONA SOBREEXPLOTADA

En el plano IX.18, se representan superpuestas las curvas de isocontenidos en cloruros correspondientes al período 1990-95 con las isopiezas relativas al mismo intervalo de tiempo. Análogamente, en los 11 cortes piezométricos de detalle comentados en el epígrafe anterior, planos IX.3 a IX.13, se ha incluido información correspondiente a las concentraciones de cloruros en los pozos de apoyo a los cortes piezométricos.

Tanto en los mapas de isolíneas como en los cortes se observa, en general, que gran parte de la superficie ocupada por los embudos piezométricos se sitúa a la izquierda de la isolínea de 300 mg/l de cloruros, de modo que las mayores concentraciones salinas se localizan entre la isopieza -20 m y el mar. Sólo en el caso del embudo situado a lo largo del Barranco de Tirajana, al oeste de Vecindario, concentraciones de cloruros mayores de 300 mg/l se introducen a modo de cuña hasta alcanzar la zona central del embudo, con cotas piezométricas inferiores a -60 m. En los restantes casos parece como si el frente salino quedara contenido por el flujo subterráneo de buena calidad, procedente de las Zonas Alta y Media de la Isla.

También cabe destacar que las isolíneas de 300, 500 y 1000 mg/l de ión cloruro, discurren con notable paralelismo de norte a sur, moviéndose en una banda bastante estrecha cuya anchura oscila entre menos de 400 m y un máximo de 1000 m. Ello indica que hacia el interior, a la izquierda de la isolínea 500, el agua mejora rápidamente de calidad, y que hacia la costa el agua se degrada también con rapidez. Parece como si el límite de la intrusión marina se situara entre las isolíneas de 300 y de 500 mg/l de ión cloruro.

En principio, la intrusión salina debe afectar a los pozos que penetran por debajo del nivel del mar, pero no deberían quedar afectados los pozos con cota de fondo positiva. Esta diferenciación se aprecia claramente en la zona más próxima a la costa severamente afectada por la intrusión marina, pero no siempre se aprecia en la zona comprendida entre las isolíneas de contenidos en cloruros 500 y 1000 mg/l, ya que el agua de la capa superior, procedente casi en su totalidad de los retornos de riego y de fugas de las redes urbanas (la infiltración de lluvia es prácticamente nula en la costa) puede tener concentraciones en cloruros por encima de 500 mg/l. Además, el efecto aerosol producido por la proximidad del mar conduce a una progresiva acumulación de sales en el suelo, que son lavadas con motivo de fuertes lluvias excepcionales que producen una apreciable infiltración. Por otra parte, deben existir pozos con cota de fondo positiva, pero que han sido reprofundizados con taladros o sondeos en el fondo, cuya existencia se desconoce y que afectan a su salinidad.

Por último conviene señalar que el hecho de que una gran extensión de los embudos piezométricos no esté afectada seriamente por la intrusión marina, propicia que la mayoría de los pozos en ellos instalados sigan funcionando aún cuando bombeen por debajo de la cota del nivel del mar.

Como resumen, en el cuadro IX.2 se detalla la distribución de pozos con análisis químico, según penetren o no por debajo del nivel del mar y sus concentraciones en cloruros.

CUADRO IX.2.

DISTRIBUCIÓN DE POZOS SEGÚN CONTENIDOS EN CLORUROS, COTA DE FONDO DEL POZO Y COTA DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO (ZNP)

Contenido en Cl ⁻ (mg/l)	Cota de fondo negativa				Cota de fondo positiva	
	ZNP<0	ZNP>0	Total	%	Total	%
>1000	75	13	88	57	14	37
500-1000	30	5	35	23	13	34
300-500	25	6	31	20	11	29
TOTALES	130	24	154	100	38	100

ZNP= Cota nivel piezométrico

Por su interés práctico para conocer la relación de cada pozo individual con respecto a la sobreexplotación, se relacionan en el anejo IX.1, los pozos situados en la zona sobreexplotada clasificados según la cota de fondo negativa o positiva y según el contenido en cloruros (mayor de 1000 mg/l, entre 500 y 1000 mg/l, y entre 300 y 500 mg/l), tablas IX.1.1 a IX.1.6.

5. BALANCES HÍDRICOS DE LAS ZONAS DEFINIDAS COMO SOBREEXPLOTADAS

A partir de los resultados del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo, capítulo VIII Modelo de simulación del flujo subterráneo, se han

determinado los balances hídricos de cada una de las zonas definidas en el epígrafe 2.3 de este capítulo. En los cuadros IX.3 a IX.7 se detallan los balances correspondientes a los años 1981, 1986, 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 solicitudes 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 una de ellas. 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. Se obtiene a partir de los resultados del modelo.

El balance hídrico es igual: a la suma de recargas – suma de descargas \pm variación del almacenamiento.

CUADRO IX.3

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 IX.4

BALANCE HÍDRICO DE LA CAPA SUPERIOR. AÑO 1986 (hm³/a)

CONCEPTO	ZONA A+B	ZONA C	ZONA D	CAPA 2	TOTAL
Recarga lluvia	0,22	21,38	0,75		22,35
Retorno riegos	3,35	1,55	0,08		4,98
Pérdida redes	3,35	0,64	0,67		4,66
De capa 2	2,18	0,94	0,32		
De zona A+B		0,25	0,02	0,02	
De zona C	6,58		0,27	3,60	
De zona D	0,28	0,14		0,07	
RECARGAS	15,96	24,90	2,11	3,69	31,99
Intrusión marina	2,63	0,00	0,08	0,01	2,72

Bombeos	18,50	10,01	0,51		29,02
Salidas al mar	0,39	0,00	0,86	0,08	1,33
A capa 2	0,02	3,60	0,07		
A zona A+B		6,58	0,28	2,18	
A zona C	0,25		0,14	0,94	
A zona D	0,02	0,27		0,32	
DESCARGAS	19,18	20,46	1,86	3,52	30,35

