



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 VI. HIDROGEOLOGÍA

VI. HIDROGEOLOGÍA

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
 - 2.1. Datos
 - 2.2. Características constructivas
 - 2.3. Columnas hidrogeológicas
 - 2.4. Datos de explotación
3. GEOMETRÍA Y NATURALEZA DEL ACUÍFERO
 - 3.1. Geometría
 - 3.2. Naturaleza del acuífero
 - 3.2.1. Escala local o puntual
 - 3.2.2. Escala zonal
4. PIEZOMETRÍA
 - 4.1. Datos disponibles
 - 4.2. Elaboración de los datos piezométricos
 - 4.3. Piezometría correspondiente al periodo 1970-1974 (SPA-15)
 - 4.4. Piezometría correspondiente al periodo 1980-1981 (MAC21)
 - 4.5. Piezometría correspondiente al periodo 1990-1993
 - 4.6. Piezometría correspondiente al periodo 1997-1999
 - 4.7. Evolución piezométrica en pozos
 - 4.8. Gradientes verticales
 - 4.9. Resultados obtenidos
5. PARAMETROS HIDRAULICOS DEL ACUÍFERO
 - 5.1. Metodología
 - 5.2. Limitaciones
 - 5.3. Análisis de ensayos de bombeo
 - 5.4. Correlación entre caudal específico (q) y formaciones
 - 5.5. Rectas de regresión entre transmisividades-caudal específico según formaciones
 - 5.6. Permeabilidad o conductividad hidráulica
 - 5.7. Anisotropía
 - 5.8. Coeficiente de almacenamiento
6. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

CUADROS

- VI.1. Resumen de las longitudes correspondientes a las captaciones
- VI.2. Resumen de los datos de volumen de bombeo por periodos
- VI.3. Distribución por cota de emboquille del volumen de agua extraído para los periodos: A) SPA-15; B) MAC-21; C) ACTUAL (caudal en $\text{dm}^3/\text{año}$)
- VI.4. Resumen estadístico de $T(\text{m}^2/\text{día})$ por formaciones
- VI.5. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente al Ciclo P.R.N.
- VI.6. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente a la Formación Detrítica de las Palmas (F.D.L.P.)
- VI.7. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente al Ciclo Roque Nublo
- VI.8. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente a la Formación Fonolítica
- VI.9. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente a la Serie Sálica
- VI.10. Resumen de puntos considerados para el cálculo de q (l/s/m) correspondiente a los Basaltos Antiguos
- VI.11. Resumen estadístico de q (l/s/m) por formaciones
- VI.12. Productividad (l/s/m) según formaciones. (Tomado del Proyecto SPA-15, 1975)
- VI.13. Productividad (l/s/m) según formaciones
- VI.14. Equivalencia entre litologías y permeabilidades
- VI.15. Permeabilidades correspondientes al modelo matemático de flujo subterráneo realizado por INTECSA
- VI.16. Coeficientes de almacenamiento correspondientes al Modelo matemático de flujo subterráneo realizado por INTECSA

FIGURAS

- VI.1. Estructura correspondiente al fichero del Inventario del SPA 15
- VI.2. Estructura correspondiente al fichero del Inventario del MAC 21
- VI.3. Estructura correspondiente al fichero del Inventario de Nivel 1 del CIAGC
- VI.4. Estructura correspondiente al fichero del Inventario del ITGE
- VI.5. Estructura correspondiente a la Tabla Caudal de la BAC
- VI.6. Estructura correspondiente a la Tabla Explotac de la BAC
- VI.7. Distribución del porcentaje de caudal mayor en función de la cota de emboquille para los periodos SPA-15, MAC-21 y ACTUAL
- VI.8. Evolución temporal del caudal anual máximo en función de la cota de fondo de la captación
- VI.9. Estructura correspondiente al fichero Caudal de la BAC del IGME
- VI.10. Zonificación de la zona sobreexplotada
- VI.11. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes al Ciclo P.R.N.
- VI.12. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a la Formación Detrítica de las Palmas (F.D.L.P.)

- VI.13. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes al Ciclo Roque Nublo.
- VI.14. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a la Formación Fonolítica
- VI.15. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a la Serie Sálica
- VI.16. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a los Basaltos Antiguos
- VI.17. T ($m^2/día$) y q ($m^3/día/m$)

PLANOS

- VI.1. Distribución espacial de captaciones y nacientes
- VI.2. Corte hidrogeológico I
- VI.3. Corte hidrogeológico II
- VI.4. Piezometría correspondiente al periodo 1970-1974 (SPA-15)
- VI.5. Piezometría correspondiente al periodo 1980-1981 (MAC-21)
- VI.6. Piezometría correspondiente al periodo 1990-1993
- VI.7. Piezometría correspondiente al periodo 1997-1999
- VI.8. Distribución de gráficos de evolución piezométrica
- VI.9. Valores correspondientes a los gradientes verticales para el periodo SPA-15, MAC-21, 1990-93 Y 1997-99
- VI.10. Mapa de gradientes
- VI.11. Distribución espacial de Transmisividad ($m^3/día$) y Caudal específico (l/s/m)

ANEJOS

- Anejo VI. 1. Inventario de captaciones
- Anejo VI. 2. Columnas Hidrogeológicas
- Anejo VI. 3. Datos de explotación
- Anejo VI. 4. Datos históricos de niveles piezométricos y caudales
- Anejo VI. 5. Gráficos de evolución piezométrica
- Anejo VI. 6. Tablas correspondientes a los gradientes verticales
- Anejo VI. 7. Fichas resumen, tablas de datos y gráficos correspondientes a los ensayos de bombeo
- Anejo VI. 8. Transmisividad-caudal específico
- Anejo VI. 9. Hidrogeología. Tomo de planos

1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental del presente capítulo es contribuir al conocimiento del comportamiento del agua subterránea dentro del área de estudio, así como la relación con los materiales que la contienen. A la luz de lo anterior, se espera contribuir en la delimitación de las zonas sobreexplotadas o en riesgo de ello.

Como datos de partida se considera la información correspondiente a la cartografía geológica y las columnas geológicas descritas junto a los datos existentes en la Base de Aguas de Canarias (BAC). Dentro de la información existente en la BAC, para la elaboración de este capítulo, se ha utilizado fundamentalmente el inventario existente, los datos históricos de explotación, niveles piezométricos, así como las características constructivas de las captaciones.

Se realiza una descripción de la geometría del acuífero donde se indican sus límites hidráulicos, junto con la indicación de los materiales que constituyen el acuífero siguiendo un criterio cualitativo en base a su permeabilidad.

La elaboración de los diferentes mapas de isopiezas, en función de los periodos considerados, será una herramienta de gran interés tanto para la determinación de la piezometría para cada intervalo temporal como para establecer la comparación con otras isopiezas y establecer la evolución en el tiempo. Asimismo se han realizado los gráficos correspondientes a la evolución piezométrica temporal en aquellos pozos y sondeos con más de tres niveles estáticos.

La cuantificación de los parámetros hidráulicos correspondientes a cada formación productiva se plantea como una tarea básica para la caracterización hidrogeológica del territorio, para poder prever el comportamiento de las formaciones frente a la explotación y como herramienta básica para la elaboración del modelo de flujo subterráneo.

El modelo conceptual constituye el apartado final de este capítulo. Su finalidad será establecer las líneas básicas correspondientes al funcionamiento y comportamiento general del acuífero con el propósito de contribuir a la comprensión del mismo.

Los trabajos que figuran en este capítulo han sido editados con los programas Word, excel y access, los cuales se integran dentro del Office 2002 de Microsoft. Los mapas que figuran en los anejos han sido realizados con MicroStation versión 7 (SE), desarrollado por Bentley Systems.

2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

2.1. Datos

El inventario de puntos de agua, considerado para la realización de este estudio, engloba un total de 1.231 captaciones. De las anteriores, 993 son las incluidas realmente en el área de estudio mientras que 238 se sitúan en la zona de periferia. Esta franja, que se dispone orlando a la zona de estudio, está

ideada con la finalidad de aportar información en los lugares más periféricos donde normalmente existe ausencia de datos y de esta forma contribuir a la realización de los respectivos mapas temáticos.

En el plano VI.1. Distribución espacial de captaciones y nacientes, se muestra la disposición y naturaleza de los puntos inventariados en la zona.

Este inventario es el resultado de la recopilación de los diferentes proyectos y trabajos realizados en la isla y sobre los cuales se ha realizado una intensa labor de depuración a efecto de identificar y eliminar aquellos registros que estaban duplicados o eran erróneos.

La recopilación y el análisis de los datos suponen una tarea previa básica, cuya ejecución es prioritaria e ineludible, ya que sobre esta se sustentará el resto de las actividades del proyecto. La identificación de las captaciones ha de ser exacta ya que el número de Registro Nacional correspondiente a cada captación será el vínculo de unión con el resto de las tablas. Una identificación errónea dará lugar a la asignación incorrecta de análisis químicos, isotópicos piezométricos, etc.

Los inventarios considerados, debido a su entidad, son los correspondientes a los siguientes proyectos:

- * “Estudio Científico de los recursos de agua en las Islas Canarias” (SPA-15, 1970-74). Elaborado por MOP- UNESCO.
- * “Proyecto de Planificación y Explotación de los Recursos de Agua en el Archipiélago Canario (MAC-21, 1979-1981). Elaborado por INTECSA.
- * “Actualización del conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria” (Inventario de Nivel 1, realizado por la Oficina del Plan Hidrológico de Gran Canaria, 1993-95).
- * Estudios y proyectos varios realizados por el ITGE, actualmente IGME (1979-1990).

A continuación se indican las características y particularidades de cada inventario a efecto de conocer la metodología empleada para la obtención del fichero final.

Inventario perteneciente al Proyecto SPA-15

Los datos de partida han sido las fichas del SPA-15 existentes en el Consejo Insular de Aguas, incluyendo un archivador con 104 fichas con datos de esta época sin siglas del SPA.

Las fichas sin siglas SPA de este último archivador, con frecuentes e importantes problemas de identificación, han sido incluidas en el fichero siempre que la ficha aportase alguna información de interés hidrogeológico y tuviera, aunque remota, alguna posibilidad de identificación de la captación. A estas 104 fichas se les han asignado números SPA correlativos a partir del 9000 ya que no existe zona 9 en el inventario del SPA, respetando las fichas existentes del SPA con este inicio de número de orden (fichas ya detectadas conflictivas en el SPA).

El fichero final, con 664 registros (560 registros SPA), recoge en 16 campos los datos referentes a la identidad y situación de las captaciones y nacientes. La descripción de los contenidos de los campos se indica a continuación.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Nº SPA	Numérico	
EXPTÉ	Texto	Expte. inicial de la captación.
X	Numérico	coordenadas UTM elipsoide Hayford.
Y	Numérico	coordenadas UTM elipsoide Hayford.
Z	Numérico	m.s.n.m.
TOPÓNIMO	Texto	
N	Texto	naturaleza.
NOTAS	Texto	
CEX	Texto	control de los números y siglas de expediente, para problemas de identificación.
Exp SPA	Texto	Expte. que figura en las fichas del SPA.
PROPIETARIO	Texto	
FECHA	Fecha/Hora	
Nº F	Numérico	número de fichas que aparecen en el punto.
NO	Numérico	orden de posición de las fichas en los archivadores y de informatización.
NAO	Texto	orden de las fichas sin siglas SPA y su orden de informatización.
ODA	Texto	origen de datos.

Figura VI.1 Estructura correspondiente al fichero del Inventario del SPA-15.

Es importante destacar que durante esta labor de identificación se ha encontrado información sobre captaciones con igual toponimia y siglas SPA pero diferentes expedientes y coordenadas en distintas fichas, lo que invalida la información hidrogeológica existente.

Se han localizado análisis químicos con siglas del SPA cuyas fichas no se han encontrado, por lo que se estima que los archivadores están incompletos para algunas zonas.

Inventario correspondiente al Proyecto MAC-21

Los datos de partida han sido las fichas del MAC-21 existentes en el Consejo Insular de Aguas.

Este fichero, con un total de 1.674 registros, recoge en 13 campos los datos referentes a la identidad y situación de las captaciones y nacientes. La descripción de los contenidos de los campos se indica a en la figura VI.2.

Conviene destacar que en el campo “expediente” figura el expediente inicial de la captación que no es coincidente con el que figura en las fichas del MAC-21, habiéndose corregido en los casos necesarios. Por ello se ha incluido un campo donde figuran los expedientes relacionados y el control de los números y siglas de expediente (campo CE) para los problemas de identificación.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Nº MAC	Texto	Nº del MAC.
REGISNAC	Numérico	Número de registro ITGE.
EXPTE	Texto	Expediente inicial.
CE	Texto	Expte. relacionados para el problema de identificación.
X	Numérico	Coordenada x en UTM (Pico de las Nieves).
Y	Numérico	Coordenada y en UTM (Pico de Las Nieves).
Z	Numérico	Coordenada Z.
N	Texto	Naturaleza de la captación: Pozo, galería, naciente.
TOPÓNIMO	Texto	Nombre de la captación.
TM	Texto	Término municipal.
EXPTEs RELACIONADOS	Texto	Expedientes relacionados.
OBSERVACIONES	Texto	Anotaciones.
ORI	Texto	Origen de datos.

Figura VI.2 Estructura correspondiente al fichero del Inventario del MAC-21.

Inventario de Nivel 1 del Consejo

Corresponde, básicamente, al inventario efectuado por la Oficina del Plan Hidrológico de Gran Canaria al inicio de los años 90.

Este inventario se recogió en el documento *“Plan Hidrológico de Gran Canaria. Avance. Inventario de nivel 1 de aguas subterráneas”* y su soporte informático. Constituye la información más exhaustiva y elemental sobre las captaciones de la isla y la experiencia muestra que tiene una gran fiabilidad.

Al inventario informatizado inicial se le han añadido los registros correspondientes a captaciones cuyos expedientes no estaban localizados, más algunos registros correspondientes a captaciones anteriores al año 1924 (A 24) y sondeos de investigación (SO), todas ellas sin número de expediente, con datos hidrogeológicos y localizadas en otros inventarios o relaciones (SPA-15, MAC-21, IGME, etc.). Así mismo, se han incluido algunos nacientes que cumplen estas condiciones (NA). En la numeración de estas captaciones se han ido añadiendo correlativamente, los números de expediente con siglas A24, SO y NA.

El fichero, con 4390 registros en la actualidad, incluye los mismos campos que el fichero original del Consejo habiéndosele añadido dos campos más.

Uno de los campos añadidos es el ODA (Origen de Datos) indicador de la procedencia de los datos. En este aparecen las siguientes siglas con su equivalencia:

- BAC= Base de Aguas Canarias IGME
- BAEG= Base aguas E. Gutierrez
- CC= Base Tesis doctoral C.Cabrera
- N1= Fichero original Inventario nivel 1 Consejo
- N1A3= Anejo 3 Inventario nivel 1 Consejo
- MAC= Informatización MAC-21
- SPA= Informatización SPA-15

El otro campo añadido es el NOTAS en el que se ha recogido las observaciones de interés (duplicaciones, conflictos, etc).

La descripción de los contenidos de los campos se indica en la figura VI.3. Estructura correspondiente al fichero del Inventario de Nivel 1 del CIAGC.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
EXPTE	Texto	Siglas expediente
X	Numérico	X UTM elipsoide Hayford
Y	Numérico	Y UTM elipsoide Hayford
Z	Numérico	Z
N	Texto	Naturaleza
TOPONIMO	Texto	Nombre de la captación
EX	Texto	Existe:V=Verdad;F=Falso
AB	Texto	Abandonado:V=Verdad;F=Falso
EL	Texto	Electrificado:V=Verdad;F=Falso
SA	Texto	Situación Admiistrativa
TM	Texto	Término municipal
ODA	Texto	Origen de DATos: N1, BAC, MAC, SPA, CC
NOTAS	Texto	
REGISNAC	Numérico	Nº ITGE
SPA	Texto	Nº SPA 15
MAC	Texto	Nº MAC

Figura VI.3 Estructura correspondiente al fichero del Inventario de Nivel 1 del CIAGC.

Inventario de IGME

Los datos proceden de inventarios del IGME, recopilaciones de inventarios de otros estudios y trabajos y de la toma de datos de las inscripciones al Registro de Aguas del Consejo y la informatización de estos datos.

El fichero que tiene 1.231 registros de los que 993 corresponden a la zona de estudio y 238 a su periferia o zona de ampliación. Está compuesto por 20 campos de datos para la identificación y situación de las captaciones y nacientes.

Conviene destacar que se han incluido coordenadas UTM elipsoide Hayford (Datum Pico de las Nieves) y coordenadas UTM elipsoide WGS 84 (Datum REGCAN 95), la posición de la captación en la zonificación, si la captación está en la zona de estudio, en su periferia o fuera de ella, el origen de datos y las observaciones necesarias. Además de ello, se han incluido los expedientes originales del fichero del inventario de AT Hidrotecnia de la Zona Norte por la existencia de alguna situación contradictoria de identidad de captaciones sin expediente (siglas SE) y un campo de control del número y siglas del expediente. La descripción de los contenidos de los campos se indica en la siguiente figura:

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
REGISNAC	Numerico	Número de registro ITGE.
EXPTE	Texto	Expediente inicial.
Xa	Numerico	X UTM elipsoide Hayford.
Ya	Numerico	Y UTM elipsoide Hayford.
Xn	Numerico	X UTM elipsoide WGS 84.
Yn	Numerico	Y UTM elipsoide WGS 84.
Z	Numerico	Cota m.s.n.m.
N	Texto	Naturaleza de la captación:Pozo, galería, nacimiento.
TOPONIMIA	Texto	Nombre de la captación.
TM	Texto	Término municipal.
Zo	Texto	Zona
Se	Texto	Sector
Ar	Texto	Área
E	Texto	Situación. E=Zona de Estudio y P=Zona de Periferia
LUGAR	Texto	Topónimo de la ubicación.
FECHA	Fecha/Hora	Fecha
ODI	Texto	Origen de la información.
OBSERVACIONES	Texto	Anotaciones.
Expte ATH	Texto	Expte. originales del fichero del inventario de AT Hidrotecnia.
Cex	Texto	Control de números y siglas de expediente para su identificación.

Figura VI.4 Estructura correspondiente al fichero del Inventario del IGME.

El enlace de este inventario con el de Nivel 1 presenta menos de un 2,5 % de casos que se presten a duda, en su mayoría atribuibles a errores en las coordenadas. Dicho inventario puede calificarse como exhaustivo, y corresponde fundamentalmente a un inventario de nivel 2 (con toma de nivel piezométrico y/o muestra de agua) y en menor proporción a un nivel 3 (con levantamiento detallado de la columna geológica mediante el descenso de un técnico hasta el nivel del agua).

El inventario de identidad constituye el soporte elemental para todos los trabajos y el enlace con los diferentes ficheros existentes. La importancia de todos los puntos que lo constituyen radica en que son fuente potencial de información para el conocimiento del medio y su posterior planificación y gestión, tanto del acuífero como del recurso agua.

En resumen, en la zona de estudio y periferia, se tiene conocimiento de 1.231 captaciones y nacientes. Para desagregar esta información en función de su naturaleza, se procedió a la consulta de la BAC (Base de Aguas de Canarias), y con posterioridad se agrupó según su similitud, ya que el campo "Naturaleza" está codificado según 17 posibles variables. Tras esta operación, puede concluirse que en la zona existen 991 pozos, 157 galerías, 42 sondeos y 41 manantiales.

2.2.- Características constructivas

Tal como se indicaba en el apartado anterior, en el área objeto de estudio existen 993 captaciones y nacientes. El tipo más frecuente es el tradicional *pozo canario*, obra que presenta un diámetro de 3 metros y puede presentar asociadas otras obras secundarias cuya finalidad es captar zonas fisuradas que favorezcan las condiciones de explotación, como catas laterales, sondeos, taladros, etc.

Otra forma clásica de explotación son las *galerías*, las cuales son construidas en zonas montañosas. Estas al igual que los pozos canarios son perforadas

mediante voladuras con explosivos y sistemas manuales de perforación. Presentan una sección irregular cuyas dimensiones aproximadas son 1,7 m de alto y 1,7 m de ancho. Ambas captaciones normalmente están sin revestir. El trazado de las galerías puede ser muy irregular variando de rectilíneo a sinuoso, siendo frecuente la incorporación de ramales o sondeos laterales.

El tercer grupo de captaciones existentes en la zona son los *sondeos*. Estas obras son realizadas mediante los diferentes métodos de ejecución existentes en el mercado: rotación, percusión o rotopercusión.

Aparte de estas captaciones, existen pequeños manantiales o nacientes de carácter estacional y de escaso caudal.

Se ha contabilizado la longitud total perforada, correspondiente a la obra principal, en función de la naturaleza en la que se ha agrupado a todas las captaciones.

A la vista del cuadro siguiente, se puede afirmar que la longitud total de las captaciones existentes es de unos 120 km.

Dentro de las obras verticales realizadas, los sondeos presentan mayores valores de profundidad que los pozos. Este hecho queda constatado al registrarse valores superiores, tanto puntuales como medios, correspondientes a la longitud.

Las galerías son las captaciones donde se presentan los valores máximos de longitud.

CUADRO VI.1.

RESUMEN DE LAS LONGITUDES CORRESPONDIENTES A LAS CAPTACIONES

TIPO DE CAPTACIÓN	POZOS	SONDEOS	GALERÍAS	NACIENTES	TOTALES
Número de captaciones	799	29	128	37	993
Número de captaciones con datos	634	21	34		689
Longitud total perforada (m)	87.314,00	5.437,38	27.131,62		119.883,00
Media (m) de profundidad-longitud	137,70	258,00	797,98		397,89
Valor máximo de profundidad-longitud	465,00	695,00	4197,72		1785,91
Valor mínimo de profundidad-longitud	1,98	52,38	40,00		31,45

2.3.- Columnas hidrogeológicas

Se utiliza como información de partida la recopilación, de la geología existente en el área de estudio, correspondiente a todos los proyectos y trabajos realizados. Esta información fue integrada según el formato correspondiente a la estructura de la BAC. En dicho fichero, se contabiliza un total de 263

columnas con 2.571 registros correspondientes a las descripciones de los tramos.

En este apartado, junto a las columnas que aportan información correspondiente a la geología (descripción de los tramos, estructura, petrología y edad) se han incorporado otros campos que hacen referencia a los acuíferos y al espesor de los tramos saturados.

Se indica la capacidad que presentan determinadas formaciones de comportarse como acuíferos. Los tramos definidos como acuíferos se muestran mediante un nº correlativo de 0 al 99.

Los espesores saturados para cada periodo se indican mediante tres columnas que hacen referencia a la profundidad mínima del agua para los periodos correspondientes al SPA-15, MAC-21 y periodo (1990-1999). La información anteriormente mencionada queda recogida en el anejo VI.2. Columnas Hidrogeológicas.

2.4. Datos de explotación

La información existente en la BAC, correspondiente a datos de explotación, es el resultado de la incorporación a esta de los registros procedentes de distintos inventarios.

La principal necesidad que se planteó como consecuencia de las distintas fuentes de procedencia fue la de compatibilizar los formatos existentes; debido a que cada uno de los inventarios de los que se extrajo la información sobre los puntos de agua tenía uno propio.

Las unidades de medida de caudal y la forma de reflejar la duración diaria o anual de bombeo varía en cada caso, por ejemplo, en el proyecto SPA-15 se utilizaron como unidades de medida del caudal, además del L/s, las azadas y las horas de agua, dos unidades propias de las islas canarias. Esto generó confusiones a la hora de cargar los datos en la base.

Además, los datos de explotación se recogen en dos tablas de la BAC, la tabla CAUDAL y la tabla EXPLOTAC (figura VI.5. y figura VI.6). En cada una de ellas aparece un campo distinto referente al caudal: CAUDAL, en L/s y CABOMB (caudal de bombeo) en m³/h, respectivamente. En la mayoría de los casos, el campo CABOMB estaba mal calculado de forma que ambos valores, CAUDAL y CABOMB, no coincidían.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
REGISNAC	Numérico	Nº registro IGME
FECHA	Fecha/Hora	Fecha
SURGENCIA	Texto	Surgencia en códigos IGME
NIVEL	Numérico	Profundidad o surgencia del nivel en m
METONIVEL	Texto	método medida del nivel en códigos IGME
CAUDAL	Numérico	Caudal instantáneo en l/s
METCAUDAL	Texto	Método de medida del caudal en códigos IGME
DUB	Texto	Duración del último bombeo en códigos IGME
TDB	Texto	Tiempo después del bombeo (DE PARADA) en códigos IGME
ETN	Texto	Estimación Tipo de Nivel[E=estatico;D=dinámico;R=recuperación no medida]
ODA	Texto	Origen de datos
TPA	Numérico	Tiempo de Parada
UTP	Texto	Unidades Tiempo de Parada
TBO	Numérico	Tiempo de BOMBEO
UTB	Texto	Unidades Tiempo Bombeo
OBSERVACIONES	Texto	
NCC	Texto	nº CCabrera

Figura VI.5 Estructura correspondiente a la Tabla Caudal de la BAC.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
REGISNAC	Numérico	NÚMERO DE REGISTRO DEL INSTITUTO.
FECHA	Fecha/Hora	FECHA DE TOMA DEL DATO
UTIAGUA	Texto	UTILIZACIÓN DEL AGUA
CABOMB	Numérico	CAUDAL DE BOMBEO
REGMDIA	Numérico	RÉGIMEN MEDIO DIARIO
REGMANU	Numérico	RÉGIMEN MEDIO ANUAL
CANUAEX	Numérico	CANTIDAD ANUAL EXTRAIDA
VERTA	Texto	LUGAR DE VERTIDO
TEQUEX	Texto	TIPO DE EQUIPO DE EXTRACCIÓN
POTEN	Numérico	POTENCIA DEL MOTOR (CV)
SISAFO	Texto	SISTEMA DE AFORO
INSCOMP	Texto	INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS
ODA	Texto	ORIGEN DE DATOS
EXPEDIENTE	Texto	EXPEDIENTE
NCC	Texto	NÚMERO DE C. CABRERA

Figura VI.6 Estructura correspondiente a la Tabla Explotac de la BAC.

Como consecuencia de los problemas antes citados fue necesario revisar ambas tablas y comprobar la validez de los datos de la base, para lo que se revisaron las fichas en formato papel de todos los puntos de agua pertenecientes a la zona de estudio y se corrigieron todos los errores encontrados en la base.

Como resultado de esta tarea previa de revisión y corrección de los datos se obtuvo un archivo con 2.061 registros correspondientes a 647 puntos de agua. Este archivo se dividió en otros tres en función de la fecha de toma del dato:

- período SPA-15: 1970 -1974.
- período MAC-21: 1980 -1981.
- período 1990 -1999.

A lo largo del tiempo ha aumentado la información recogida sobre los puntos de agua situados dentro de la zona de estudio. De esta forma, el archivo correspondiente a la época del SPA-15 está constituido por 143 puntos de agua, el correspondiente al proyecto MAC-21 por 315 y en el período 1990-99 hay información correspondiente a datos de explotación de 539 puntos de agua.

En cada uno de estos archivos se muestran, mediante el campo REGISNAC, la identidad de los puntos de agua que han sido inventariados en los tres períodos de tiempo, además del número de veces que se recogió información del punto en cada período. También se incluye la cantidad de agua extraída anualmente (en $\text{Dm}^3/\text{año}$) por cada punto de agua, reflejándose los valores mayores, menores y medios de este parámetro. Esta información queda recogida en el anejo VI. 3. Datos de explotación.

En el cuadro VI.2 se ha resumido la información presentada en el anejo VI.3. Datos de explotación.

Conviene destacar que para los periodos más próximos se produce un aumento del número de captaciones encuestadas y por consiguiente un aparente incremento en la cantidad total de agua extraída anualmente. Asimismo, se aprecia una disminución del volumen de agua extraído por cada captación. De esta forma, durante el periodo SPA-15, cada punto de agua bombeó anualmente un máximo de $238 \text{ Dm}^3/\text{año}$ frente a $155 \text{ Dm}^3/\text{año}$ durante el periodo MAC-21 y $127 \text{ Dm}^3/\text{año}$ desde 1990 hasta la actualidad.

Los volúmenes correspondientes a los periodos SPA-15 y MAC-21 pueden no ser demasiado representativos de la realidad debido a que pertenecen a un reducido número de datos inventariados. Sirva como dato indicativo del volumen que explota cada captación el valor medio, cuyas variaciones pueden responder a las tendencias agrícolas, sociales, etc existentes para cada periodo y en cada zona.

CUADRO VI.2.

RESUMEN DE LOS DATOS DE VOLUMEN DE BOMBEO POR PERIODOS

	SPA-15 (1970-74)	MAC-21 (1980-82)	ACTUAL (1990- actualid.)	
Volumen máximo total ($\text{Dm}^3/\text{año}$)	33.965	48.936	68.620	
Volumen mínimo total ($\text{Dm}^3/\text{año}$)	26.619	38.442	51.917	
Volumen máximo por captación ($\text{Dm}^3/\text{año}$)	238	155	127	
Volumen mínimo por captación ($\text{Dm}^3/\text{año}$)	186	122	96	
	Nº de puntos	143	315	539

La cantidad de agua extraída está influenciada por el tipo de cultivo y la pluviometría de la zona, es decir, depende de la cota a la que se encuentre la captación. En el cuadro VI. 3. se muestra el volumen extraído en función de la cota de emboquille para los tres periodos de tiempo.

CUADRO VI.3.

**DISTRIBUCIÓN POR COTA DE EMBOQUILLE DEL
VOLUMEN DE AGUA EXTRAÍDO PARA LOS PERIODOS: A) SPA-15;
B) MAC-21; C) ACTUAL. (CAUDAL EN Dm³/año)**

a) SPA-15 (1970-1974)

COTA	Q MÁXIMO	(%)	Q MÍNIMO	(%)	Q MEDIO	(%)
0-50	1.076	3,2	914	3,4	999	3,3
50-100	4.515	13,3	3.786	14,2	4.099	13,5
100-150	5.246	15,4	4.289	16,1	4.768	15,7
150-200	6.434	18,9	5.341	20,1	5.811	19,2
200-250	4.050	11,9	2.358	8,9	3.404	11,2
250-300	1.984	5,8	1.244	4,7	1.642	5,4
300-400	2.271	6,7	1.620	6,1	1.901	6,3
400-500	979	2,9	860	3,2	919	3,0
500-600	1.808	5,3	1.423	5,3	1.599	5,3
600-800	1.430	4,2	1.122	4,2	1.305	4,3
800-1000	1.926	5,7	1.788	6,7	1.842	6,1
> 1000	2.247	6,6	1.873	7,0	2.017	6,7
TOTAL	33.965	100	26.619	100	30.304	100

b) MAC-21 (1980-1981)

COTA	Q MÁXIMO	(%)	Q MÍNIMO	(%)	Q MEDIO	(%)
0-50	1.055	2,2	849	2,2	963	2,2
50-100	9.753	19,9	7.172	18,7	8.384	19,2
100-150	8.044	16,4	5.244	13,6	6.551	15,0
150-200	8.816	18,0	4.540	11,8	6.741	15,5
200-250	4.789	9,8	4.168	10,8	4.445	10,2
250-300	2.068	4,2	2.068	5,4	2.068	4,7
300-400	3.686	7,5	3.686	9,6	3.686	8,5
400-500	1.869	3,8	1.869	4,9	1.869	4,3
500-600	2.581	5,3	2.572	6,7	2.577	5,9
600-800	2.599	5,3	2.599	6,8	2.599	6,0
800-1000	1.632	3,3	1.632	4,2	1.632	3,7
> 1000	2.043	4,2	2.042	5,3	2.042	4,7
TOTAL	48.936	100	38.442	100	43.557	100

c) ACTUAL (1990- 1999)

COTA	Q MÁXIMO	(%)	Q MÍNIMO	(%)	Q MEDIO	(%)
0-50	2.438	3,6	1.583	3,0	1.919	3,2
50-100	14.352	20,9	10.594	20,4	12.539	20,9
100-150	11.228	16,4	8.373	16,1	9.535	15,9
150-200	8.410	12,3	7.204	13,9	7.746	12,9
200-250	6.638	9,7	5.225	10,1	5.942	9,9
250-300	3.760	5,5	2.521	4,9	3.113	5,2
300-400	4.259	6,2	3.022	5,8	3.635	6,1
400-500	2.814	4,1	1.609	3,1	2.175	3,6
500-600	2.689	3,9	1.819	3,5	2.289	3,8
600-800	4.507	6,6	3.433	6,6	3.960	6,6
800-1000	4.536	6,6	3.840	7,4	4.147	6,9
> 1000	2.989	4,4	2.693	5,2	2.866	4,8
TOTAL	68.620	100	51.917	100	59.867	100

Las zonas en las que se bombea una mayor cantidad de agua están situadas a cotas bajas, concretamente entre los 50 y los 200 m de altitud. A lo largo del tiempo, la cota a la que corresponde el mayor porcentaje de agua bombeada ha disminuido, desplazándose hacia la costa. De esta forma, durante el periodo SPA-15 el mayor bombeo se realizó entre los 150 y los 200 m mientras que desde el año 1980 hasta la actualidad (periodos MAC-21 y ACTUAL), se dio entre los 50 y los 100 m. Esta evolución se muestra en la figura VI.7.

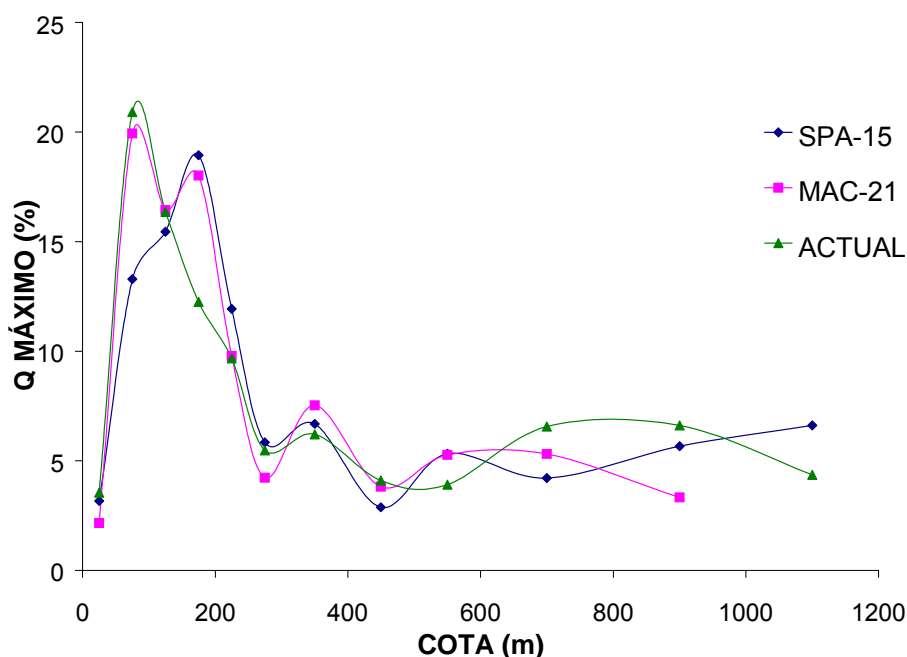


Figura. VI.7 Distribución del porcentaje de caudal mayor en función de la cota de emboquille para los periodos SPA-15, MAC-21 y ACTUAL.