Variación almac.	-0,58	4,44	0,32	0,18	4,36
------------------	-------	------	------	------	------

REC. - DESC.	-3,22	4,44	0,25	0,17	1,64
---------------------	-------	------	------	------	------

CUADRO IX.5

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	26,57	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 IX.6

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 IX.7

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	16,41	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.	-3,7	0,34	0,26	0,11	-3,0
---------------------	------	------	------	------	------

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

6.1. Introducción

Identificadas las áreas sobreexplotadas y conocidas sus características más relevantes en cuanto a su funcionamiento hidráulico, balances hídricos, piezometría, calidad del agua y relaciones con otras áreas colindantes y con el mar, procede abordar la elaboración de propuestas concretas para su control y para la regularización de los recursos hídricos disponibles. No es ocioso, recordar previamente algunos de los principios que inspiran la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias y al Plan Hidrológico de Gran Canaria:

De la Ley de Aguas:

- a) La subordinación de todas las aguas al interés general, sobre la base de que se trata de un recurso que debe estar disponible en la cantidad y calidad necesarias en el marco del respeto al medio ambiente de las Islas (Preámbulo).
- b) La Comunidad Autónoma de Canarias [...] se ajustará a los siguientes principios:
 - 1º) Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios, todo ello dentro de una adecuada planificación del recurso (Artículo 4.2.1º).
 - 2º) Optimización del rendimiento de los recursos hídricos, a través de la movilidad de los caudales en el seno de los sistemas insulares (Artículo 4.2.3º).
 - 3º) Planificación integral, básicamente insular, que compatibilice la gestión pública y privada del agua con la ordenación del territorio y la conservación, protección y restauración medioambiental (Artículo 4.2.4º).
 - 4º) La compatibilidad del control público y la iniciativa privada respecto de los aprovechamientos hidráulicos (Artículo 4.2.5º).

Del Plan Hidrológico:

- c) La consideración del agua como un recurso escaso, condicionante del desarrollo económico, social y medioambiental de la Isla (Preámbulo 1º).
- d) Disminuir la sobreexplotación del acuífero garantizando alternativas al uso existente en las mismas condiciones, como mínimo, de cantidad y calidad (Preámbulo 3º.b).

Análogamente, a efectos de elaborar las propuestas para el control de la sobreexplotación, tiene interés revisar, aunque sea muy brevemente, las causas inmediatas y las motivaciones que propician la sobreexplotación de un acuífero.

Evidentemente, la causa inmediata, original, que desencadena el proceso de la sobreexplotación de un acuífero es, invariablemente, un exceso de las extracciones sobre los recursos hídricos disponibles (caudal seguro, recursos renovables) durante un tiempo suficientemente largo. No se trata de una situación coyuntural, sino estructural, que da lugar a un proceso dinámico en el que subyacen causas o motivaciones de muy diversa índole, entre las que se pueden citar las siguientes:

- 1) Al inicio de la sobreexplotación siempre hay un fondo de ignorancia o desconocimiento no sólo a nivel de usuario, sino a nivel técnico

también. Cuando saltan las alarmas la sobreexplotación ya se encuentra en un estado bastante avanzado. Este estadio ya se ha superado en el archipiélago canario.

- 2) Debido a ese desconocimiento inicial, se explica que llegue a establecerse una infraestructura hidrogeológica muy importante, dotada de una gran inercia y que hace muy difícil la marcha atrás en el proceso de la sobreexplotación. Por ejemplo, en la Zona Este de Gran Canaria, objeto de presente estudio, existen en la zona sobreexplotada con intrusión marina o con riesgo de intrusión, un total de 270 pozos que explotan el acuífero por debajo del nivel del mar. La penetración bajo la cota cero, suma 11.300 m (una media de 42 m por pozo). La longitud total de dichos pozos suma 41.580 m.
- 3) Una situación en la que los usuarios sólo tienen acceso a las aguas subterráneas, favorece y propicia la sobreexplotación. En estos casos diversificar las fuentes de suministro es una medida obligada para resolver (o paliar) el problema.
- 4) La sobreexplotación se produce siempre que el valor económico del agua subterránea (es decir, lo que los usuarios están dispuestos a pagar, y pueden pagar, por el agua) supera ampliamente el coste de alumbramiento y extracción de ella. Este es el caso de Gran Canaria.
- 5) Determinadas condiciones hidrogeológicas son especialmente proclives a la sobreexplotación. Acuíferos con grandes reservas de agua y recursos renovables pequeños situados en climas semiáridos, suelen estar condenados a ser acuíferos sobreexplotados.
- 6) Finalmente, la insuficiencia de medios técnicos o económicos y los vacíos legales son otros tantos obstáculos para atajar a su debido tiempo los problemas de la sobreexplotación.

Estas causas que generalmente subyacen en los procesos de sobreexplotación de acuíferos, junto con los principios más arriba enunciados que inspiran la política hidráulica en Gran Canaria, han servido de base para la elaboración de las propuestas para el control de la sobreexplotación en la zona estudiada.

6.2. Plan general de actuaciones

Como se ha dicho anteriormente, la sobreexplotación es un fenómeno complejo que obedece a múltiples causas y con amplias repercusiones económicas, sociales y medioambientales. En consecuencia no cabe esperar que el problema se pueda resolver con una actuación única ni sencilla. La solución del problema pasa por la adopción de un conjunto de actuaciones, relativas a distintos campos, sostenidas en el tiempo y coordinadas entre sí. Se requiere, por lo tanto, un plan general de actuaciones.

El plan aquí propuesto se estructura, bajo la dirección y coordinación del Consejo Insular del Agua de Gran Canaria, en los siguientes grupos de actuaciones:

- * Regularización de recursos hídricos.
- * Moderación del crecimiento de las demandas futuras.
- * Medidas complementarias de carácter social y legal.
- * Vigilancia y control del acuífero y de las extracciones de agua subterránea.

Es evidente que la ejecución del plan debe recaer en el Consejo Insular del Agua de Gran Canaria, que deberá actuar, además, como coordinador de todos los agentes sociales involucrados.