Por otra parte, la evolución del bombeo en función de la cota de fondo dará idea de las modificaciones que la extracción de agua ha sufrido con el tiempo. Según la cota de fondo, las captaciones se han clasificado en bajas, con una cota de fondo de 50 m como máximo, intermedias, de 50 a 200 m, y altas, con una cota de fondo mayor de 200 m. En la figura VI.8 se muestra el porcentaje de volumen anual máximo en función de la cota de fondo para los tres períodos.

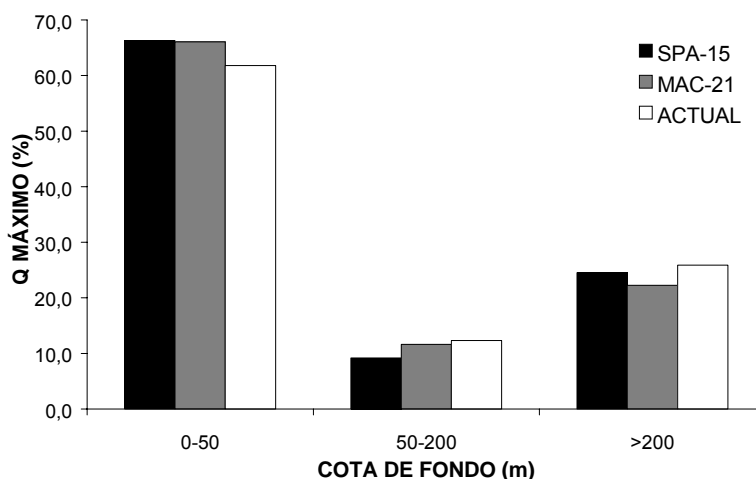


Figura. VI.8 Evolución temporal del caudal anual máximo en función de la cota de fondo de la captación.

Desde los años 70 hasta la actualidad se observa una disminución en la extracción de agua a cotas bajas en favor de un aumento en cotas tanto intermedias como altas. El descenso de la explotación de las captaciones situadas a cotas bajas puede ser explicado por un empeoramiento de la calidad del agua en esta zona (provocado por intrusión de agua marina en el acuífero) lo cual generaría una disminución en el bombeo por parte de los propietarios de las captaciones.

3. GEOMETRÍA Y NATURALEZA DEL ACUÍFERO

3.1. Geometría

La zona de estudio y su periferia, con una superficie de 542 km², presenta una morfología pseudotriangular cuyos vértices se sitúan en Jinamar (inmediaciones de Las Palmas de Gran Canaria), proximidades de Juan Grande y zona de cumbres. Dicha porción de acuífero corresponde al denominado sistema acuífero nº 83.

La Isla de Gran Canaria y por consiguiente la zona Este, objeto de este estudio, puede definirse como un acuífero único. El hecho de estar constituido por la superposición de diferentes materiales, carácter limitado de su extensión en la horizontal, existencia de diques, pitones, almagres y otras discontinuidades son las razones de la heterogeneidad y anisotropía de este acuífero volcánico.

El sistema tiene un flujo subterráneo, centrífugo radial, de cumbres hacia la costa.

Los límites hidráulicos existentes en la zona son :

En planta:

- La línea de costa representa un límite piezométrico constante cuyo valor es 0 y donde según el sentido correspondiente al gradiente piezométrico puede producirse entrada o salida del agua.
- Los límites situados al norte y sur del territorio quedan definidos por las divisorias de aguas entre barrancos, excepto un pequeño sector en el Norte y en el Sur, dichas líneas convergen en la zona de cumbres donde se alcanza la máxima altitud (1.950 m s.n.m.).

En la vertical:

- El límite superior es la superficie correspondiente al nivel piezométrico correspondiente al momento considerado. En este caso nivel freático.
- El límite inferior corresponde al sustrato impermeable o zócalo del acuífero. La definición de dicho límite constituye la mayor incertidumbre existente. La idea comúnmente aceptada consiste en que a cierta profundidad los materiales tienen una permeabilidad tan baja que se pueden considerar como un zócalo impermeable. Esta teoría no se ha podido corroborar con la información existente correspondiente a las numerosas columnas geológicas. Como ejemplo citaremos que el sondeo con mayor profundidad, Cuevas Blancas, situado en la cumbre, de unos 700 m de profundidad y con unos 300 m de espesor saturado no toca materiales impermeables; en la costa el sondeo del IGME de Los Corralillos con unos 500 m de profundidad tampoco toca materiales impermeables, así como el sondeo de El Toscal, en las medianías, con casi 500 m de profundidad y unos 250 m de zona saturada tampoco toca materiales de muy baja permeabilidad.

La definición de la geometría del acuífero se realiza en base a la información geológica existente. Se dispone de unas 260 columnas geológicas de pozos, fiables, con una distribución espacial homogénea. Estas, aportan información de las profundidades correspondientes a los contactos entre las diferentes formaciones.

Como combinación de la información correspondiente a la cartografía geológica junto a las numerosas columnas geológicas, se realizó en el Capítulo de geología un bloque diagrama donde se establece la disposición espacial de las formaciones con la profundidad.

Cortes hidrogeológicos

Se han realizado dos cortes hidrogeológicos coincidentes con los cortes geológicos nº 2 y 5, que figuran en los planos III.4-5, y que se muestran en los planos VI.2 y VI.3.

En cada corte se incluye un primer gráfico correspondiente a una franja a lo largo de la traza del corte y que representa el mapa topográfico donde se indica la situación en planta de las captaciones consideradas.

En el segundo gráfico existente figura la disposición de los diferentes materiales con una clasificación en base a la permeabilidad asociada a ellos, y que de mayor a menor es: materiales permeables, semipermeables, baja permeabilidad y muy baja permeabilidad.

Geológicamente, el corte hidrogeológico N° 1 que figura en el plano VI.2 discurre sobre los materiales correspondientes al Ciclo Roque Nublo. En esta zona, es mencionable la presencia de cuerpos intrusivos y pitones, los cuales originan resaltes topográficos. Bajo los materiales correspondientes al Ciclo Roque Nublo aparece la Serie Sálica cuya presencia queda constatada en tres columnas geológicas y dos afloramientos a lo largo de la línea por la que discurre el trazado. Sobre los materiales correspondientes al Ciclo Roque Nublo se disponen los conos de tefra correspondientes al Ciclo Post Roque Nublo y los coluviones y derrubios de ladera. En la parte final, próxima a la costa aparecen los materiales pertenecientes al miembro superior de la Formación Detrítica de Las Palmas, que corresponden a los episodios sedimentarios finales dentro del Ciclo Roque Nublo.

El corte N° 2 que figura en el plano VI.3 se desarrolla casi en su totalidad en el dominio extracaldera. En este aparecen los Basaltos Antiguos (Ciclo I) y sobre estos los materiales de la Serie Sálica, los cuales alcanzan potencias de unos 300 m. Es en el Lomo del Gallego donde aparecen los afloramientos más destacables correspondientes al Ciclo Roque Nublo y materiales del Ciclo Post Roque Nublo. Los depósitos sedimentarios existentes corresponden a los Barrancos de Las Palmas y de Juan Grande junto a las arenas eólicas próximas a la costa.

Existe una zona, de menor entidad espacial, definida dentro del dominio intracaldera donde se aprecia como se pone en contacto los materiales de la Serie Sálica y los Basaltos antiguos mediante la falla correspondiente al borde de caldera.

Como información complementaria se incluyen los pozos seleccionados, situados según la cota de emboquille, donde figura la profundidad de la captación junto a la cota y fecha correspondiente al nivel piezométrico que se indica. Se incluye el nivel piezométrico correspondiente al mapa de isopiezas del periodo 1997-99, el cual ha sido transpuesto al corte.

En los cortes hidrogeológicos se aprecia una variación en el comportamiento del gradiente hidráulico. De esta manera en la zona central de la isla se localizan los gradientes mayores, produciéndose después una inflexión que genera un gradiente menor en las proximidades de la costa.

Se incluye un tercer gráfico correspondiente a la situación de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$). Para el corte n° 1 los valores oscilan entre 200 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ para las cotas más elevadas y 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ para las proximidades de la costa. El corte n° 2 presenta unos valores cuyo rango se encuentra entre 500 y 2.300 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$.

3.2. Naturaleza del acuífero

3.2.1. Escala local o puntual

A escala local o puntual la permeabilidad de los materiales y su coeficiente de almacenamiento dependen de su estructura (textura), que está relacionada con su petroquímica, su proceso de emisión y emplazamiento y con los procesos de modificación postvolcánicos de las texturas (colmataciones y compactaciones).

Materiales volcánicos

Materiales lávicos

Comprende las coladas de materiales basálticos, fonolíticos y traqui-riolíticos.

Los centros de las coladas son permeables por fracturación (por las diaclasas) o por porosidad (lavas pahoehoe). Los tramos de techo y muro de colada (escorias de techo y “cascajo” de base) son permeables por porosidad.

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

Materiales de proyección aérea

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

Materiales intrusivos

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

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

Almagres

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

Materiales sedimentarios e intermedios

Materiales sedimentarios

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

Depósitos epiclásticos.

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

3.2.2. Escala zonal

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

- Las estructuras complejas disminuyen la permeabilidad por la existencia de tramos menos permeables que dificultan el flujo en vertical y horizontal.
- Los materiales antiguos tienen menos permeabilidad cuando están subyacentes, pues han tenido más oportunidad de sufrir compactaciones y colmataciones. Cuando están aflorantes pueden tener su permeabilidad aumentada por la descompresión.
- Existe una zona central de la isla donde la permeabilidad parece ser menor, quizá por causas estructurales.
- Los paquetes de pumitas e ignimbritas soldadas actúan como impermeables o acuitardos.

Como resumen, tras lo anteriormente expuesto, el acuífero puede definirse como libre, heterogéneo y anisótropo.

4.- PIEZOMETRÍA

4.1. Datos disponibles

Se han recopilado y analizado los datos correspondientes a piezometría existente en la zona. Los ficheros origen de esta información así como las

abreviaturas utilizadas para denominar el origen de datos son los indicados a continuación:

Fichero CAUDAL de la BAC del IGME. Comprende datos desde 1970 hasta la actualidad, correspondientes a trabajos del propio IGME, recopilaciones de otros estudios e inscripciones en el Registro de Aguas del Consejo. (Origen de Datos BAC).

Fichero de FÍSICOS, EXPLOTACIÓN Y OBSERVACIONES del inventario de AT Hidrotecnia de la Zona Norte de Gran Canaria de 1997. (Origen de datos ATH).

Fichero de PIEZOMETRIA Y EXPLOTACION y datos en soporte papel de la tesis doctoral de Carmen Cabrera. (Origen de datos CC).

Toma de datos de las fichas de inventario del SPA-15. (Origen de datos SPA).

Tomo de datos de las fichas de inventario del MAC-21. (Origen de datos MAC).

La incorporación de los datos de la BAC e inventario de AT Hidrotecnia (ATH) se efectuó ensamblando los ficheros sin grandes problemas por ser datos de distintas fechas. Previamente hubo que transformar, dar formato BAC y ensamblar los datos de los distintos ficheros ATH, de esta forma se obtuvo un primer fichero de Piezometría.

Los fichero de C.Cabrera se completaron y corrigieron con los datos en soporte papel, se les transformo y dio formato BAC, ensamblándose en un fichero. Este fichero se fusionó con el que contenía los datos IGME y ATH. Posteriormente hubo que eliminar las duplicaciones de datos entre ambos ficheros pues C.Cabrera recogía datos propios y otros correspondientes al IGME, MAC y SPA obteniéndose un segundo fichero de Piezometria.

Con posterioridad se procedió a incorporar, sucesivamente, a este segundo fichero los datos de las fichas del SPA y MAC.

El fichero resultante recopila 3.871 registros con datos de nivel y/o caudal de las captaciones y nacientes de la zona de estudio y su periferia. Dicha información se recoge en el anejo VI.4. Datos históricos de niveles piezométricos y caudales.

El fichero consta de 20 campos que recogen la identidad de los puntos de agua, su situación, los datos de piezometría y caudal, las condiciones de observación, el origen de datos, su fecha y las observaciones.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
REGISNAC	Numérico	Número de registro ITGE.
EXPTE	Texto	Expediente inicial.
E	Texto	Situación. E=Zona de Estudio y P=Zona de Periferia
FECHA	Fecha/Hora	día,mes y año que se efectuó la medida
N	Texto	Naturaleza de la captación:Pozo, galería, naciente.
SURGENCIA	Texto	Seco, surgente o no surgente.
Z	Numérico	Cota m.s.n.m.
NIVEL	Numérico	Profundidad a la que se encuentra el agua
METONIVEL	Texto	Método empleado para la toma de nivel
CAUDAL	Numérico	caudal extraído o surgente (l/sg)
METCAUDAL	Texto	Metodo de medida del caudal.
DUB	Texto	Duración del bombeo anterior a la medida
TDB	Texto	Tiempo transcurrido desde el último bombeo.
ODA	Texto	Origen de la información.
TPA	Numérico	Tiempo de parada.
UTP	Texto	última parada
TBO	Numérico	Tiempo de bombeo.
UTB	Texto	último bombeo
ETN	Texto	Estimación del tipo de nivel.
OBSERVACIONES	Texto	Anotaciones.

FiguraVI.9 Estructura correspondiente al fichero Caudal de la BAC del IGME.

El campo ETN (estimación del tipo de nivel) se ha cumplimentado mediante E (Nivel Estático) y D (Nivel Dinámico). La asignación de uno u otro tipo se basa en el campo TDB (Tiempo transcurrido desde el último bombeo), dicho campo está codificado según las normas existentes en la BAC. Se han etiquetado como Nivel Estático aquellos valores correspondientes a un tiempo desde el último bombeo en general superior a 15 días.

Tras la recopilación y análisis de la información piezométrica existente, 3.900 registros referidos a 822 puntos, se han identificado 910 medidas de niveles estáticos vinculados a 462 puntos.

Los datos pertenecen a los muestreos realizados por los proyectos SPA-15 (1970-74), MAC-21 (1980-81), el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (1990-97) y el IGME (1979-00).

4.2. Elaboración de los datos piezométricos

Se han realizado los mapas de isopiezas correspondientes a los periodos: SPA-15 (1970-74), MAC-21 (1980-81), 1990-93, 1997-99 por ser los intervalos con mayor densidad de información y para mostrar su evolución temporal.

Para su elaboración se han seleccionado un total de 36, 96, 113 y 176 datos de NE respectivamente. Como información de apoyo se ha utilizado las medidas de ND más elevadas, para cada periodo, perteneciente a los distintos puntos. Así, el total de datos considerados fueron respectivamente 199, 319, 321 y 190. Esta información se utilizó cuando aportase alguna indicación y siempre que no contradijese a la anterior.

La realización de estas isopiezas conlleva, de forma previa, la mención de una serie de limitaciones que han sido asumidas para su elaboración.

- La profundidad de los pozos es muy diferente con la característica común de ser todos parcialmente penetrantes, al menos en su origen, ya que con posterioridad se pueden haber realizado obras de reperforación. La razón de penetrar poco en la zona saturada obedece a las limitaciones constructivas existentes en la época junto a la metodología empleada para su ejecución.
- Existe una gran diversidad en la naturaleza de las captaciones debido a las particularidades existentes en cada caso. Así, tenemos pozos, sondeos, galerías, las combinaciones resultantes de estas y la situación añadida, en algún caso, de existencia de drenes laterales. Esta variabilidad puede añadir cierta incertidumbre en algunos niveles piezométricos.
- Dificultad existente al clasificar las medidas en niveles estáticos y niveles dinámicos. Se ha constatado, la situación errónea de como en alguna ocasión algún nivel dinámico podía situarse sobre alguna medida etiquetada como nivel estático. Existe la incertidumbre en algunas medidas de niveles estáticos si no están influenciadas por los bombeos próximos.
- Se acepta la posible falta de precisión que pudiese existir en las medidas de NE, fruto de los diferentes operarios que participaron en su toma; así como la precisión de la cota de la captación, resultante del método empleado (mapa 1:25.000, 1:50.000 o altímetro).

Para la realización de las isopiezas correspondientes a un periodo determinado se han considerado los valores de NE existentes. Los ND se han tomado como información de apoyo en aquellas zonas donde no existía ninguna otra información. Corresponden al valor máximo de la serie histórica de todos los puntos existentes.

La metodología empleada para su elaboración responde al método clásico de triangulación entre puntos con NE conocido, siempre que no existan variaciones importantes en el medio. Esta tarea se realizó mediante el programa SURFER v.7, utilizando únicamente los puntos que tiene valor de NE. El trazado de las curvas isopiezas, a partir de los datos puntuales, se elabora con métodos similares a los empleados en topografía.

Para simular la línea de costa como un borde de nivel constante, se definen 47 nodos a los cuales se les asigna un valor piezométrico igual a cero.

Las isopiezas generadas son exportadas con extensión dxf para posteriormente recuperarlas con Microstation y retocarlas a mano. De esta forma se corrigen los acusados descensos topográficos existentes en los grandes barrancos en la zona (Bcos. de Tirajana, Balos, Guayadeque, ...).

Debido a la densidad de puntos, al tamaño de la zona y a la escala de trabajo la equidistancia considerada entre líneas es de 100 m; excepto en las zonas donde los valores son negativos que se ha considerado más interesante realizarlas cada 20 m.