6.3. Propuestas para la regularización de los recursos hídricos

El objetivo último de las propuestas incluidas en este grupo de actuaciones es optimizar la asignación y utilización de los recursos hídricos disponibles en orden a disminuir los bombeos de los recursos naturales en la zona de recarga y en las zonas sobreexplotadas (A+B) y en la de recarga (Zona C) hasta erradicar el déficit hídrico del acuífero alcanzando una explotación sostenible. Es también un objetivo reducir el coste medio del agua suministrada. Las acciones propuestas se refieren a:

- * Desalinización de aguas salobres.
- * Reutilización de aguas residuales.
- * Desalación de agua de mar.
- * Extracción de recursos naturales.

Todo ello planteado en el marco de un esquema de explotación conjunta de los recursos hídricos disponibles, en el que se tenga en cuenta tanto las características de los recursos en cuanto a disponibilidades, costes, impactos ambientales y calidades, como las exigencias de las demandas a satisfacer.

6.3.1. Propuestas sobre la desalinización de aguas salobres

En este punto es preciso hacer una radical diferenciación entre aguas salobres en zonas costeras, cuyo origen está en la intrusión marina y se obtienen a partir de pozos que penetran en el acuífero por debajo del nivel del mar, y aguas salobres en zonas no costeras ajenas al proceso de intrusión marina.

Aguas salobres cuyo origen está vinculado a la intrusión marina

En la zona sobreexplotada con intrusión marina, las aguas salobres se están explotando para su desalinización. Según se expone en el capítulo V, el porcentaje de producto que se obtiene de un volumen de agua de alimentación se sitúa en torno al 70%-80%, lo cual quiere decir que es preciso bombear entre 1,25

y 1,43 m³ de agua para obtener 1 m³ de agua desalinizada, lo que es totalmente improcedente desde el punto de vista de la sobreexplotación.

Aguas salobres cuyo origen no está vinculado a la intrusión marina

En el epígrafe 2.4. del presente capítulo se ha identificado una zona no costera con aguas salobres que se extiende a una buena parte del octante 4242-2. Los pozos que han servido para su delimitación tienen una tendencia estacionaria en cuanto a la salinidad del agua extraída.

En el mismo epígrafe se identifican 13 pozos situados en la zona D no sobreexplotada, poniendo de manifiesto áreas con aguas subterráneas salobres.

Desde el punto de vista de la sobreexplotación, se recomienda:

- a) Progresiva reducción de la extracción aguas salobres destinadas a la desalación en los pozos que se localicen en las Zonas A y B, sobreexplotadas, o en la Zona C de recarga con asignación de recursos ya que los efectos del bombeo se transmiten íntegros a las zonas A y B con problemas de intrusión marina (ver epígrafes 5.3 y 5.4).
- b) En la Zona D no sobreexplotada se pueden incrementar los bombeos en 1 hm³/a aproximadamente que podrían ser de aguas salobres. La propuesta incluye las siguientes actuaciones.
 - Actualización del inventario de las captaciones existentes en la Zona D poniendo especial énfasis en niveles piezométricos, calidad del agua, caudales continuos sostenibles, explotación actual, posible existencia de plantas desalinizadoras.
 - Verificación del balance hídrico de la zona con datos de extracciones actualizadas.

6.3.2. Propuestas sobre la reutilización de aguas residuales

En la Zona Este de Gran Canaria las aguas residuales disponibles para la reutilización proceden de la EDAR de Barranco Seco y de la producción propia de la zona, principalmente las EDAR de Telde y del Sureste. De Barranco Seco se puede contar con el 50% de su capacidad de depuración, es decir, 0,5 x 32.000 m³/día= 5,84 hm³/a. De la producción propia se podría contar como máximo entre el 40% y el 50% del volumen abastecido en Alta a núcleos urbanos y polígonos industriales, que al año 2002 fue de 17,5 hm³/a, o sea entre 7,0 y 8,75 hm³/a. En consecuencia, se puede contar con un volumen comprendido entre 12,84 y 14,59 hm³/a. El consumo actual es, aproximadamente, de 5,6 hm³/a, según se puede ver en el apartado 5 del Capítulo II. Demandas y consumos de agua, es decir, el consumo no excede del 43% de la producción potencial de aguas residuales depuradas.

La propuesta que aquí se presenta es adoptar las medidas (y realizar las obras) necesarias para alcanzar la máxima reutilización posible, reduciendo en la misma cuantía el bombeo de recursos naturales.

Está claro que el gran consumidor de aguas residuales depuradas es el regadío. En la Zona Baja (o sea, por debajo de los 300 m s.n.m.) se riegan 2.807 ha con una demanda de 25,8 hm³/a (ver cuadro II.8 del Capítulo II). Aparentemente, no debería haber problema para absorber toda la producción de aguas residuales depuradas, pero en la realidad su demanda es mucho menor: primero, porque en buena lógica sólo compran agua residual depurada los regantes cuyos pozos tienen una salinidad relativamente alta (más de 300 mg/l de cloruros) y con esta limitación la demanda de agua residual se reduce a 2.188 ha; segundo, porque el regante acostumbra a mezclar el agua residual al 50% con agua de pozos; y, tercero, porque, si no hay regulación, el regadío sólo es capaz de absorber el 70% de la producción. Teniendo en cuenta estas circunstancias en el anejo IX.3 se hace un cálculo estimativo de los volúmenes de aguas residuales que podrían ser reutilizados, llegando a las siguientes conclusiones:

- 1- En el corto-medio plazo, el potencial de producción de aguas residuales, conforme a las proyecciones de las demandas de agua y suponiendo que se recupera como mínimo el 40% del volumen suministrado en alta, será de 13,53 hm³/a, al año 2006 y de 14,66 hm³/a al año 2012.
- 2- Las oportunidades de reutilización en los próximos años, son las siguientes:

	<u>hm³/a</u>	
Riego agrícola	10,0	
Riego de parques y jardines		0,7
Riego de campos de golf	1,2	
Abastecimientos a polígonos industriales		1,0
TOTAL	12,9	