4.3. Piezometría correspondiente al periodo 1970-1974 (SPA-15)

Para este periodo existe un mapa de piezometría correspondiente a toda la isla realizado en el “Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias” SPA/69/515.

Se ha realizado, para la zona Este, el mapa de isopiezas considerando un total de 36 puntos con valor de NE y 198 puntos con valor de ND. En el plano VI.4. se muestra la distribución espacial de los valores existentes donde se constata una baja densidad de niveles estáticos.

Cabe mencionar como en la zona SE se podría empezar a intuir la existencia de tres depresiones piezométricas bajo la cota del nivel del mar como consecuencia de los intensos bombeos existentes.

4.4. Piezometría correspondiente al periodo 1980-1981 (MAC-21)

Para su elaboración se han considerado los datos correspondientes a 96 puntos que disponían de valor referido a NE y 319 captaciones cuya información hacía referencia a situaciones de bombeo o recuperación. Es destacable para este periodo la escasez de medidas correspondientes a niveles estáticos en la zona correspondiente a Riscos de Tirajana, Reserva Natural Especial de los Marteles, Barranco de Guayadeque y Sta. Lucía de Tirajana.

Tras su análisis, y comparación con la situación del SPA 15, cabe mencionar como a rasgos generales las isopiezas mayores de 100 m adoptan una disposición que podría calificarse de “similar” para los dos periodos.

En la zona situada por debajo de la isopieza de cien es donde se generarán las grandes diferencias que caracterizan cada periodo.

La situación para este periodo queda recogida en el plano VI.5.

La isopieza de cero es la más característica, se sitúan en el SE de la zona y se disponen adoptando una morfología lobulada que se extiende desde Agüimes, Vecindario, Pozo Izquierdo, línea de costa, Juan Grande y posteriormente se acomoda según el curso ascendente de Bco. de Tirajana. La superficie correspondiente a esta zona, cuya piezometría presenta valores negativos, es de unos 60 Km².

Dentro de esta depresión cabe indicar dos núcleos principales donde las profundidades son máximas.

Núcleo Norte Entre Agüimes y cruce de Arinaga donde se alcanza el valor máximo de -90 m.

Núcleo SW. Próximo al Bco. de Tirajana, en el pago de Morro Las Palomas con un valor máximo de -51 m.

Para este periodo cabe diferenciar dos gradientes aparentes en el plano horizontal. Un gradiente, más intenso, definido para las isopiezas 900 y 500 cuyo valor es 0,11 y el correspondiente entre la isopieza 500 y la 50 para las cuales se define un gradiente de 0,05.

4.5. Piezometría correspondiente al periodo 1990-1993

Para determinar la disposición de las isopiezas en esta época se han utilizado un total de 113 datos de NE y 321 datos de ND.

Tras su observación en el plano VI. 6, se aprecia como el área deprimida bajo el nivel del mar, fruto de los continuos bombeos, se extiende hasta las proximidades del Agüimes. Alcanzándose en esta zona valores próximos a -100 m s.n.m.

Se ha incluido en este mapa, con la finalidad de prolongar la isopieza cero al norte de Agüimes, la situación piezométrica correspondiente al periodo 1997-1999 para la zona situada en las proximidades al núcleo urbano de Carrizal.

Existe una amplia zona en las proximidades del Telde fuertemente perturbada como consecuencia de que los bombeos están condicionando los niveles de los pozos teóricamente estáticos. En esta área, pueden intuirse diversos núcleos de bombeos aunque es difícil determinar sus límites con precisión. Se opta por indicar posibles agrupaciones de núcleos bajo el mar.

La superficie, correspondiente a las zonas anteriores y con valores piezométricos negativos, es de aproximadamente 70 km².

Tras el análisis de las isopiezas, correspondientes a la zona comprendida entre la zona de cumbres, Carrizal y Juan Grande, es destacable como se aprecian variaciones en el gradiente piezométrico. Así, entre la isopieza 1.400 a la 600 puede indicarse la existencia del gradiente más intenso con valores correspondientes a 0,17; entre la 600 y la 0 se aprecia una suavización del mismo con valores próximos a 0,10. En la zona situada bajo el nivel del mar se producen situaciones de inversión del gradiente piezométrico, las cuales generan flujos del mar hacia el interior de la depresión, con los consiguientes efectos de intrusión marina.

4.6. Piezometría correspondiente al periodo 1997-1999

Para el establecimiento de la distribución espacial de las isopiezas correspondiente a este periodo se han considerado 176 medidas de niveles estáticos y 190 medidas de niveles dinámicos.

En la zona situada entre el núcleo urbano de Telde y la línea de costa se aprecia cómo para este periodo el área correspondiente a la isopieza cero se ha reducido respecto al periodo anterior. Es apreciable como está constituida en esta época por cinco zonas las cuales se sitúan en las proximidades del

núcleo urbano de Telde. La distribución de isopiezas correspondiente a este periodo se muestra en el plano VI.7.

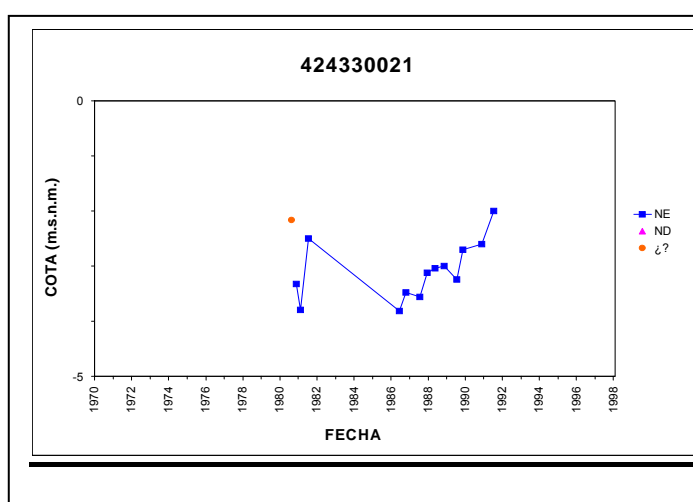
Al igual que para el periodo anterior, existe una variación correspondiente al gradiente piezométrico cuyo línea de inflexión se sitúa en la isopieza 600.

4.7. Evolución piezométrica en pozos

Con la finalidad de determinar la evolución temporal de la piezometria se realizan los gráficos correspondientes a las captaciones que posean, dentro de sus registros históricos, al menos tres Niveles Estáticos. De esta forma se obtienen los 72 gráficos que se muestran en el Anejo VI.7. Gráficos de evolución piezométrica.

El intervalo temporal, considerado para todos los gráficos, comienza en 1970 y finaliza en 1988. Este se dibuja en el eje de abscisas y se mantiene común para todos los realizados a efectos de poder establecer comparaciones entre los distintos gráficos. En el eje de ordenadas se indica la cota correspondiente a los valores piezométricos, en este caso el rango de valores se ajusta de forma automática ya que debido a la amplitud de los valores se desestimó realizar un intervalo común para todos ellos.

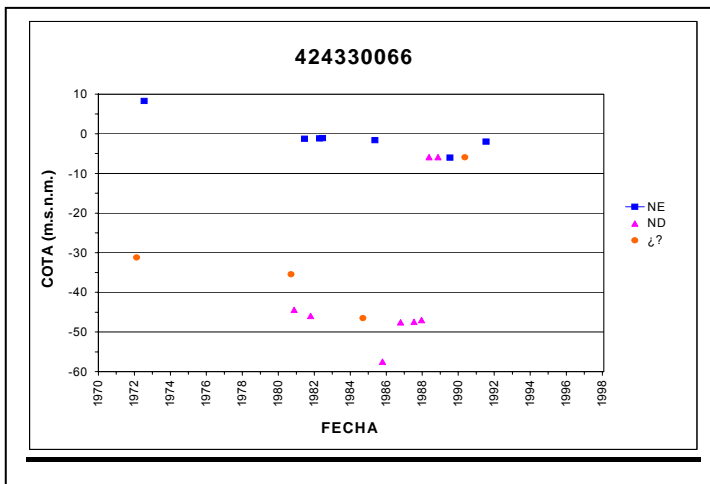
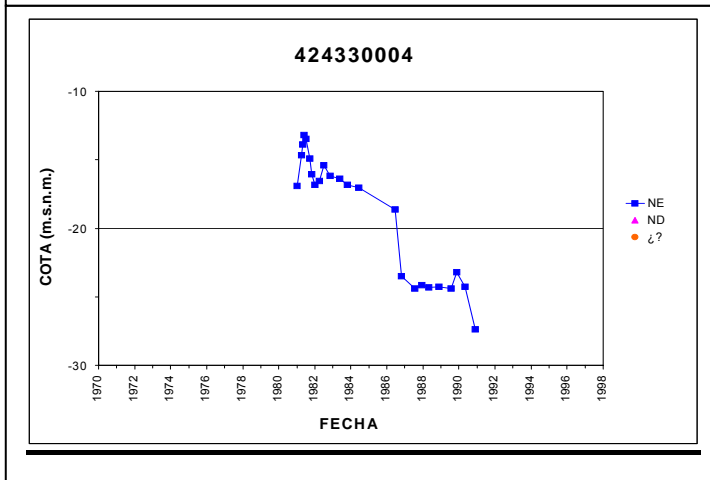
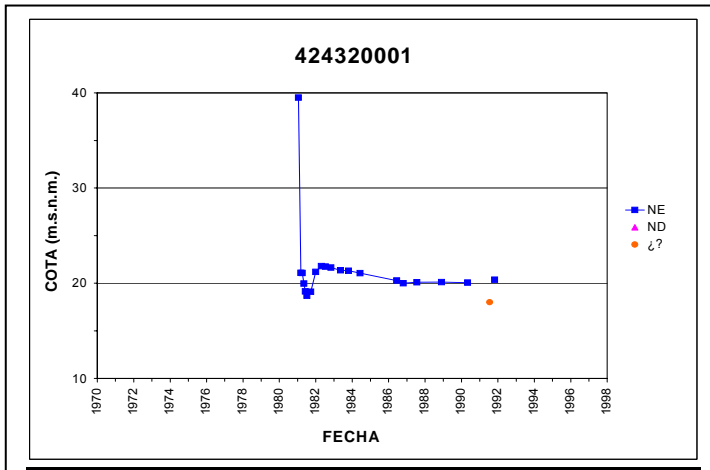
Los valores representados corresponden a niveles estáticos, aquellos cuyo tiempo de parada desde el último bombeo es superior a quince días y niveles dinámicos, cuando el tiempo de parada es menor. En los gráficos se incluye una tercera categoría que corresponde a valores de los que no existe información en la BAC, respecto a su tiempo de parada desde el último bombeo, por lo que se han etiquetado como “¿?”. Puede darse la circunstancia de que alguno de estos valores se sitúe sobre otro correspondiente a un nivel estático con lo que se podría recalificar como nivel estático. Un ejemplo de esta situación se aprecia en los gráficos 424330021 y 424270041.



Tras observar los gráficos realizados se aprecia que existe una gran diversidad, tanto en la morfología como en la abundancia de los datos existente en ellos. Existen gráficos que disponen únicamente de tres niveles estáticos, otros con gran cantidad de datos correspondiente en su casi totalidad a niveles dinámicos y otros donde toda la información

corresponde a niveles estáticos como es el caso de 424320001 y 424370008.

Existen situaciones donde los valores se muestran dispersos, sin posibilidad de aportar información sobre la tendencia evolutiva. En otros si es posible establecer una línea claramente ascendente o descendente (424330004,



424360002) y en otros podría establecerse un posible paralelismo entre los valores correspondientes a los niveles estáticos y los niveles dinámicos (424330066, 424370004, 424270206).

Se han representado espacialmente los gráficos especialmente los gráficos cuyas cotas de los niveles piezométricos se sitúan bajo

el nivel del mar, Plano VI.8. La situación de los gráficos se encuentra localizada dentro de la zona definida por la isopieza cero para el periodo 1990-99. Es destacable como los valores piezométricos existentes, en todos los gráficos, mantienen valores negativos para el periodo temporal considerado.

4.8. Gradientes verticales

El proceso físico que genera el flujo a través de un medio poroso requiere la existencia de un gradiente o diferencia de potencial.

Se ha realizado el cálculo de los gradientes verticales para los siguientes periodos: SPA-15, MAC-21, 1990-93 y 1997-99.

Para cada periodo se han considerado los pozos o sondeos que estando relativamente próximos presenten diferencias notables en la profundidad de la

captación. Con posterioridad se determina la relación entre las diferencias correspondientes a los niveles estáticos y las cotas correspondientes a los fondos de las captaciones seleccionadas. Las tablas correspondientes a los gradientes verticales quedan recogidas en el Anejo VI. 8.

La distribución espacial de los valores correspondientes a los gradientes verticales se muestran en el plano VI.9. donde se superponen los valores correspondientes a los distintos periodos considerados.

En el mapa de gradientes plano VI.10 se muestran las tres zonificaciones en base a los datos obtenidos. Existen dos pequeñas zonas donde los flujos verticales son de carácter ascendente. Uno se sitúa en las proximidades del Monumento Natural de Roque Aguairo y el otro al sur del núcleo urbano de Vecindario. En el resto del territorio los gradientes verticales son descendentes. Existe una zona al norte del área de estudio cuya superficie se extiende desde Vega de San Mateo, Marzagan, Valsequillo y Telde, donde los valores descendentes son mayores.

4.9. Resultados obtenidos

Tras analizar los mapas de isopiezas es apreciable como en la zona de recarga no existen grandes diferencias en el trazado de las isopiezas. La similitud se debe a que en esta zona se presentan los valores piezométricos más elevados, como consecuencia de ser la zona de recarga junto a presentar las menores extracciones. En las proximidades a la costa, donde tradicionalmente se han producido las máximas extracciones, se aprecian como se van generando pequeñas depresiones en el SPA para posteriormente ir aumentando, tanto en profundidad como en longitud, hasta alcanzar una situación extrema para los años 90.

En la zona existen áreas donde los bombeos son intermitentes y otras donde estos son permanente, manteniendo los niveles piezométricos de forma puntual o constante por debajo del nivel del mar.

Se ha definido la isopieza cero correspondiente al periodo 1990-1999. Debido a la disponibilidad de los datos se ha considerado la piezometria correspondientes a los años 1990-1993 para el establecimiento de la piezometria cero en la mitad inferior del área de estudio y la piezometria correspondiente a 1997-1999 para la delimitación de la isopieza cero en la mitad norte. De esta manera se determina el límite para la zona cuya situación piezométrica se encuentra de forma continuada bajo el nivel del mar y cuya extensión es de unos 56 km².

Se ha establecido un límite externo de mayor superficie, 145 km², donde la situación bajo el nivel del mar es de carácter intermitente, no manteniéndose constante en el tiempo. Para su definición se ha considerado la línea de valor cero, elaborada con los valores más profundos de los niveles dinámicos correspondientes al periodo 1990-1999. Dichos valores corresponden a los máximos bombeos registrados.

En la figura VI.10 Zonificación de la zona sobreexplotada, se muestra la situación correspondiente para ambos límites.

Sería de máximo interés poder establecer una red de control piezométrica a efecto de controlar la evolución de los niveles piezométricos en la zona con el paso del tiempo. Tras la visita a la zona de campo se constató el bajo número de captaciones que reuniesen las características mínimas. Lo idóneo sería proyectar una red de control, con una distribución homogénea y suficiente, donde se conociesen las características constructivas y geológicas de todos los sondeos o pozos.

5. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO

5.1. Metodología

Se procedió a la recopilación y posterior interpretación de 155 aforos. Dichos bombeos no se realizaron específicamente para este objetivo sino que son los requeridos para la inscripción de las captaciones en el Registro de Aguas.

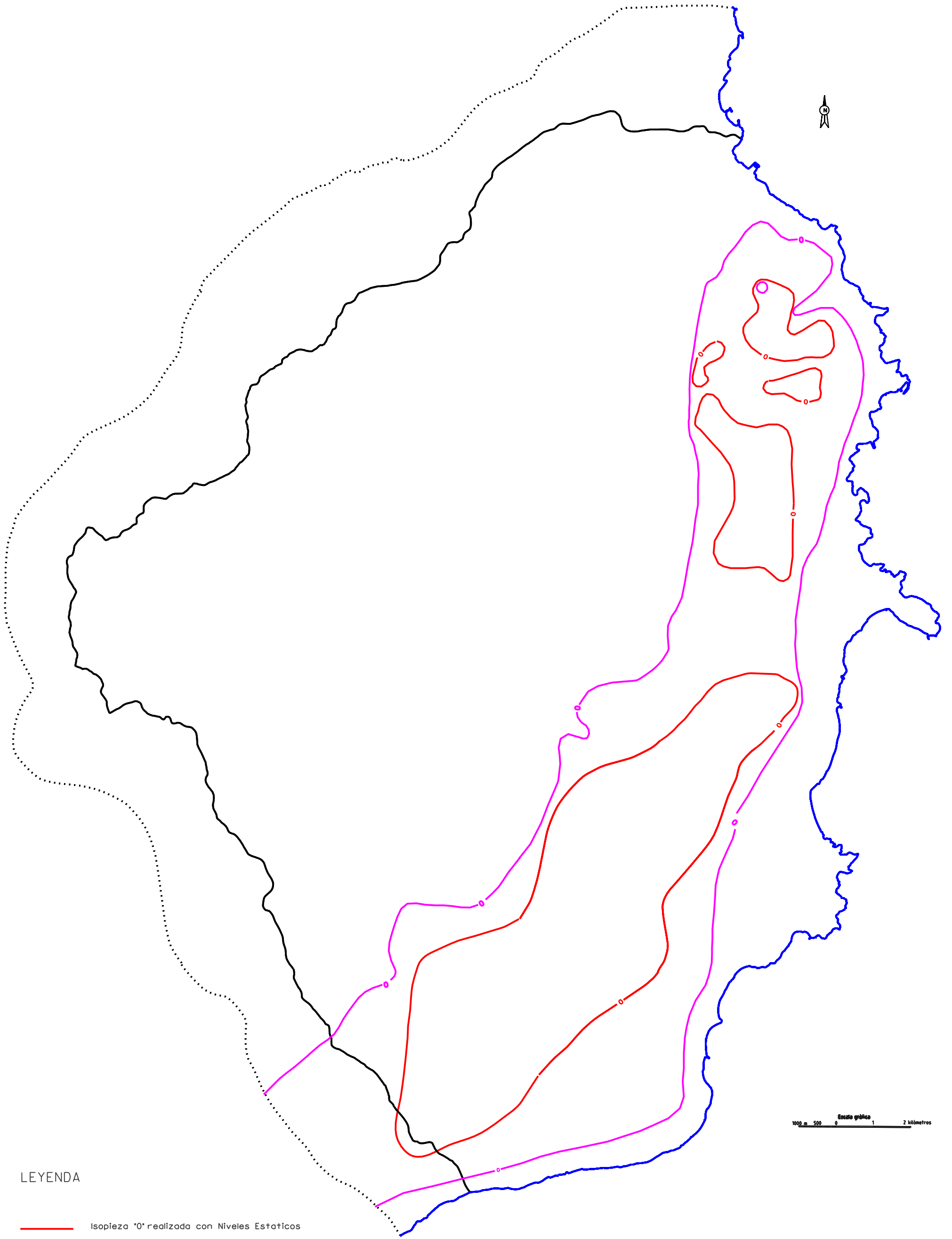
Los aforos se realizaron siguiendo la norma indicada en el Decreto 186/1990, publicado en el Boletín Oficial de Canarias (BOC nº 117, del 17 de septiembre de 1990).