- 3- La reutilización sin regulación de efluentes es como máximo el 82% de la producción de aguas residuales. Por consiguiente, la reutilización real estará comprendida, como máximo, entre 0,82 x 13,53 = 11,1 hm³/a para el 2006 y 0,82 x 14,66 = 12,0 hm³/a para el año 2012.
- 4- De llevarse a cabo la actuación aquí propuesta el incremento de la reutilización de aguas residuales sería del orden de 11,1 – 5,6 = 5,5 hm³/a al año 2006 y 12,0-5,6=6,4 hm³/a al año 2012. Para calibrar la importancia de esta cifra conviene recordar que el déficit hídrico estimado del acuífero, al año 2002 (ver cuadro IX.1) fue de 3,7 hm³/a y que en el año 1996 fue de 5,6 hm³/a.

De todo lo dicho parece que no debería haber especiales dificultades para consumir el 82% de las aguas residuales potencialmente reutilizables, porcentaje que podría incrementarse, si se estimara oportuno, construyendo balsas de

regulación. Otra posible alternativa para incrementar el porcentaje del consumo de aguas residuales depuradas se expone en el punto 6.5.1. de este capítulo.

6.3.3. Propuestas sobre la desalación de agua de mar

El agua de mar desalada se ha convertido en el referente de los recursos hídricos de la Isla. Su utilización a partir de 1970 ha permitido asegurar un abastecimiento de agua de calidad en los usos más exigentes, disminuir significativamente la sobreexplotación de las aguas subterráneas y disminuir la salinidad de las aguas residuales que llegan a las EDAR. Su principal inconveniente es su gran consumo energético (en torno a 3,8-4,5 kw/h x m³ según datos de desaladoras actuales) y su elevado coste.

En el momento actual en la Zona Este la capacidad de desalación es:

	Nº de plantas	Capacidad m ³ /día
Abastecimiento urbano	2	18.000
Abastecimiento urbano y riego	2	25.000
Riego	1	5.000
Riego e industria	1	8.000
Industria	6	5.700
TOTALES	12	61.700

A estos caudales hay que añadir el agua desalada que se consume dentro de la zona procedente de Las Palmas y de Maspalomas. **En principio, no parece necesario prever ampliaciones en la capacidad de desalación existente en la zona en el corto-medio plazo**, si se llevan a la práctica las propuestas de reutilización de aguas residuales depuradas antes expuestas.

6.3.4. Propuestas sobre los recursos naturales

Teniendo en cuenta que el 94% de la superficie de la Zona Este de Gran Canaria se cataloga como zona sobreexplotada (Zonas A y B) o como zona de recarga (Zona C) las recomendaciones son:

- a) Sustitución del volumen sobreexplotado del acuífero por aportaciones de aguas desaladas de mar y regeneradas para reutilización.
- b) No concesión de nuevas captaciones ni de incremento de los volúmenes actualmente extraídos.
- c) Disminución de los volúmenes explotados en las Zonas A y mientras dure el periodo de sobreexplotación, a fin de compaginar el derecho individual de cada usuario con el interés general.
- d) En general sólo se podrán extraer aguas subterráneas en las zonas con superficie piezométrica por encima del nivel del mar y por debajo de los 300 mg/l de cloruros.

El conjunto de las propuestas b) y c), llevadas al máximo que permitiera la potencial producción de aguas residuales, supondría una disminución del bombeo en pozos de 7,5 hm³/a, lo que permitiría anular el déficit actualmente existente (3,7 hm³/a al año 2002, o 5,6 hm³/a en el año 1996. La propuesta d) equivale a una reducción del bombeo en la Zona A+B comprendida entre 0,9 y 1,0 hm³/a.

6.4. Propuestas sobre las demandas de agua

Que el agua es un recurso natural escaso es uno de los principios básicos que con gran acierto inspiran la redacción de la Ley de Aguas de Canarias y la elaboración del Plan Hidrológico de la Isla de Gran Canaria. Quizá a la fecha de hoy habría que modificar ese principio hacia una forma de expresión mucho más cruda y radical, diciendo “en la Zona Este de Gran Canaria el agua es un recurso natural insuficiente”. Según los últimos balances, la recarga por infiltración del agua de lluvia, que es el parámetro básico para definir la cuantía del recurso natural, es de 20 hm³/a, frente a una demanda de 49 hm³/a. No hacen falta más ni mejores argumentos para demostrar la necesidad de formular propuestas encaminadas a moderar, y quizá congelar, el crecimiento de las demandas futuras, y en particular, las demandas agrarias que representan el 62% de la demanda total y, además, son las que con más dificultad pueden pagar el coste del agua.

6.4.1 Demandas agrarias

Para moderar las demandas agrarias futuras es preciso controlar tres variables fundamentales que son: a) superficies en regadío, desglosadas según cultivos, b) sistemas de cultivo y de riego, y c) dotaciones unitarias aplicables a cada caso (m³/ha x a) teniendo en cuenta, además, la calidad del agua de riego. No es aquí el lugar más adecuado para definir la metodología aplicable para llegar al conocimiento suficientemente seguro de esas variables, pero sí recalcar algunos aspectos que parecen fundamentales:

Primero: La participación en todo el proceso de los Servicios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, así como la de regantes, a título individual o colectivo (Comunidades de Regantes) y la de productores de agua industrial, es esencial.

Segundo: Las dotaciones aplicables según cotas topográficas a cada cultivo, en función de los sistemas de cultivo y riego, se determinarán por consenso entre representantes de los agentes sociales afectados (CIAGC, Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, regantes y Comunidades de Regantes, etc) y se revisarán periódicamente en el marco del Plan Hidrológico de la Isla.

Tercero: Mantener permanentemente actualizado el catastro de parcelas efectivamente regadas es un aspecto esencial. Ello es factible si se cuenta con la colaboración de las comunidades de Regantes.

Cuarto: A efecto de peticiones de suministro de agua residual depurada, todos los regantes estarán obligatoriamente integrados en Comunidades de Regantes y cursarán sus pedidos a través de su Comunidad.

6.4.2 Demandas urbanas e industriales

Entre los años 2002 y 2012 se prevé que las demandas urbanas e industriales crezcan muy significativamente.

Por ello, para la recuperación del acuífero se hace imprescindible controlar, de manera efectiva e inmediata, el cumplimiento de las Ordenanzas del Plan Hidrológico respecto a la prohibición de abastecer con aguas procedentes del acuífero a toda la población residente y turística, así como a las industrias situadas por debajo de los 300 m sobre el nivel del mar.

6.5 Propuesta de medidas de carácter socioeconómico

Se enuncian a continuación algunas propuestas socioeconómicas que directa o indirectamente pueden ayudar a la regularización de los recursos hídricos en la Zona Este de Gran Canaria.

6.5.1 Incentivos económicos para optimizar el consumo de aguas residuales depuradas

En el anejo IX.4 sobre estimación del volumen máximo de reutilización de aguas residuales se concluye que, por la modulación estacional de la demanda agraria, como máximo se llega a utilizar el 82% de la producción potencial de aguas residuales depuradas. Las balsas de regulación permitirían incrementar ese porcentaje, pero son obras muy costosas y no sería fácil encontrar espacios adecuados para su ubicación.

Una alternativa para incrementar la reutilización consistiría en establecer tarifas diferenciadas para los usos agrarios según se trate del período de máxima o de mínima demanda de agua para riego.

6.5.2. Actuaciones para favorecer la constitución de Comunidades de Regantes

Las Comunidades de Regantes son piezas clave para la regularización de los recursos hídricos en lo que respecta a los usos agrarios, que constituyen el 62% de la demanda total en la Zona del Estudio. Es condición necesaria para la reutilización de las aguas residuales depuradas y son el instrumento principal para la ordenación de los recursos hídricos en el medio rural. Pero, para que tengan plena eficacia es preciso que, además de proporcionarles una mínima organización interna, se les dote de una adecuada infraestructura hidráulica que como mínimo cubra las necesidades para la distribución de los efluentes

depurados entre los comuneros y, a ser posible, también la distribución de agua de pozos. Al mismo tiempo, sería deseable que las nuevas Comunidades dispusieran de los medios informáticos y los automatismos necesarios para la automatización del riego. Estas infraestructuras permitirán terminar, al menos en la zona sobreexplotada, con las situaciones en las que los regantes sólo tienen acceso a agua de pozos.

Con estas ideas, la constitución de las nuevas Comunidades de Regantes requerirán las siguientes actuaciones:

- a) Agrupar y convencer a los futuros comuneros para que cumplan con los requisitos formales para la constitución de la nueva Comunidad.
- b) Proceder al diseño y construcción de la red de distribución de aguas residuales y, en su caso, de agua de pozos.
- c) Establecer ayudas económicas para la informatización y automatización del riego y, en su caso, el equipamiento en parcela (depósitos, caudalímetros etc).

La informatización y automatización del riego exigirá la utilización de programas informáticos para la gestión del agua en Comunidades de Regantes que hoy se pueden encontrar en el mercado y que han demostrado ser muy eficaces para mantener una disciplina interna en los usos y consumos de agua.

6.5.3. Acciones para la actualización permanente de los datos del agua

La importancia socioeconómica que tiene el agua en Gran Canaria exige que los gestores apoyen sus decisiones en datos fiables y actualizados, lo cual es especialmente cierto cuando tienen que enfrentarse a problemas de sobreexplotación de acuíferos, sometidos a procesos dinámicos que requieren un seguimiento continuo. Por ello se recomienda adoptar las medidas necesarias para mantener permanentemente actualizadas las estadísticas de producción de aguas industriales (desalación de agua de mar, desalación de aguas salobres, producción de aguas residuales depuradas), extracciones de aguas subterráneas, destinos de los recursos movilizados, estimación de recargas por infiltración de lluvia, etc, de modo que, a ser posible a nivel mensual se disponga de balances de producciones, bombeos, consumos, etc, 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 obtengan de la red de observación hidrogeológica como se expone en el apartado 7 de este capítulo.

El seguimiento del estado de la sobreexplotación y de las respuestas del acuífero a las actuaciones para la regularización de los recursos hídricos se han incluido como parte integrante del programa para el control y vigilancia del acuífero (ver epígrafe 7.5).

7. PROGRAMA PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DEL ACUÍFERO

7.1. Objetivos

El Programa para el control y vigilancia del acuífero en la Zona Este de Gran Canaria, que más adelante se expone y se valora, tiene cuatro objetivos básicos:

- Vigilancia y control de la piezometría.
- Vigilancia y control de la calidad del agua.
- Vigilancia y control de las extracciones.
- Vigilancia y control de las recargas por infiltración de la lluvia, por retornos de riegos y por fugas en redes de abastecimiento y saneamiento.

En lo que sigue se entiende por vigilancia y control el conjunto de tres operaciones. En primer lugar, la acción de medir periódicamente, por métodos directos o indirectos, las magnitudes pertinentes, sean niveles, parámetros hidroquímicos o volúmenes-caudales. En segundo lugar, el análisis de la evolución en el tiempo de los parámetros medidos y de su variación espacial. Y, en tercer lugar, su interpretación hidrogeológica, el diagnóstico del estado del acuífero en términos de la sobreexplotación y las recomendaciones del plan de actuación.

7.2. Vigilancia y control de niveles piezométricos

Se consideran dos redes diferenciadas de puntos de observación (en lo sucesivo piezométricos) con distinto alcance y significado, que se han denominado “Red de pozos” y “Red de sondeos” en alusión a la naturaleza de los puntos en los que se efectúan las medidas.

7.2.1. Red de pozos

Las medidas se realizan en un número seleccionado de los mismos pozos utilizados por los usuarios para la explotación del acuífero. Se diferencian dos zonas según se trate de la Zona (A+B) sobreexplotada o de la Zona (C+D) no sobreexplotada.