Los datos que se facilitan no responden a determinar las características hidrogeológicas del acuífero sino al objetivo de determinar cual es el caudal a inscribir en cada captación, tal como figura en dicho decreto.

“Contar con instrumentos de medición de los parámetros cualitativos y cuantitativos de los aprovechamientos existentes, y de los que en el futuro se puedan conceder, no sólo se hace necesario desde una perspectiva de seguridad jurídica, por cuanto los derechos de las explotaciones habrán de venir referidos a un caudal aforado, sino igualmente desde la obligada ordenación y planificación de los recursos, operaciones que reclaman inmediatamente un conocimiento exacto de los volúmenes aprovechados en cada momento y de sus condiciones de calidad.” (BOC nº 117, del 17 de septiembre de 1990).

La metodología utilizada para la realización de los aforos es la que, a solicitud de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas, se indica a continuación.

“... DECRETO 186/1990, de 5 de septiembre, por el que se aprueban normas de aforos y controles técnicos de aprovechamientos hidráulicos. La Disposición Adicional Primera, apartado quinto, de la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas, contiene mandato dirigido al Gobierno para la aprobación de las normas de aforos y controles de calidad y demás condiciones técnicas de las aguas e instalaciones...”



Escala gráfica
100 m 500 0 1 2 kilómetros

LEYENDA

- Isopleza "0" realizada con Niveles Estáticos
- Isopleza "0" realizada con Niveles Dinámicos

Fig. VI.10 ZONIFICACIÓN DE LA ZONA SOBREEXPLOTADA

... ANEXO

1. En los aforos de caudal de los pozos se tendrá en cuenta el "efecto de almacenamiento" por lo que deberán iniciarse aquellos después de un periodo mínimo de bombeo de tres (3) días, que se acreditará fehacientemente. Mediando parada y arranque de la bomba se iniciará el bombeo con el caudal que se estime tiene la captación.

Se anotarán la hora y nivel de inicio de la prueba y los descensos de nivel (en centímetros) que se produzcan al transcurrir los siguientes tiempos: 0,5 minutos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 8 horas, 12 horas, 24 horas, 48 horas, 64 horas y 72 horas, hasta lograr que, con caudal constante, se estabilice el nivel del pozo.

De no lograrse la estabilización del nivel con el primer caudal, se disminuirá el de bombeo mediante llave compuerta de estrangulamiento o llave de retorno al pozo. En cualquier caso, se tendrá que conseguir mantener el bombeo en el pozo, con caudal y nivel estables, durante un tiempo mínimo de 24 horas, registrando y anotando las medidas de nivel cada 4 horas, una vez lograda la estabilización, y tomando en consideración los efectos de las mareas. El caudal resultante, expresado en litro/segundo, será el caudal de la captación, y el producto de éste por veinticuatro (24) el volumen máximo, en decímetros cúbicos al año, que podrá inscribirse en el Registro. Entendiéndose, en todo caso, que, durante cualquier día del año, no se podrá bombear un volumen superior, expresado en metros cúbicos, al resultado del caudal de la captación multiplicado por ochenta y cinco (85). Terminado el bombeo, se medirán los niveles de recuperación en la misma escala de tiempos señalada para aquél.

2. Junto con las medidas y resultados de cualquier aforo en pozos se acompañarán los resultados de los análisis completos de sendas muestras de agua tomadas al inicio, a la mitad y al término del bombeo. Si no se ha producido variación en la concentración de ion cloruro se podrá inscribir el caudal resultante del aforo según se indica en el epígrafe anterior. Si se observa variación en la concentración de aquel ion, la inscripción tendrá carácter provisional, con reserva cautelar, quedando obligado el peticionario a repetir el aforo, con caudales decrecientes, hasta conseguir estabilización de caudal, nivel y concentración en ion cloruro, lo que permitirá la inscripción definitiva del caudal así obtenido y en los mismos términos del epígrafe 1.

3. Los caudales del aforo se computarán como media de tres medidas consecutivas. En todo caso, se describirá y acompañará una fotografía del sistema de medición. Asimismo se aportará el consumo energético, la altura manométrica y las características del equipo de bombeo." (BOC nº 117, del 17 de septiembre de 1990).

5.2. Limitaciones.

Como se ha podido constatar en los aforos recopilados, muchos de ellos no se han ajustado a la normativa debido a limitaciones derivadas de las características propias de cada captación.

Las limitaciones prácticas más frecuentes son las siguientes:

-La instalación de bombeo está muy sobredimensionada con respecto al caudal que aporta el pozo, esto provoca una depresión rápida que imposibilita la estabilidad del nivel dinámico de las aguas.

-En los pozos que cuentan con la energía eléctrica de la red de Unelco, el nivel lo fijan las cotas a las que tienen colocadas las boyas que regulan la parada y marcha del equipo de bombeo.

Debido a las características del equipo de bombeo que tienen instalados los pozos, y a sus condiciones de trabajo, algunos aforos han consistido en la medición de una o varias fases de bombeo con sus recuperaciones correspondientes.

Las variaciones del nivel de agua, tanto en la fase de bombeo como en la recuperación, se han medido con una sonda eléctrica de 500 m y las características químicas mediante una medición de los valores de conductividad, pH y temperatura en las fases de bombeo.

El volumen de agua extraída se ha medido en el contador volumétrico colocado en la tubería de elevación, a partir del cual se ha calculado y comprobado el caudal de extracción durante la fase de bombeo.

5.3. Análisis de ensayos de bombeo

Para el análisis de los aforos se emplea el método de Theis, utilizado para situaciones de cautividad y régimen variable, y su aproximación logarítmica de Jacob. Para el análisis de las recuperaciones se utilizó el método de Jacob.

Mediante estos métodos se interpreta no sólo el descenso total sino la evolución temporal de los niveles durante la prueba.

En el Anejo VI.7 se adjuntan las fichas resumen, tablas de datos y gráficos correspondientes a los ensayos de bombeo correspondientes.

La gran mayoría de los pozos existentes son de gran diámetro con la posibilidad en muchos casos de existencia de obras secundarias. En este caso la interpretación de los resultados es más difícil y debe tomarse en consideración el almacenamiento en el pozo, cuyo efecto puede llegar a ser dominante durante una parte importante del ensayo de bombeo; en este caso son mejores los ensayos de recuperación.

Se ha tenido en cuenta la capacidad de almacenamiento en el pozo, para ello se han calculado los caudales correspondientes a dicho efecto. En las tablas correspondientes a cada punto figura con el nombre de "Caudal procedente de la capacidad del pozo l/s".

Se utilizó la fórmula
$$Q_p = \frac{S_p \cdot \pi \cdot r_p^2}{\Delta T}$$

Donde: Q_p : Caudal procedente de la capacidad del pozo para el intervalo considerado.
 S_p : Descenso producido en el pozo para el intervalo de tiempo.
 r_p^2 : Radio de la captación.
 ΔT : Intervalo de tiempo considerado

La interpretación de los ensayos de bombeo se ha realizado a partir de las recuperaciones correspondientes y de forma manual. Se analizan los ensayo en base a los datos registrados una vez que finaliza la extracción de agua en el sondeo y hasta recuperar de forma total o parcial el de partida.

Conceptualmente, el análisis de la recuperación en un pozo tras su parada después de un bombeo a caudal constante sería el equivalente a simular que el pozo no se para y que a partir de ese momento se le inyecta dicho caudal constante.

Se representa en un gráfico semilogarítmico los valores de descensos en ordenadas y los de $(t+t')/t'$ en abscisas en escala logarítmica.

Se ajusta una recta a los puntos representados, procurando que esta se adapte principalmente a la zona de la curva más próxima al origen de coordenadas, ya que la gráfica suele presentar anomalías en su parte inicial, que es la de valores de t' bajos y, por tanto, valores altos para $(t+t')/t'$.

Se utilizó la fórmula $T = 0.183 \frac{Q}{m}$

Donde: T : Transmisividad ($m^2/día$)
 Q : Caudal de bombeo ($m^3/día$)
 m : Descenso por ciclo logarítmico.

De forma automática se han interpretado los ensayos de bombeo mediante el programa EPHEBO (Estimación de Parámetros Hidráulicos en Ensayos de Bombeo), desarrollado en el Departament d'Enginyeria del Terreny – UPC por J. Carbonell, A. Pérez-Paricio y J. Carrera.

EPHEBO 1.1 es una interface gráfica para facilitar el uso del programa MariaJ que funciona mediante línea de comandos. El programa permite la interpretación por métodos gráficos (Diagnostic Plot, Superposición Theis, Superposición Hantush, Cooper-Jacob, Neuman) y otras funcionalidades como: generación de gráficas y documentación de los resultados obtenidos.

CUADRO VI.4.

RESUMEN ESTADÍSTICO DE T(m²/DÍA) POR FORMACIONES

	PRN	R. NUBLO	F.D.P.	F. SÁLICA	F. TRAQ-RIOLÍT	F. FONOL	BASAL ANTIG
Tamaño de muestra (n)	15	37	8	12	3	19	13
Media	32.9	58.1	32.1	12.6	63.7	29.7	30.6
Error típico	10.2	23.0	8.8	3.0	28.8	8.3	4.7
Mediana	20.0	17.0	24.5	8.0	91.0	13.0	31.0
Desviación estándar	39.5	139.7	24.8	10.3	50.0	36.3	17.0
Varianza de la muestra	1561.7	19517.3	616.0	106.8	2496.3	1317.8	288.4
Curtosis	6.2	22.6	5.5	0.8		1.7	-0.6
Coefficiente de asimetría	2.3	4.6	2.2	1.2	-1.7	1.6	0.3
Rango	151.0	789.0	79.0	33.0	88.0	124.0	53.0
Mínimo	3.0	1.0	11.0	3.0	6.0	2.0	5.0
Máximo	154.0	790.0	90.0	36.0	94.0	126.0	58.0
Suma	493.0	2149.3	256.5	151.0	191.0	564.0	398.0
Nivel de confianza(95.0%)	21.9	46.6	20.8	6.6	124.1	17.5	10.3

5.4. Correlación entre caudal específico (q) y formaciones

Se plantea en este apartado el conocimiento del caudal específico en relación con la formación productiva.

Sirva el concepto de caudal específico “q” de un pozo al cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso del nivel producido. (Custodio y Llamas, 1983). Este parámetro es función de las características del acuífero (principalmente de la transmisividad, el coeficiente de almacenamiento, coeficiente de goteo, etc) y también de las características del pozo (principalmente de su penetración y de su radio). Normalmente la penetración suele influir notablemente en “q”, mientras que el radio del pozo influye de forma menos importante, salvo el caso de que se trate de grandes variaciones del mismo, de la presencia de drenes o galerías o de la intersección de grandes grietas o cavidades como responde a la realidad de los pozos tradicionales canarios.

Debido a la sencillez y disponibilidad de los datos para su cálculo, puede ser muy interesante su conocimiento ya que permite establecer, por un lado, la correlación entre dicho parámetro y su formación productiva; así como caracterizar espacialmente una amplia zona debido a la posibilidad de manejar información referente a un gran número de pozos. El análisis mediante métodos estadísticos, de los datos anteriores, contribuirá al conocimiento del acuífero.

Los datos de partida para el cálculo de “q” corresponden, fundamentalmente, a los existentes en los informes realizados para la inscripción en el Registro de Aguas del CIAGC. Se incluye también otros aforos que figuran en informes realizados por el IGME así como en la Tesis Doctoral de C. Cabrera. Asimismo se consideran también la información correspondiente a los niveles históricos del agua que figuran en el APAC-BAC (Archivo de puntos de Aguas de Canarias-Base de Agua de Canarias).

La información referente a la formación geológica productiva, considerada para cada captación, procede de las columnas geológicas reinterpretadas existentes en el APAC-BAC y que se recogen en el anexo Anejo VI. 2. Columnas Hidrogeológicas.

Metodología para la determinación de los caudales específicos

El cálculo es sencillo e inmediato, de no se por la dificultad que plantea muchas veces el conocimiento preciso de los términos de la relación (NE correspondiente al nivel inicial de bombeo y el caudal aportado por la captación). Así pues, en muchos de los ciclos de bombeo correspondientes a los aforos de las inscripciones los niveles de partida representan niveles dinámicos al estar la captación automatizada mediante un sistema de boyas. Existen otros aforos de inscripción, menos frecuentes, en los que los niveles iniciales de bombeo corresponden al NE.

Para la **estimación del valor correspondiente al NE** se considera la siguiente información:

- Niveles indicados al inicio de bombeo. Normalmente se desconoce si son NE o ND.
- NE virtual para el periodo 1990-97, realizado mediante procedimientos informáticos en base a la piezometría zonal.

Para la determinación del NE virtual se recurre mediante procesos informáticos a la realización de un "Modelo Digital del Terreno (MDT)", de forma más precisa lo denominaremos Modelo Digital de la Superficie Piezométrica.

El programa utilizado en este caso es el denominado Terrasolid Terramodeler, utilizado bajo el motor gráfico de MicroStation.

En esencia, un MDT es una base de datos, que basándose en la información suministrada, efectuará el proceso necesario para poder utilizarlo posteriormente en la realización de todo tipo de cálculos y representaciones gráficas.

La información piezométrica suministrada al "programa" es la correspondiente a los años 1990-97, por corresponder a la fecha de realización de los aforos. Una vez introducidos los datos, suele pasarse a la fase de triangulación donde el programa hace una serie de cálculos y define una malla de triángulos cuyos vértices son los puntos que se han suministrado. En ese momento ya se dispone del MDT, pues en esa malla se tienen información de cualquiera de los puntos interiores. Tan solo con posicionarse en un determinado punto se obtendrá el valor correspondiente al NE virtual. Ese valor será el correspondiente al nivel superior considerado para determinar los descensos en los ensayos donde no se tengan datos que gocen de mayor fiabilidad.

- Datos resultantes de la consulta a la BAC para el periodo 1970-99. Aparecen los niveles piezométricos históricos más elevados así como la estimación del tipo de nivel (estático o dinámico).

Se prioriza la información anterior considerando como más óptima, para los fines perseguidos, la obtenida al inicio del bombeo siempre que corresponda a un NE; de no ser así, se considera el dato estimado mediante métodos informáticos (NE virtual). En los casos que no fue posible calcular dicho nivel se admite el nivel obtenido tras la consulta a la BAC, aun cuando ese valor corresponda a un intervalo temporal mucho más amplio que los anteriores.

El **cálculo del caudal de bombeo correspondiente a cada captación**, necesario para la determinación de “q”, requiere la siguientes consideraciones.

El caudal que figura en el informe, para la inscripción en el Registro de Aguas, se determina mediante distintos tipos de aforos según la casuística de cada pozo o sondeo.

Los aforos donde se alcanza la estabilización del nivel dinámico son poco numerosos. Los más abundantes corresponden a bombeos y paradas sucesivas, donde cada bombeo con su recuperación constituye un ciclo. Esta metodología es debida, en principio, a que las bombas instaladas están sobredimensionadas con respecto al caudal de bombeo.

En estos aforos el proceder ha sido el siguiente:

Se comienza realizando un bombeo y posteriormente se controla su recuperación. Se conoce la duración del ciclo del bombeo y de la recuperación así como el volumen de agua extraída en la fase de bombeo. El caudal de inscripción resultante corresponde al cociente entre el volumen total extraído en todos los ciclos y la duración de todos ellos.

A partir del cálculo realizado, correspondiente a los bombeos cíclicos, se asume como caudal característico de la toda la captación el determinado tan sólo por la depresión parcial realizada en la vertical del pozo y donde pueden existir obras secundarias. Asimismo, se pretende caracterizar a la formación productiva con el valor anteriormente calculado aun cuando las depresiones parciales correspondientes a los bombeos no correspondan a la totalidad de la formación productiva, junto al hecho de que las captaciones sean normalmente parcialmente penetrantes.