En la Zona sobreexplotada (A+B) de 155 km², se considera una red constituida por los 120 puntos que han servido de apoyo para el trazado de los cortes piezométricos (planos IX.3 a IX.13), que se completarán con otros 35 puntos adicionales para cubrir huecos. Se obtiene así una red de 155 puntos, lo que representa un punto de medida por cada km² de acuífero sobreexplotado. Se propone dos medidas anuales, en los meses de febrero y agosto de cada año. Las medidas se efectuarán manualmente.

En la Zona no sobreexplotada (C+D), de 261 km², se seleccionarán 100 puntos de medida, o sea un punto por cada 2,6 km² como media, pero con densidad creciente desde la Zona Alta (>800 m) con 1 punto por 4 km², hasta la Zona Baja

(<300 m) con 1 punto por km². Como punto de medida se entiende, en esta zona, un doblete de pozos próximos (a ser posible situados a menos de 500 m) y con cotas de fondo del pozo notablemente diferentes (a ser posible más de 50 m). En total, el número de pozos seleccionados en esta zona será de 100x2=200 pozos. Las medidas se efectuarán manualmente una vez al año como mínimo.

En resumen, la Red de Pozos se compone de:

- 155 pozos en la Zona (A+B) sobreexplotada efectuando como mínimo 2 medidas al año (febrero y agosto).
- 200 pozos en la Zona (C+D) no sobreexplotada efectuando 1 medida al año.

7.2.2. Red de sondeos

Estará constituida por 23 sondeos, perforados específicamente para su utilización como piezométricos (y para muestreo de calidad de aguas). Su situación se puede ver en el plano IX.20, en el tomo de planos de este capítulo. La zona filtrante será limitada en longitud (máximo 10 m) de modo que se puedan atribuir las medidas en cada piezómetro en un punto x, y, z. Las medidas, efectuadas cada hora, durante 24 horas/día, se registrarán en una estación automática y se recibirán por telemando en las oficinas de la CIAGC, con la frecuencia que se desee. Los piezómetros se instalarán en perforaciones de 220 mm Ø entubado en 120 mm, con un único tramo ranurado de 5 a 10 m de longitud, de PVC U 16 atm y emboquillados con tubería de acero al carbono Ø 230 mm. El tubo piezométrico tendrá 1,5" y 2". La estación automática para medida y registro de niveles será de tipo piezoresistivo con microprocesador y conectada a una estación remota de telecomunicación para el envío de datos.

Las profundidades previstas de los sondeos y sus tramos renovados son las que se detallan en el cuadro IX.8. A esta red se incorporarán los sondeos perforados con máquina existentes en la zona, verificando previamente que disponen de un tramo ranurado de corta longitud, aislado del resto de modo que las medidas efectuadas se pueden asignar a una cota concreta. Si no fuera así se estudiará la posibilidad de acondicionar el sondeo para que cumpla esta condición.

CUADRO IX.8

CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDEOS PIEZOMÉTRICOS

Nº	Profundidad	Tramo ranurado
1	110	100-105
2	140	130-135
3	140	130-135
4	140	130-135
5	170	160-165
6	180	170-175
7	160	150-155

Nº	Profundidad	Tramo ranurado
8	220	210-215
9	160	150-155
10	180	170-175
11	300	285-295
12	160	150-155
13	160	150-155
14	220	210-215
15	220	210-215
16	280	265-275
17	300	285-295
18	300	285-295
19	240	230-235
20	240	230-235
21	250	235-245
22	180	170-175
23	110	100-105

7.3. Vigilancia y control de la calidad del agua

En la red de pozos se medirán pH y conductividad eléctrica *in situ* cada vez que se efectúen las medidas de niveles. En la primera campaña de medidas se tomarán muestras en todos los pozos de la red para determinar en laboratorio los principales aniones y cationes, pH, conductividad eléctrica, residuo seco. Los análisis de laboratorio se repetirán cada dos años y siempre que se aprecie un cambio significativo en pH o conductividad eléctrica respecto a las últimas medidas en campo.

En la red de sondeos se realizarán las mismas determinaciones que en la red de pozos pero con periodicidad bimestral. Al realizar las medidas en campo se verificará el correcto funcionamiento de los piezómetros.

7.4. Vigilancia y control de las extracciones

El conocimiento de las extracciones de aguas subterráneas es esencial para el estudio de la sobreexplotación y para la regularización de los recursos hídricos en las zonas sobreexplotadas. El conocimiento actual es deficiente y no se deben escatimar medios para tener información sistemática de los volúmenes que se extraen semestralmente de cada captación.

La propuesta que aquí se formula presupone que habrá una resistencia de los propietarios de las captaciones a facilitar voluntariamente los datos de extracciones de cada pozo o captación. Por ello, se contempla la posibilidad de establecer, siempre que sea posible, un doble sistema de control. El primero consiste en instalar en algún punto de la tubería de salida un caudalímetro o contador volumétrico con emisión de pulsos y una estación remota para el envío de los datos de telecomunicación. Se trata, por tanto, de un método directo de medida.

El segundo método, aplicable a los pozos equipados con electrobombas, sería conocer la potencia de las bombas instaladas, la profundidad del nivel piezométrico, la altura de bombeo y los datos de consumo semestral (o anual) de energía. El conocimiento de algunos datos puntuales caudal-altura-consumo energético permitiría estimar el rendimiento de los grupos de bombeo. Sería todo más simple si las empresas suministradoras de energía accedieran a facilitar los datos de consumo semestral o anual al CIAGC. En cualquier caso, sería interesante disponer los datos fidedignos sobre el consumo global de energía en la Zona Este de Gran Canaria, para la extracción de las aguas subterráneas.

Como estimación inicial del número de captaciones a controlar se han considerado las que, según los datos de explotación en el período 1990-99, han superado 1 l/s. El total de captaciones a controlar sería de 300 y de ellas se extrae más del 95% del volumen de aguas subterráneas.

7.5. Elaboración de los datos obtenidos

Anualmente el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria analizará los datos obtenidos en las redes de observación hidrogeológica (niveles piezométricos, parámetros fisicoquímicos del agua subterránea, extracciones) incorporándolos a las bases de datos correspondientes. Se analizará, por métodos gráficos y numéricos, la evolución observada con respecto a las series históricas existentes. En particular, se elaborarán mapas de isopiezas y de isolíneas de parámetros hidroquímicos prestando especial atención a las zonas sobreexplotadas.

Se incorporarán también los datos de bombeos, de lluvias y de usos de agua en la zona para formular un balance hídrico anual del acuífero, aunque se trate obviamente de un balance estimativo, que posteriormente será reformulado con la ayuda del modelo matemático. A su vez se procederá a reajustar progresivamente dicho modelo.

Como resultado de estos trabajos cada año se hará un diagnóstico del estado de sobreexplotación del acuífero y se analizarán sus respuestas a las medidas de regularización de recursos hídricos adoptados.

7.6 Estudios especiales

Por su importancia en el contexto del control de la sobreexplotación de las aguas subterráneas, se consideran aquí dos estudios relativos al análisis de la evolución climática, más concretamente el estudio de la evolución pluviométrica, y la continuación del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo y de la intrusión marina.

7.6.1. Estudio de la evolución pluviométrica

Según los datos disponibles la pluviometría en Gran Canaria ha tenido un periodo húmedo de 26 años (1947-72), seguido de un periodo seco de otros 26 años de duración (1973-99) del que no se conoce su continuación. La variación de la precipitación es importante y afecta muy significativamente a la recarga del acuífero y, por consiguiente, a la disponibilidad de recursos naturales.

En consecuencia, se propone realizar un estudio climático, de ámbito regional tomando en consideración, no solamente los datos propios de Gran Canaria, sino también algunas estaciones climáticas con largos periodos de registro de la Isla de Tenerife.

Sus objetivos principales serán determinar si se trata de ciclos naturales o si obedecen a cambios más profundos del clima y establecer un programa para el seguimiento de dichos cambios.

7.6.2. Continuación del modelo matemático de simulación del flujo subterráneo y de la intrusión marina

El modelo matemático de simulación del flujo subterráneo realizado ha supuesto un avance importante, no obstante hay que proceder a su mejora teniendo en cuenta dos motivos principales:

- Primero, por el estudio climático previsto en el epígrafe anterior.
- Segundo, porque como se ha explicado en este capítulo (ver epígrafes 3.1 y 3.2), se han introducido nuevos criterios para la interpretación de los niveles piezómetros que han llevado a una nueva concepción de la estructura del acuífero.

En consecuencia, se propone, en primer lugar, introducir los cambios estructurales en el modelo para acotar mejor los resultados y, en segundo lugar, proceder a la simulación del proceso de la intrusión marina en el acuífero.

7.7. Presupuesto

El presupuesto de ejecución material de las instalaciones previstas es:

- | | |
|---|------------------|
| – Red de sondeos para vigilancia y control de la piezometría y la calidad del agua, formada por 23 sondeos, con 4.560 m de perforación dotados de estaciones automáticas para medidas de niveles. | 441.625 € |
| – Instalación de 300 caudalímetros, para caudal medio de 10 l/s, incluidas estaciones remotas para transmisión automática de datos. | 350.000 € |
| TOTAL INVERSIÓN | 791.625 € |

Los gastos anuales de operación y mantenimiento de las redes piezométricas y elaboración de datos se estima en:

- Campañas de muestreo para análisis químico de agua y medidas de niveles en la red de pozos	21.000 €/a
- Análisis químicos en laboratorio con determinación de 16 parámetros (media).	17.250 €/a
- Elaboración de datos piezométricos, de calidad química y formulación de balances y simulación con modelo matemático y redacción de informe.	33.600 €/a
Total coste anual medio.	71.850 €/a
Estudios especiales:	
- Estudio de la evolución pluviométrica.	60.000 €
- Continuación del modelo matemático de flujo y de intrusión marina.	50.000 €
Total estudios especiales.	110.000€

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

8.1. Zonificación del acuífero

En el área estudiada se han diferenciado cuatro zonas (figura IX.1) denominadas con las letras A, B, C y D. El conjunto de las zonas A y B (155 km²) está sobreexplotado. Su balance hídrico es deficitario (4 hm³/a) y los niveles piezométricos están por debajo del nivel del mar. En la zona A (121 km²) el agua subterránea tiene concentraciones del ión cloruro superior a 300 mg/l y se cataloga como ZONA SOBREEXPLOTADA CON INTRUSIÓN MARINA. El fondo de los pozos se sitúa por debajo del nivel del mar.

En la zona B (34 km²) los pozos también profundizan por debajo del nivel del mar y los niveles piezométricos son negativos, pero el contenido en cloruros es inferior a 300 mg/l. Se ha catalogado como ZONA SOBREEXPLOTADA CON RIESGO DE INTRUSIÓN MARINA.

En la zona C (235 km²) se produce el 95% de la recarga por infiltración del agua de lluvia. En sentido estricto la zona no está sobreexplotada, pero todo el flujo subterráneo de la misma se dirige hacia las zonas A y B sobreexplotadas, de modo que cualquier acción sobre el acuífero (bombeos o recargas) se transmite a dichas zonas. Por ello, se ha catalogado como ZONA DE RECARGA CON RECURSOS RESERVADOS para la protección de las zonas sobreexplotadas. En la zona D (26 km²) el balance hídrico es excedentario y podrían autorizarse

nuevas extracciones sin sobrepasar cautelarmente 1 hm³/a, reduciéndose a la mitad las descargas subterráneas al mar.

8.2. 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 la revisión.

Se propone que el Plan general se estructura 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.

8.2.1. Regularización de recursos hídricos

Se enuncian a continuación las acciones propuestas y los resultados esperados:

a) Propuestas sobre desalinización de aguas salobres de origen marino.