A continuación se muestran los cuadros resumen por formaciones y los campos considerados para el cálculo de “q”.

Equivalencias entre los encabezados de las columnas y su significado.

ENCABEZADO	SIGNIFICADO
REGISNAC	Nº del Registro Nacional según IGME
P (m)	Profundidad de la captación (m)
Z	Cota de la captación. Cartografía del ejercito.
ZMDT	Cota de la captación. Modelo Digital del Terreno. IGN.
PM NA	Profundidad mínima del nivel de agua de los registros (1990-97)

ENCABEZADO	SIGNIFICADO
Fecha	Fecha del dato del PM NA
ETN	Estimación del nivel del agua. E: Nivel Estático. D: Nivel Dinámico
P NE	Profundidad del NE estimado mediante TERRAMODELER
P IB	Profundidad del agua al inicio del bombeo
P FB	Profundidad del agua al final del bombeo
DESC	Descenso (m). (P IB - P FB ó P NE - P FB ó PM NA- P FB)
QA (l/s)	Caudal autorizado por el CIAGC
q (l/s/n)	Caudal específico resultante

CUADRO VI.5.

RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m) CORRESPONDIENTE AL CICLO P.R.N

Ciclo Post Roque Nublo (P.R.N.)

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P IB	P FB	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424230031	200	212	31,0	23,9	01/01/97	E	24,0	26,0	30,0	6,0	0,9	0,149
424270039	503	501	218,2	200,0	19/04/89	----	----	204,9	216,3	11,3	6,3	0,553
424270047	810	857	376,0	274,0	24/05/84	----	306,0	370,0	372,0	66,0	6,8	0,103
424270062	905	915	105,0	88,0	01/01/97	E	88,0	100,9	101,6	13,6	2,3	0,168
424270082	245	246	124,7	105,0	20/06/93	----	----	118,5	124,3	19,0	1,6	0,088
muestra n= 5												
Media	532	546	170,9	138,2			139,3	164,1	168,8	23,2	3,6	0,212
Valor min.	200	212	31,0	23,9			24,0	26,0	30,0	6,0	0,9	0,088
Valor máx.	905	915	376,0	274,0			306,0	370,0	372,0	66,0	6,8	0,553

Datos medios correspondientes al Ciclo P.R.N.

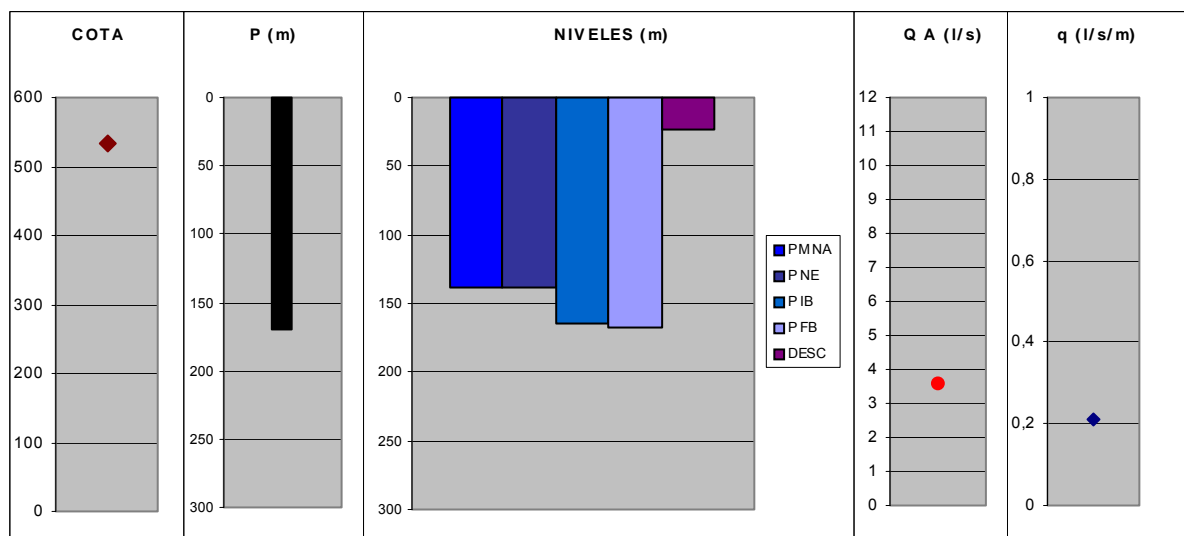


Figura VI.11 Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondiente al Ciclo P.R.N.

CUADRO VI.6.

RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m) CORRESPONDIENTE A LA FORMACIÓN DETRÍTICA DE LAS PALMAS (F.D.L.P.)

Formación Detrítica de Las Palmas (F.D.L.P)

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P I B	P F B	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424230080	132	126	169,0	79,0	26/01/81	----	52,0	158,6	165,4	113,4	7,1	0,063
424240016	60	60	93,0	57,8	01/01/81	E	69,0	76,5	91,6	22,6	30,1	1,333
424280020	112	113	119,0	95,2	30/12/80	----	115,0	115,0	117,4	2,4	2,3	0,959
424280045	75	79	93,0	76,3	11/01/99	E	76,0	85,5	89,8	14,0	4,2	0,304
muestra n= 4												
Media	94,7	94,5	118,5	77,1			78,0	108,9	116,1	38,1	10,9	0,664
Valor min.	60	60	93,0	57,8			52,0	76,5	89,8	2,4	2,3	0,063
Valor máx.	132	126	169,0	95,2			115,0	158,6	165,4	113,4	30,1	1,333

Datos medios correspondientes a la F.D.L.P.

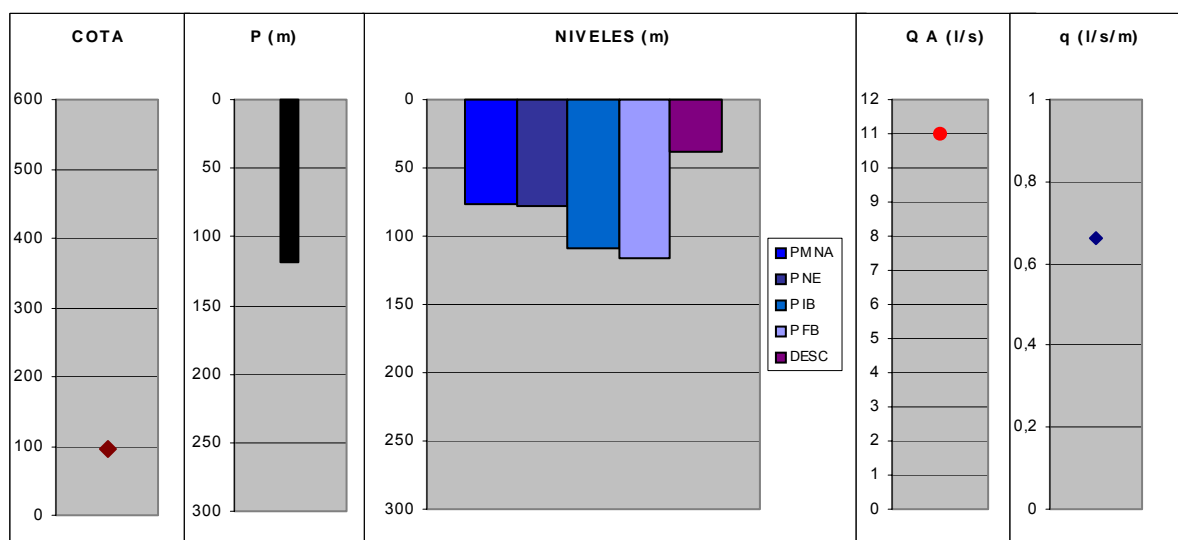


Figura VI.12 Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondiente a la Formación Detrítica de las Palmas (F.D.L.P.).

CUADRO VI.7.

RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m) CORRESPONDIENTE AL CICLO ROQUE NUBLO.

Ciclo Roque Nublo (R.N.)

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P I B	P F B	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424220095	757	756	201,8	174,5	28/11/80	E	----	193,1	200,4	7,3	3,3	0,452
424220096	795	767	211,0	188,6	01/01/97	E	190,0	191,9	210,1	20,1	2,8	0,138
424220106	710	704	185,0	148,3	01/01/97	E	149,0	174,2	181,9	32,9	2,2	0,068
424230016	297	304	147,8	110,3	01/01/97	E	110,0	141,4	146,1	36,1	3,1	0,087
424230019	483	483	152,0	130,2	21/01/81	D	----	139,0	149,0	9,8	4,3	0,438
424230022	177	185	158,0	152,2	15/09/97	D	----	152,1	156,0	3,8	1,2	0,322
424230035	363	368	118,6	106,0	01/01/97	E	106,0	110,6	115,6	9,6	1,7	0,176
424230039	345	355	159,0	131,4	15/01/81	D	145,0	152,3	157,1	12,1	1,5	0,124
424230043	118	115	48,0	43,0	14/02/93	----	34,0	46,0	47,2	13,2	2,5	0,189
424230049	320	320	56,5	41,3	15/09/97	D	----	53,0	54,1	12,8	0,8	0,062
424260003	1677	1683	456,0	401,0	14/01/81	----	----	439,4	452,0	51,0	10,2	0,200
424260012	982	988	315,0	143,1	01/01/97	E	144,0	145,6	153,9	9,9	1,1	0,113
424260016	795	794	121,3	109,9	01/01/97	E	110,0	116,0	117,3	7,3	1,1	0,156
424260017	1492	1490	238,1	146,7	05/03/71	D	----	223,8	236,1	89,3	10,5	0,117
424260033	850	847	150,5	141,7	01/01/97	E	143,0	148,6	149,4	6,4	3,1	0,482
424260040	992	992	117,2	94,8	28/05/71	D	110,0	114,6	116,1	6,1	1,4	0,244
424270008	262	262	204,0	186,0	01/01/71	E	----	197,3	203,7	17,7	0,9	0,051
424270057	625	620	317,0	194,0	14/05/71	----	----	315,5	316,3	122,3	5,2	0,042
424270058	310	305	225,0	75,0	13/11/72	----	123,0	210,0	223,1	100,1	13,0	0,129
424270060	282	281	77,3	50,4	08/03/71	D	52,0	64,8	76,5	24,5	2,7	0,110
424270061	214	210	191,2	131,3	25/08/97	E	131,0	187,8	190,6	59,6	0,2	0,004
424270071	203	209	127,5	24,7	01/01/97	E	26,0	119,8	126,1	100,1	6,2	0,062
424270075	1040	1038	381,5	366,5	18/07/97	D	190,0	378,6	380,3	190,3	5,8	0,030
424270078	448	451	313,3	310,5	29/05/92	----	211,0	310,5	312,6	101,6	5,0	0,050
Muestra n= 24												
Media	594	594	195,1	146,5			123,4	175,5	181,3	43,5	3,7	0,160
Valor min.	118	115	48,0	24,7			26,0	46,0	47,2	3,8	0,2	0,004
Valor máx.	1677	1683	456,0	401,0			211,0	439,4	452,1	190,3	13,0	0,482

Datos medios correspondientes al Ciclo R.N.

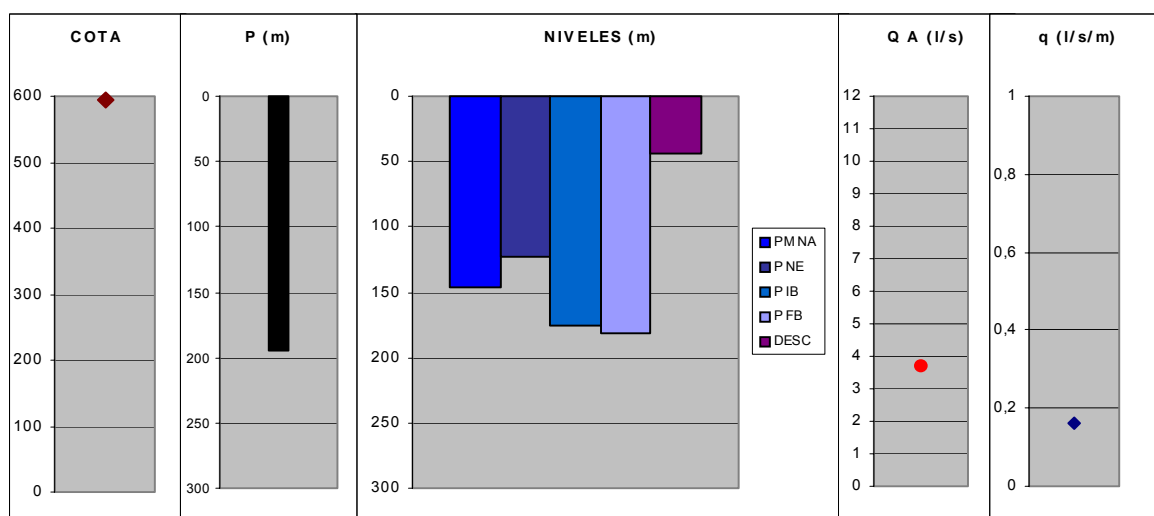


Figura VI.13 Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondiente al Ciclo Roque Nublo.

CUADRO VI.8.

RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m) CORRESPONDIENTE A LA FORMACIÓN FONOLÍTICA.

Formación Fonolítica (F.F)

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P I B	P F B	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424230007	352	357	192,0	80,0	17/01/81	D	146,0	177,0	190,2	44,2	15,6	0,352
424230013	280	285	81,8	71,5	23/07/90	D	----	79,2	80,8	9,3	4,0	0,430
424230017	133	135	126,3	122,9	01/01/97	E	123,0	123,0	125,3	2,3	2,0	0,904
424230018	151	153	112,5	100,5	01/01/97	E	101,0	106,1	110,7	9,7	2,1	0,223
424230021	273	273	74,0	59,7	17/12/71	D	83	71,2	73,6	9,4	3,6	0,382
424230028	447	444	170,7	116,2	01/01/97	E	117,0	163,8	168,1	51,1	2,3	0,045
424230034	470	470	98,3	90,3	18/12/80	----	41,0	93,3	95,4	54,4	3,1	0,056
424230036	455	459	108,0	100,8	25/08/91	----	----	100,8	106,5	5,6	2,9	0,516
424230038	400	404	190,0	50,4	19/06/91	----	----	50,4	63,7	13,2	4,0	0,302
424230041	620	610	195,7	150,0	16/07/70	----	153,0	176,0	184,4	31,4	1,8	0,058
424230048	270	276	70,0	50,9	01/01/97	E	52,0	57,2	67,2	15,2	2,8	0,183
424240027	115	110	150,0	72,3	15/11/72	D	136,0	136,2	145,0	9,0	1,9	0,221
424260001	1470	1463	179,5	115,2	01/01/97	E	116,0	176,0	178,3	62,3	8,6	0,139
424260013	923	923	188,3	104,3	01/01/97	E	105,0	181,9	183,2	78,2	5,8	0,074
424260108	1010	1013	180,0	139,8	15/12/95	----	128,0	139,8	141,9	13,9	1,3	0,095
424270040	500	501	291,4	190,0	14/04/89	----	246,0	276,9	289,3	43,3	8,5	0,198
424270042	537	536	361,8	120,5	23/07/80	D	327,0	354,6	359,3	32,3	5,3	0,165
424270051	425	427	201,0	123,3	28/01/81	----	132,0	195,4	198,6	66,6	13,0	0,195
424270053	612	610	234,6	180,0	17/12/71	D	184,0	192,3	193,5	9,5	7,6	0,800
424270059	313	311	328,8	227,3	15/01/81	D	214,0	228,8	235,6	21,6	0,6	0,031
424280057	102	100	268,4	89,0	01/01/81	E	89,0	135,3	137,4	48,4	3,1	0,064
424320004	240	241	370,0	247,4	22/07/87	----	152,0	258,0	264,0	112,0	2,2	0,019
424320056	850	856	244,0	145,0	17/12/93	----	----	214,5	232,0	87,0	1,9	0,021
muestra												
n= 23												
Media	480	476	192,1	119,4			139,0	160,3	166,3	36,07	4,5	0,238
Valor min.	102	100	70,0	50,4			41,0	50,4	63,7	2,3	0,6	0,019
Valor máx.	1470	1463	370,0	247,4			327,0	354,6	359,3	112,0	15,6	0,904

Datos medios correspondientes a la F.F.

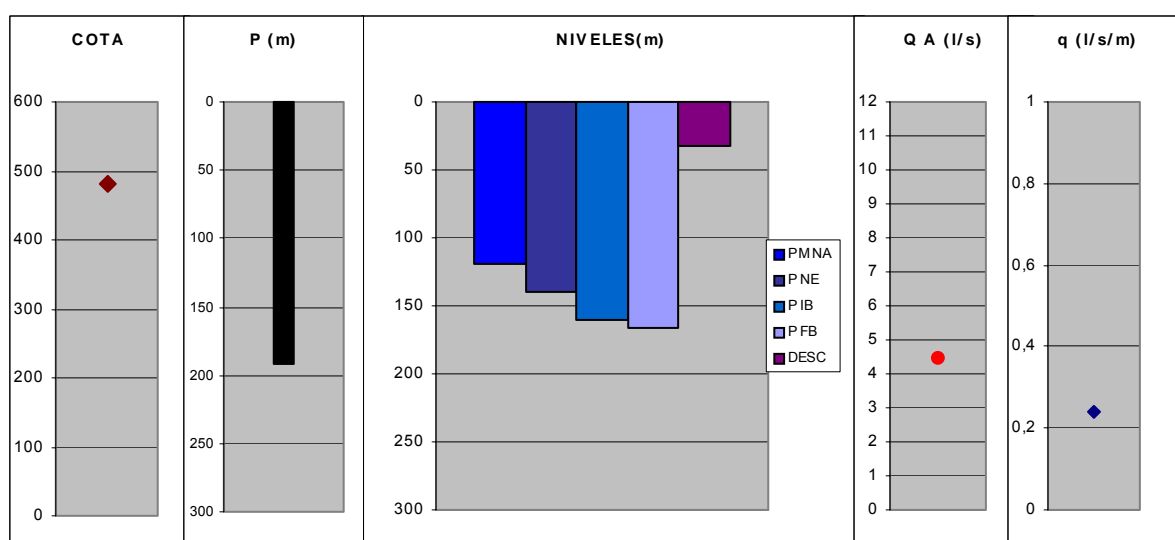


Figura VI.14. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a la Formación Fonolítica.

CUADRO VI.9.

RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m) CORRESPONDIENTE A LA SERIE SÁLICA.

Serie Sálica (S.S.)

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P I B	P F B	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424220038	607	608	286,0	147,6	09/06/71	D	220,0	263,5	284,6	64,6	3,5	0,054
424220040	685	696	140,0	91,6	11/08/97	E	92,0	133,6	138,7	46,7	1,2	0,025
424230037	538	538	144,0	123,2	02/11/91	----	----	123,2	140,0	16,8	3,0	0,183
424230040	687	678	295,0	278,9	07/10/92	----	243,0	278,9	285,7	42,7	4,4	0,104
424230042	392	405	121,0	----	----	----	116,0	117,1	119,9	3,9	5,0	1,291
424230044	123	124	273,0	106,9	03/02/81	D	98,0	155,7	165,0	67,0	4,2	0,062
424270043	567	566	326,0	205,0	01/01/97	E	206,0	321,9	324,1	118,1	4,2	0,035
424270083	155	152	176,1	155,6	01/01/97	E	156,0	170,2	173,0	17,0	6,2	0,367
424330154	680	684	284,2	222,1	08/08/80	----	175,0	279,8	283,1	108,1	2,7	0,025
muestra n= 9												
Media	492	494	227,2	166,36			163,2	204,9	212,7	53,8	3,8	0,217
Valor min.	123	124	121,0	91,6			92,0	117,1	119,9	3,9	1,2	0,025
Valor máx.	687	696	326,0	278,9			243,0	321,9	324,1	118,1	6,2	1,291

Datos medios correspondientes a la S.S.

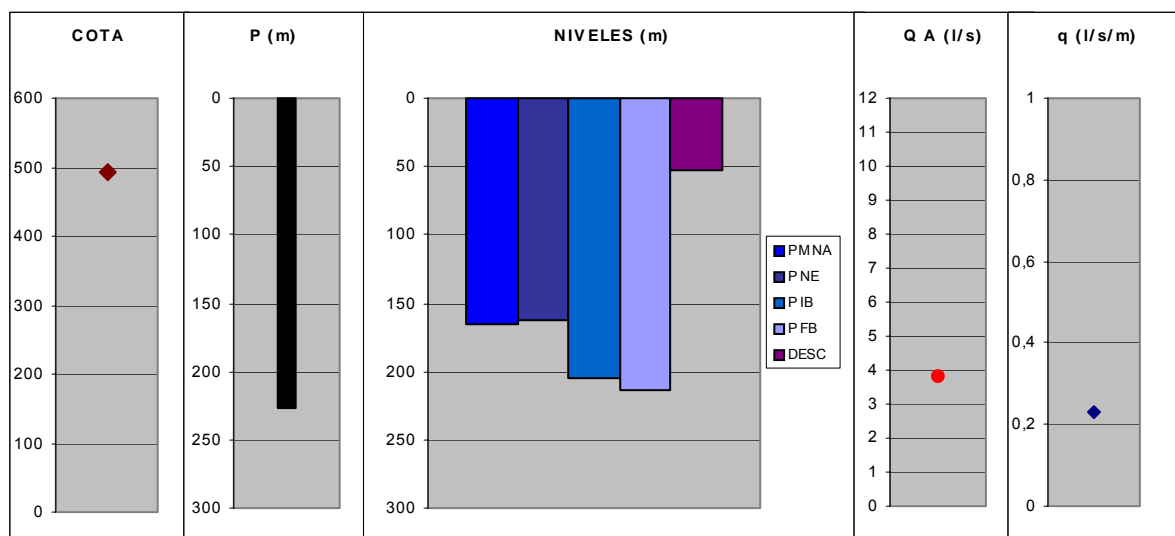


Figura VI.15. Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a la Serie Sálica.

CUADRO VI.10.

**RESUMEN DE PUNTOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE q (l/s/m)
CORRESPONDIENTE A LOS BASALTOS ANTIGUOS.**

Basaltos Antiguos

REGISNAC	Z	ZMDT	P (m)	PM NA	FECHA	ETN	P NE	P I B	P F B	DES	QA (L/S)	q (l/s/m)
424220013	630	637	333,7	263,7	01/01/97	E	264,0	321,7	327,8	63,8	2,8	0,044
424320008	733	732	357,3	221,2	10/04/72		117,0	351,6	356,3	239,0	9,5	0,039
424320018	345	351	199,0	89,1	22/11/71	D	99,0	193,1	197,9	98,0	9,0	0,091
424330016	117	106	193,3	147,1	11/08/80		136,0	183,1	185,3	49,0	17,0	0,346
424330033	165	170	228,0	144,2	01/08/72		151,0	217,2	222,9	71,9	11,5	0,159
424330052	128	128	203,1	135,1	05/03/92		----	135,1	147,2	12,1	24,0	1,983
424330055	168	176	209,0	162,6	07/10/80	D	178,0	196,4	197,6	19,6	26,0	1,325
424330105	310	310	321,8	253,4	22/07/80	D	238,0	316,5	321,1	83,1	2,2	0,026
424330009	133	144	232,0	192,1	20/05/81	E	198,0	219,5	220,9	23,0	1,9	0,084
424330010	145	152	314,0	199,9	14/08/80		180,0	247,4	249,9	69,9	13,1	0,188
424330032	180	186	178,0	141,0	17/10/86		101,0	175,3	176,8	75,8	5,0	0,065
424330157	223	224	240,0	193,0	15/08/80		----	238,4	239,3	46,3	1,9	0,041
muestra n= 12												
Media	273	276	250,7	178,53			166,2	232,9	236,9	70,95	10,32	0,366
Valor min.	117	106	178,0	89,1			99,0	135,1	147,2	12,1	1,9	0,026
Valor máx.	733	732	357,3	263,7			264,0	351,6	356,4	239,0	26,0	1,983

Datos medios correspondientes a los B.A.

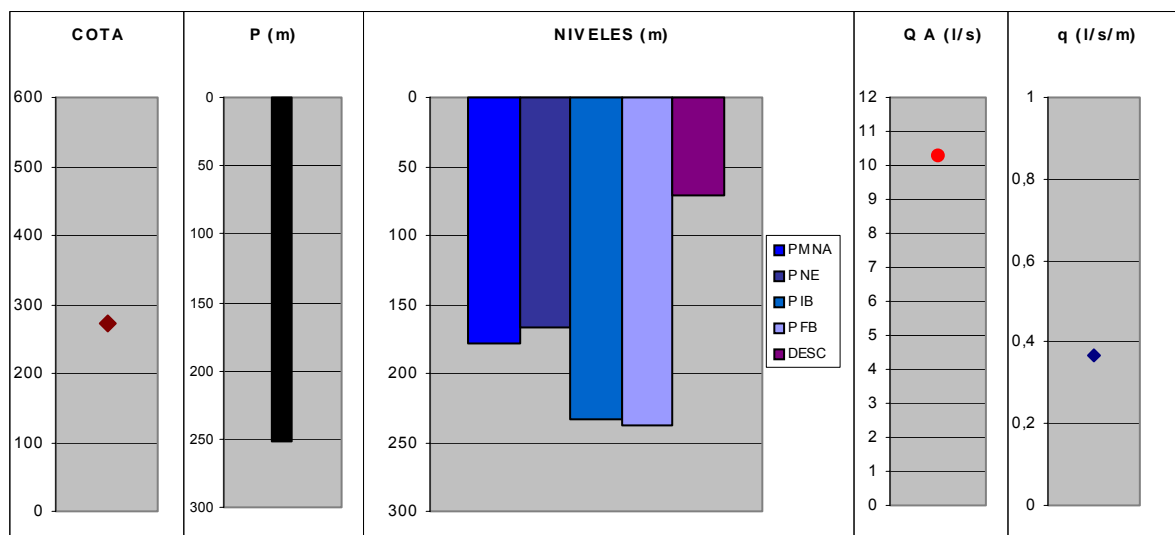


Figura VI.16 Datos medios (cota, profundidad, niveles, caudal y caudal específico) correspondientes a los Basaltos Antiguos.

Conclusiones

A continuación se muestra el cuadro resumen de los estadísticos resultantes tras considerar como valores observados los correspondientes al caudal específico según las formaciones productivas.

CUADRO VI. 11.

RESUMEN ESTADÍSTICO DE q (l/s/m) POR FORMACIONES

	PRN	FDLP	RN	FF	FSAL	BA
Muestra (n)	5	4	24	23	9	12
Media	0,212	0,665	0,160	0,238	0,217	0,366
Error típico	0,086	0,292	0,028	0,050	0,124	0,180
Mediana	0,149	0,632	0,121	0,183	0,058	0,088
Desviación estándar	0,193	0,585	0,136	0,239	0,392	0,624
Varianza de la muestra	0,037	0,342	0,018	0,057	0,154	0,390
Curiosis	4,438	-3,372	0,945	2,385	7,998	4,011
Coefficiente de asimetría	2,079	0,197	1,341	1,627	2,775	2,190
Rango	0,465	1,270	0,478	0,885	1,266	1,957
Mínimo	0,088	0,063	0,004	0,019	0,025	0,026
Máximo	0,553	1,333	0,482	0,904	1,291	1,983
Suma	1,061	2,659	3,846	5,473	2,171	4,391

Puede apreciarse como los valores más bajos de las medias corresponden a los materiales del RN y PRN (0,160 y 0,212 l/s/m respectivamente). El valor más alto corresponde a la FDLP con 0,665 l/s/m. Cabe indicar que los datos correspondientes al PRN y a la FDLP han sido calculado únicamente con una población de cinco y cuatro elementos respectivamente.

Es destacable las diferencias existentes entre los valores de la media y la mediana para la Formación Sálida, Basaltos Antiguos y materiales del Post Roque Nublo. Para estos casos, cuanto más se alejen sus representaciones de una distribución simétrica respecto al valor medio, continua y de forma acampanada, cabe la posibilidad que la medida de centralización que mejor represente a la población sea la mediana y no la media. Es de indicar como las Formaciones anteriormente citadas son las que presentan un mayor índice de asimetría.

A partir de los datos que figuran en el Cuadro VI.11, correspondiente a la media y la mediana del caudal específico, se establece el siguiente orden decreciente de las distintas formaciones productivas.

MEDIA	FDLP>BA>FF>FSAL>PRN>RN
-------	------------------------

MEDIANA	FDLP>FF>PRN>RN>BA>FSAL
---------	------------------------

En el proyecto SPA-15 se realizó un análisis estadístico comparando la productividad y las formaciones productivas para las captaciones de toda la isla. Entiéndase por *productividad* al cociente entre caudal y longitud activa o

espesor saturado en la captación (diferencia entre el NE y el final de la captación).

Aunque el término no es exactamente parecido con el de caudal específico podremos contrastarlo haciendo la consideración de que en muchos casos los bombeos se realizan hasta el final de la captación, con lo que existe un cierto parecido entre los términos y cabe la comparación.

CUADRO VI.12.

PRODUCTIVIDAD (l/s/m) SEGÚN FORMACIONES. (TOMADO DEL PROYECTO SPA-15, 1975)

ZONA	FORMACIÓN	Nº DE PUNTOS	PRODUCTIVIDAD l/s/m
1	RN	36	0,15
2	RN y RN/FONOLITAS	34	0,37
2	FONOL (mayormente con RN)	32	0,48
3+4	Basaltos antiguos	30	0,45
7+8	Basaltos antiguos	14	0,45

Tras la comparación de los valores correspondientes a las medias obtenidos por formaciones (Cuadro VI.11 y VI.12) cabe indicar la similitud entre los valores correspondiente al Roque Nublo y a los Basaltos Antiguos.

En el cuadro siguiente se muestran los valores de “q” calculados a partir de los valores medios correspondientes a la profundidad de la captación, profundidad del NE, descensos y caudal autorizado. Existe gran similitud entre los valores así obtenidos y los correspondientes a la mediana que figura en el Cuadro VI.11.

CUADRO VI.13.

PRODUCTIVIDAD (l/s/m) SEGÚN FORMACIONES

	PRN	FDLP	RN	FF	FSAL	BA
PROFUNDIDAD (m)	171	118	195	192	227	251
PROFUNDIDAD NIVEL ESTÁTICO (m)	139,3	78	123,4	139	163,2	166,2
DESCENSO (m)	23,2	38	43,5	36	53,8	70,95
CAUDAL AUTORIZADO (l/s)	3,6	11	3,7	4,5	3,8	10,3
ZONA SATURADA (m)	31,7	40	71,6	53	63,8	84,8
q (l/s/m)	0,155	0,289	0,085	0,125	0,071	0,145
Mediana (Cuadro VI. 11.)	0,149	0,632	0,121	0,183	0,058	0,088
PRODUCTIVIDAD DE LA ZONA SATURADA (l/s/m)	0,114	0,275	0,052	0,085	0,060	0,121
PRODUCTIVIDAD DE TODA LA CAPTACIÓN (l/s/m)	0,021	0,093	0,019	0,023	0,017	0,041

Se incluye en el cuadro los valores correspondientes a la productividad. Dicho parámetro se ha calculado con la profundidad estimada para la zona saturada y

para toda la captación. Considerando el valor de “q” así obtenido, se establece una gradación para las formaciones productivas que de mayor a menor sería:

$Q \text{ media} = P_{\text{med}}/Q_{\text{med}}$	FDLP>PRN>BA>FF>RN>FSAL
---	--

5.5. Rectas de regresión entre transmisividades-caudal específico según formaciones.

A partir de la aproximación logarítmica de Jacob correspondiente al descenso teórico en el pozo se comprueba como la transmisividad y el caudal específico son proporcionales con un **factor de proporcionalidad (Fp)**.

El objetivo perseguido consiste en establecer la interrelación entre ambas variables, con el propósito de poder inferir estadísticamente el valor de la variable problema para un posible completado de datos.

Para poder establecer la relación lineal que existe entre ambas variables se considera la regresión y la correlación.

Se han utilizado todos los puntos de los que se tenía constancia de los materiales geológicos productivos junto al hecho de haberles practicado un aforo y con posterioridad una interpretación de la Transmisividad y del caudal específico.

En total son 77 parejas de valores las que se han introducido para la representación gráfica. En un primer momento se realiza un gráfico donde se incluyen todas las parejas de valores, independientemente de los materiales considerados como productivos. Con posterioridad se segregará la información en función de las formaciones productivas y se procederá a su representación.

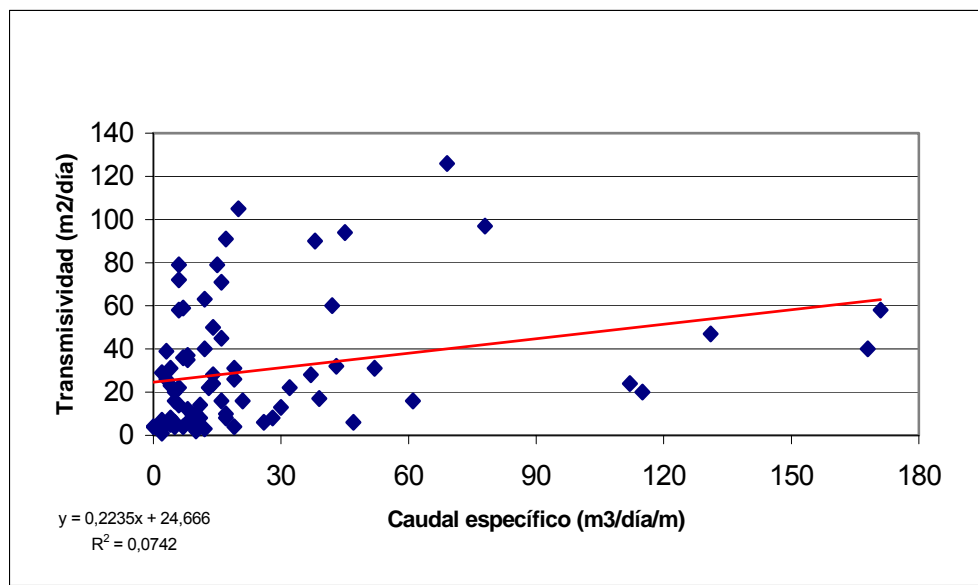


Figura VI.17 T (m²/día) y q (m³/día/m)

Tras la observación del gráfico resultante cabe indicar como la distribución de puntos es muy dispersa, esto en principio podría atribuirse a la heterogeneidad de los materiales productivos.

El valor medio correspondiente al F_p , calculado para todas las captaciones, es de 1,23. Dicho valor es similar al obtenido en la Tesis doctoral de M^a del Carmen Cabrera, donde obtiene un factor de proporcionalidad de 1,42, sin tener en cuenta las diferencias de radios de las captaciones.

Un calculo similar se muestra en el "informe parcial Amurga-1" (Custodio y Badiella, 1990), en donde analizando los datos pertenecientes a 22 sondeos situados en materiales fonolíticos establecen un factor de proporcionalidad de 0,77. Si se realizase para estos sondeos una homogenización simulando radios de 1,5 m, correspondiente a los típicos pozos canarios, se establecería un factor de proporcionalidad de 1,19.