Objetivo: Evitar bombeos para desalinización de agua salobre porque favorecen la intrusión marina.

b) Propuestas para alcanzar la máxima reutilización posible de aguas residuales depuradas.

Objetivo: Incrementar la reutilización de aguas residuales depuradas que en la actualidad asciende a 5,6 hm³/a para alcanzar 11,1 hm³/a al año 2006 y 12,0 hm³/a al año 2012.

Propuestas: Intensificar la reutilización de aguas residuales en la zona sobreexplotada generalizando su uso en las 2.188 ha en regadío que se localizan en dicha zona. Extender a los núcleos urbanos de Telde, Ingenio, Agüimes y Santa Lucía el uso de aguas residuales para riego de parques y jardines. Extender a los principales polígonos industriales el suministro de aguas residuales depuradas para los usos que no exijan agua potable.

Coste: Se trata de actuaciones previstas por la Administración que no requieren costes adicionales sobre los previstos, o de abastecimientos cuyas tarifas incluyen los costes derivados de las obras necesarias.

Beneficios: Se incrementa la reutilización en 1,88 hm³/a sobre lo previsto, disminuyendo en esa cuantía las extracciones de agua subterránea (o el uso de agua de mar desalada).

Propuesta 3: Establecer tarifas bonificadas para los regantes que incrementen el consumo de agua residual depurada para riego en los meses de menor demanda. Se trata de una propuesta complementaria de la anterior, con el objeto de disminuir el bombeo para riego en la medida que se incrementa la reutilización.

Coste: Dependerá del sistema de tarifas que se negocie con los regantes. Se estima un coste de orden de 0,05 a 0,10 € por m² de incremento de agua reutilizada.

Beneficio: Disminución del bombeo en la zona sobreexplotada en un volumen equivalente al incremento del consumo de agua residual.

c) Balance de las propuestas:

El conjunto de las propuestas formuladas podría representar una disminución del bombeo en la zona sobreexplotada probablemente comprendido entre 7 y 9 hm³/a. Teniendo en cuenta que el déficit hídrico actual se ha evaluado en 3,7 hm³/a, su aplicación sería suficiente para erradicar el estado de sobreexplotación del acuífero e iniciar su gradual recuperación.

8.2.2. Propuestas complementarias

Se estima que las acciones directas encaminadas a la regularización de los recursos deben estar apoyadas por otras acciones que hacen posible la aplicación de las primeras, pero que directamente no tienen efectos sobre la sobreexplotación, entre ellos se incluyen:

a.- Propuesta para mantener bajo control la demanda agraria, sobre la base de estabilizar la superficie en regadío, fijar consumos objetivo por Comunidades de Regantes, tanto de recursos naturales (pozos) como de otras procedencias y estableciendo tarifas bonificadas/penalizadas según el consumo real al finalizar la campaña esté por debajo o por encima del consumo objetivo.

b.- Impulsar la creación de nuevas Comunidades de Regantes, que son las células base para el suministro de aguas residuales depuradas, mediante ayudas técnicas, organizativas y facilidades administrativas par su contención.

c.- Llegar a acuerdos con los Ayuntamientos de la zona para que el futuro crecimiento de la demanda urbana (26%) del año 2002 al 2012 se compense con un paralelo incremento de la reutilización de aguas residuales.

d.- Acciones para la permanente actualización de los datos del agua en la Zona Este de Gran Canaria incluyendo los datos básicos para la gestión del agua y la toma de decisiones, como por ejemplo, estadísticas mensuales y anuales de extracciones de agua, producción de aguas residuales, producciones industriales de agua (desalación, desalinización, depuración), consumos y costes energéticos, costes de distribución, etc.

e.- Establecimiento de un canon por explotación de recursos naturales (en el supuesto de que sea real el control de los caudales extraídos del acuífero), con carácter finalista para coadyuvar a los gastos anuales que conlleva el control y vigilancia del acuífero. En principio se propone un canon de 0,36 céntimos de € por m³ de agua extraída. Para una explotación de 30.000 m³/a representaría 108 €/a.

8.3. Programa para el control y vigilancia de la sobreexplotación

El progresivo conocimiento hidrogeológico del acuífero y la experiencia de las medidas y determinaciones periódicas realizadas en la última década llevan a las siguientes conclusiones relativas al control y vigilancia del acuífero.

a.-El carácter tridimensional del flujo subterráneo exige que las medidas de niveles piezométricos y las muestras para determinaciones analíticas estén referidas a unas coordenadas puntuales X, Y, Z. Es preciso saber a qué Z corresponde un nivel medido o una muestra de agua tomada para su análisis en laboratorio. Es preciso establecer una red de piezómetros, construidos ex profeso que complemente las medias efectuadas en los pozos.

b.-Medidas de niveles y determinaciones analíticas de la calidad tienen que dar una visión del estado del acuífero en intervalos de tiempo no superiores a un año, cuando lo que está en juego es el control y vigilancia del acuífero. Significa que hechas las medidas e incorporadas a las series históricas es preciso elaborar los datos procedimiento a la interpretación hidrogeológica de los resultados con una periodicidad anual como mínimo, para que el seguimiento de la sobreexplotación sea efectivo.

c.- El conocimiento de las extracciones reales y su distribución geográfica es una de las grandes lagunas existentes. Por ello se propone la instalación de caudalímetros en todas las captaciones que extraigan un volumen anual igual o superior a 30.000 m³, con emisor de pulsos.

d.- Se considera importante, para el mejor conocimiento de la sobreexplotación incluir entre las tareas de control algunos trabajos especiales, como son:

- Estudio de la evolución de las precipitaciones y su incidencia en la recarga del acuífero.
- Completar el modelo matemático de simulación del flujo subterráneo, incorporando las medidas piezométricas que se realicen en el futuro e iniciar un modelo de simulación de la intrusión marina.

- Proceder a la nivelación de los pozos situados en la zona sobreexplotada con GPS para limitar los errores de cota a 2 m máximo.