A partir del conjunto de pares de valores, x (caudal específico) e y (Transmisividad) , se define como recta de regresión de y sobre x a una recta tal que la suma de los cuadrados de las desviaciones de cada punto, en dirección y , con respecto a la recta es mínima. La recta de regresión de x sobre y se define de la misma manera, aunque considerando las desviaciones de dirección x .

Regresión de y sobre x .

La ecuación de la recta que define dicha relación es: $y=a+bx$, siendo:

$$b = S_{xy} / S_x^2 = \text{covarianza de (x,y)} / \text{varianza de x}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

Se trata de un ajuste por mínimos cuadrados, ya que este método obtiene la curva tal que la suma de los cuadrados de la distancia de cada punto de la muestra a dicha curva sea mínima, curva que en la regresión lineal es una recta.

En el caso de la regresión de y sobre x se considera x como variable independiente, y por tanto la recta obtenida se puede emplear para completar series de valores de y a partir de series equivalentes completas de x . Lo contrario ocurre en la regresión de x sobre y .

En cada gráfico figura la ecuación de la recta junto con el valor del coeficiente de determinación R^2 . Dicho coeficiente es un indicador de lo bien que la ecuación resultante del análisis de regresión explica la relación entre las variables. Para su determinación, en los análisis de regresión, se calcula para cada punto, el cuadrado de la diferencia entre los valores y y estimados y los reales. La suma de estas diferencias cuadradas se conoce como la "suma residual de cuadrados". Con posterioridad se calcula la suma de las diferencias cuadradas entre los valores y y reales y la media de los valores y , lo que se conoce como la "suma total de cuadrados" (suma de regresión de cuadrados +

suma residual de cuadrados). Cuanto más pequeña sea la suma residual de cuadrados en comparación con la suma total de cuadrados, mayor será el valor del coeficiente de determinación R^2 .

En el Anejo VI.8. se muestran los gráficos de Transmisividades y caudal específico según las diferentes formaciones. Se incluye la ecuación correspondiente a la recta de regresión así como el valor de R^2 .

El hecho apreciable en todos los gráficos, es la escasa bondad correspondiente al ajuste en todas las rectas de regresión. El indicador R^2 presenta valores muy bajos, los cuales se sitúan en el intervalo de 0,0134 a 0,267. Esto indicaría que en la situación más favorable, correspondiente a los Basaltos antiguos, la recta de regresión establecida para los dos parámetros sería capaz de representar con éxito un 26 % de los casos.

En los gráficos es apreciable una gran dispersión en los datos, esto podría hacer dudar de la veracidad de alguno de ellos. Tras proceder a la revisión de los valores extremos y comprobar su autenticidad, se plantea la posibilidad de que quizás el tamaño de la muestra con la que se está operando sea pequeña y que si se consiguiese una muestra suficientemente grande se comprobaría como los valores se dispondrían ocupando posiciones intermedias y completando la serie.

A continuación se muestran el cuadro resumen del **factor de proporcionalidad (Fp)**, calculado mediante procedimientos numéricos, correspondiente a las diferentes formaciones productivas.

Formación Productiva	$Fp = T_{(m^2/día)} / q_{(m^3/día/m)}$
Post Roque Nublo	1,61
Roque Nublo	1,40
Formación Fonolítica	1,37
Formación Sálca	0,79
Basaltos Antiguos	0,75
Valor medio	1,23

Estos valores, aunque se encuentran en el rango entre 0,74 y 2,1 correspondiente para acuíferos libres en pozos perforados (Custodio y Llamas, 1983), deben considerarse como indicativos de las distintas formaciones pero no ser utilizados para el completado.

Resultados obtenidos

Tras la interpretación de los aforos, recopilado en el Anejo VI.7, se ha realizado una tabla resumen donde figuran los diferentes valores de transmisividades obtenidas. Estos valores han de tomarse como una primera aproximación ya que, como se ha mencionado, los fines para los cuales se realizaron eran diferentes a los actualmente pretendidos.

En la mayoría de las curvas representadas, correspondientes a las recuperaciones, se aprecia que no convergen en el origen de coordenadas sino que cortan al eje de abscisas. Esto indica que el pozo ha recuperado su nivel en un tiempo menor al teórico que le correspondería, pudiendo existir una recarga de agua exterior.

A partir de los resultados de transmisividad obtenidos y de la información existente de la formaciones productivas se han realizado las tablas que se muestran a continuación.

Estas tablas se han realizado con la información geológica que figura en los informes de inscripción en el Registro de Aguas, es posible que en algún caso no sean del todo precisas y se requiera una posterior reinterpretación.

5.6. Permeabilidad o conductividad hidráulica

El término alude a la facilidad con que un material deja pasar el agua a su través.

Este parámetro está condicionado fundamentalmente por el tamaño de los poros o intersticios existentes dentro de la estructura sólida de los materiales que constituyen el acuífero. Depende también de características propias del fluido como densidad y la viscosidad, ambas son función de la temperatura y de la presión.

En el apartado 6. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS MATERIALES del Capítulo III, se realiza una descripción de la permeabilidad correspondiente a los diferentes materiales en base a sus características petroquímicas y texturales.

Para una misma composición petroquímica, dicha variable, pueden variar cuatro órdenes de magnitud. Puede establecerse una disminución de la permeabilidad con la acidez de la roca (de los basaltos, más permeables, a las traquitas que pueden ser prácticamente impermeables).

No es fácil relacionar el valor de la conductividad hidráulica con las diferentes formaciones existentes. Un material con una porosidad determinada puede presentar valores que varíen desde muy permeables a muy poco permeables. Así, dicho material precisa que los poros sean grandes y bien comunicados para presentar altos valores de permeabilidad; la situación inversa consiste en que para el mismo porcentaje de porosidad estos sean muy pequeños lo que origina bajos valores de permeabilidad.

Como primera aproximación a este parámetro se puede considerar los resultados del cociente entre la transmisividad y el espesor del acuífero.

Los valores de transmisividad y permeabilidad elaborados únicamente mediante los datos obtenidos en el pozo y sin el apoyo de otros puntos de observación pueden ser muy inferiores a los realmente existentes, esto es consecuencia de que durante el bombeo en las proximidades de la captación

pueden generarse flujos turbulentos. Los resultados así obtenidos corresponden a medidas puntuales referidas a un medio heterogéneo del que quizás no sea representativo, esta situación puede minimizarse al considerar una población con gran cantidad de valores que representen las condiciones locales del medio.

Con la finalidad de obtener valores precisos correspondientes a los diferentes materiales existentes y caracterizar de esta forma el medio sería interesante la realización de una campaña planificada de ensayos de bombeo a caudal constante y donde conociendo los descensos se calculase la transmisividad y la permeabilidad. De forma adicional a dicha campaña se plantea la realización de ensayos de permeabilidad.

Se ha realizado una asignación cualitativa de permeabilidades correspondientes a los distintos materiales existentes en la zona de estudio. Se establecieron cuatro intervalos de permeabilidad: permeables, semipermeables, baja permeabilidad y muy baja permeabilidad.

El cuadro resumen correspondiente a las permeabilidades es el que se muestra a continuación:

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

CUADRO VI.14

EQUIVALENCIA ENTRE LITOLOGÍAS Y PERMEABILIDADES.

Litología	Permeabilidad
Suelos actuales	2
Depósitos de arenas	1
Depósitos sedimentarios aluviales	1
Arenas eólicas	1
Coluviones y derrubios de ladera	2
Miembro sup. De la F. Detrítica de las Palmas	2
Depósitos de deslizamientos gravitacionales	2
Miembro inf. y med. de la F. Detrítica Las palmas	2
Piroclastos de dispersión o lapillis	1
Lavas basaníticas	1
Conos de tefra (lapillis, escorias y bombas)	1
Lavas tefro-fonolíticas y fonolitas hauynicas	2
Pitones y cuerpos intrusivos de fonolitas hauynicas	3
Garbos	4
Alternancia de brecha volcánica y coladas	4
Lavas basaníticas y basálticas olivínico-piroxénicas	2
Conos de tefra y piroclastos	2
Pitones, domos e intrusiones fonolíticas	3
Brechas e ignimbritas no soldadas (“ash and pumice”)	4
Lavas basálticas (coladas)	3

Litología	Permeabilidad
Ignimbritas, fonolitas soldadas y coladas de lavas fonolíticas	4
Coladas de lava fonolítica	3
Lavas basálticas y traquibasálticas intercaladas	4
Ignimbritas riolíticas-traquíticas	4
Lavas riolítico-traquíticas	4
Cantos basálticos y sálicos	3
Toba vitrofídica riolítica (“composite flow”)	4
Lapillis de dispersión y conos piroclásticos	2
Coladas de basaltos	2

Sirva como orientación los datos finales obtenidos en el “Modelo matemático de simulación del flujo subterráneo en Gran Canaria” realizado por INTECSA (1981).

CUADRO VI.15

PERMEABILIDADES CORRESPONDIENTES AL MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO REALIZADO POR INTECSA

Geología	Permeabilidad (m/d)
Depósitos no consolidados	1,5-2
Basaltos modernos	1
Roque Nublo	0,15-0,45
Fonolitas	0,06-0,09
Traquisienitas	0,015-0,03
Basaltos antiguos	0,04-0,32

5.7. Anisotropía

La anisotropía es una propiedad habitual en aquellos ambientes donde en su génesis el factor predominante es la deposición de diferentes materiales condicionado por la fuerza de la gravedad. De esta manera, en el área de estudio pueden coexistir en una pequeña porción de terreno la superposición de coladas de lava y materiales de proyección aérea, ambos de extensión y potencia variables. En algunos casos es frecuente la presencia de materiales de baja permeabilidad como consecuencia del efecto de cocción que ejercen las coladas sobre los materiales preexistentes conocidos con el nombre de almogres.

Como resultado de lo anterior, es posible obtener una superposición de materiales de diferentes permeabilidades. Así la permeabilidad será un parámetro susceptible de variar en función de la dirección. Es posible establecer diferencias según se consideren la vertical u horizontal de la porción de terreno considerado, también es posible obtener diferencias entre los valores correspondientes a los parámetros considerados en función de las diferentes zonas que se elijan dentro de la totalidad del territorio.

De manera perpendicular a los materiales subhorizontales, anteriormente citados, pueden aparecer materiales intrusivos.

En el plano VI.11. Distribución espacial de Transmisividad ($m^2/día$) y caudal específico ($l/s/m$), se establecen distintas zonificaciones según el caudal específico. Se puede considerar la variabilidad correspondiente a la Transmisividad y caudal específico dentro del territorio como un indicador de la anisotropía del medio. Los valores mayores se localizan en una zona situada en el sur de la zona de estudio y los valores menores quedan delimitados según dos grandes zonas situadas en la mitad norte.

5.8. Coeficiente de almacenamiento

En acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad eficaz y su valor suele oscilar entre 0,01 y 0,4 siendo el intervalo más frecuente de 0,1 a 0,3. En situaciones de cautividad o semiconfinamiento el valor es varios órdenes de magnitud inferior al de la porosidad eficaz, en general entre 10^{-5} y 10^{-3} .

En el cálculo del coeficiente de almacenamiento se aprecia una limitación inherente a la realización de los aflores. Los datos de descensos que se han registrado en los diferentes aflores realizados han sido obtenidos en el mismo pozo de bombeo, no existiendo ninguna medida de descensos en ningún pozo auxiliar próximo. Como consecuencia de esta metodología en la realización de los aflores, junto a la existencia de numerosas obras secundarias en el interior del pozo no es posible determinar su cálculo con un mínimo de precisión.

Tras la reinterpretación de los aflores recopilados mediante el programa EPHEBO, se aprecia como los valores obtenidos eran más elevados de lo esperable.

A continuación se incluye los valores del coeficiente de almacenamiento asignados a las formaciones geológicas correspondiente al “Modelo matemático de simulación del flujo subterráneo en Gran Canaria” realizado por INTECSA (1981).

CUADRO VI.16

COEFICIENTES DE ALMACENAMIENTO CORRESPONDIENTES AL MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO REALIZADO POR INTECSA

Formaciones	Coeficiente almacenamiento
Roque Nublo	0,05-0,07
Fonolítas	0,03-0,05
Traquisienitas	0,02
Basaltos antiguos	0,02-0,05

6. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Su finalidad es establecer las líneas básicas correspondientes al funcionamiento y comportamiento general del acuífero con el propósito de contribuir a la comprensión del mismo.

Tal como se indicaba con anterioridad, la zona en estudio representa una fracción del acuífero multicapa, heterogéneo y anisótropo que constituye el acuífero insular.

A la vista de la disposición de las isopiezas para los diferentes periodos, el sistema tiene un flujo subterráneo definible como centrífugo y radial, cuyo sentido es de la zona de cumbres hacia la costa. Esta disposición es consecuencia de la localización en la zona central de la isla de las mayores precipitaciones como consecuencia de ser esta la zona de recarga.

Los límites hidráulicos existentes en la zona son:

- La línea de costa representa un borde de nivel constante y donde según el sentido correspondiente al gradiente piezométrico puede producirse entrada o salida del agua.
- Los límites situados al norte y sur del territorio quedan definidos por las divisorias de aguas entre barrancos, excepto un pequeño sector en el Norte y en el Sur, dichas líneas convergen en la zona de cumbres donde se alcanza la máxima altitud (1950 m s.n.m.).
- El límite inferior corresponde al sustrato impermeable o zócalo del acuífero. La definición de dicho límite constituye la mayor incertidumbre existente.

Fruto de la interrelación de todos los elementos existentes en el interior de la zona, y constituyentes del sistema, es la variación producida para la situación piezométrica correspondiente a cada momento y que representa el límite superior.

Las entradas al sistema corresponden fundamentalmente a la recarga consecuencia de la infiltración de la lluvia, tanto en su forma difusa como preferentemente a favor de los barrancos existentes. Otras entradas cuantificables son los retornos de riego y las pérdidas en las redes de abastecimiento, así como las entradas correspondientes al agua de mar en aquellas zonas donde como consecuencia de existir una situación piezométrica bajo el nivel del mar se ha generado una inversión del gradiente hidráulico.

Las salidas corresponden a las extracciones efectuadas para regadío, abastecimiento de población e industria fundamentalmente. Otra salida objeto de consideración será las correspondientes al mar.

Otra variable a considerar, tanto en las entradas como en las salidas, será la determinación de los posibles flujos laterales.

A partir de los datos obtenidos en los diferentes capítulos de este estudio, se puede sintetizar el balance hidráulico correspondiente al año 2002 del siguiente cuadro:

Recarga del acuífero	hm³
Recarga de lluvia	29,0
Retornos de riegos	3,2
Retornos campo de golf	0,1
Fugas en redes de abastecimiento y saneamiento	7,4
Total	39,7

Balance de recursos	hm³
Agua desalada	12,0
Reutilización	4,7
Bombeo pozos	32,1
Total	48,8

Balance de demandas	hm³
Riego	30,2
Urbana	15,0
Industrial	2,4
Golf	1,2
Total	48,8

Exceso de recargas sobre bombeos	39,7-32,1= 7,6 hm³
---	--------------------------------------

El balance es, aparentemente, excedentario pero no se han incluido aquí las descargas-entradas del acuífero al mar.

Como resultado del cómputo, de las entradas y salidas del sistema, se producirá una variación en el almacenamiento, el cual queda registrado en las variaciones producidas en los registros piezométricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabildo de Gran Canaria 1991. *Actualización del conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria*.
- Cabrera Santana, M.C. 1995. *Caracterización del Funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria)*. U. Salamanca, Depto. de Geología. Tesis doctoral. 2 tomos, 363 pp.
- CIAGC 1998 *Plan Hidrológico de Gran Canaria*. Boletín Oficial de Canarias
- Custodio, E 1979 Geohidrología de terrenos e islas volcánicas. Ed. CEDEX
- Custodio, E; Llamas, M.R. 1976 Hidrología subterránea. Ed Omega. 2 tomos.
- INTECSA 1981 *Modelo matemático de simulación del flujo subterráneo en Gran Canaria*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-83 (1.109-IV). Teror.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-83 (1.109-I). Santa Brigida.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-84 (1.109-III). San Bartolomé de Tirajana.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-84 (1.109-II). Telde.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-85 (1.114-IV). Santa Lucía.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-85 (1.114-I). Agüimes.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 83-85, 83-87 (1.114-III). Maspalomas.*
- ITGE 1990. *MAGNA a escala 1:25.000. Hoja 84-86 (1.114-II). Castillo del Romeral.*
- ITGE 1992. *MAGNA a escala 1:100.000. Hoja 21-21/21-22. Isla de Gran Canaria.*
- ITGE 1993. *Estudio hidrogeológico de la zona de Arinaga-Tirajana. Sistema 83. Subsistema S.1.B. Dos tomos. (Inédito)*
- ITGE 1995. *Estudio hidrogeológico de las zonas Sur 1 Alta y Sur 1 Media de Gran Canaria. Sistema 83. Subsistemas S.1.A. y S1.M. Tres tomos. (Inédito)*
- La Moneda, E 2002 *Estudio hidrogeológico del Barranco de Tirajana (Gran Canaria)*. ULPGC. Trabajo Tutelado. (Inédito).
- 1976 MAC-21 (1976).- *Proyecto de planificación de la explotación y uso racional de los recursos de agua en las islas Canarias.*
- S.G.O.P. 1985 *El agua en Canarias*". Boletín de informaciones y estudios nº 44.
- MOP-UNESCO. 1975. *Proyecto SPA/69/515. Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias*. 4 tomos.