

# RESÚMENES DE LAS CONFERENCIAS Y GUÍAS DE LAS EXCURSIONES



Noviembre 2006  
Las Palmas de Gran Canaria

Editado por:

J. Mangas Viñuela

A. Lomoschitz Mora-Figueroa

J Yepes Temiño



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



**BIBLIOTECA  
SIMON BENITEZ PADILLA**



14 al 18 de Noviembre 2006  
Las Palmas de Gran Canaria

#### **ORGANIZACIÓN Y EDICIÓN**

J. Mangas Viñuela, A. Lomoschitz Mora-Figueroa, J Yepes Temiño

#### **SECRETARÍA**

José Evora Molina, Juan Bruno Pérez Santana

#### **PATROCINA**

Área de Cultura del Cabildo de Gran Canaria

Consejo Insular de Aguas del Cabildo de Gran Canaria

#### **IMPRIME**

Servicio de Reprografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

© Del texto: los autores

**ISBN 84-7806-325-0**

**Depósito Legal GC 818-2006**

#### **FICHA BIBLIOGRÁFICA**

*III Jornadas Canarias de Geología. Resúmenes de las conferencias y guías de las excursiones* (Ed. J. Mangas Viñuela, A. Lomoschitz Mora-Figueroa, J Yepes Temiño. Servicio de Reprografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, 2006. ISBN: 84-7806-325-0. Depósito Legal: GC 818-2006. Materia: Geología, Ingeniería del Terreno. Formato: 296 x 210. Páginas: 223



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



**BIBLIOTECA  
SIMÓN BENÍTEZ PADILLA**

## CONDICIONANTES DE LA MODELACIÓN DEL FLUJO DEL ACUÍFERO DE LA ALDEA (GRAN CANARIA)

Tatiana Cruz\*, Maria del Carmen Cabrera\* y Javier Heredia\*\*

(\*) Dpto. de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: tcruz@becarios.ulpgc.es; mcabrera@dfis.ulpgc.es

(\*\*) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23, 28003. Madrid. E-mail: j.heredia@igme.es

### RESUMEN

El acuífero de La Aldea en la isla de Gran Canaria (España), constituye una de las fuentes principales de suministro de agua para la agricultura intensiva que se desarrolla en la zona. La existencia de numerosos datos hidrogeológicos procedentes de estudios previos (poner varias referencias) ha propiciado la elaboración de un modelo numérico de flujo que permitiera simular el funcionamiento hidrogeológico en la misma. El sistema acuífero consta de una unidad aluvial de 6 km<sup>2</sup> de superficie y una profundidad media de 20 m que se coloca sobre Basaltos Miocenos poco permeables, pertenecientes a la fase de crecimiento en escudo de la isla. Dentro de la hidrogeología insular, la zona constituye un área de descarga hacia el mar en la que la circulación del agua subterránea se produce de este a oeste.

La modelación se ha abordado mediante la utilización del código Modflow y ha permitido la simulación de una piezometría inicial real para el año 1992 y conocer con mejor precisión las características hidrogeológicas del acuífero.

*Palabras clave: Modelación numérica, modelo conceptual, balance hídrico, Gran Canaria, Acuífero de La Aldea.*

### INTRODUCCIÓN

La isla de Gran Canaria presenta una morfología cónica con orografía irregular formada por una serie de barrancos radiales que nacen en el centro

de la isla y desembocan en el mar. A escala global, se considera que funciona como un acuífero único (SPA-15, 1974; Custodio y Cabrera, 2002) en el que la recarga por infiltración de agua de lluvia tiene lugar en las cumbres y medianías de la isla, circulando preferentemente en sentido vertical hasta alcanzar una cierta profundidad en la que pasa a tener una tendencia horizontal. La descarga se produce en las zonas costeras, que es donde además, tiene lugar la mayor proporción de retornos de riego.

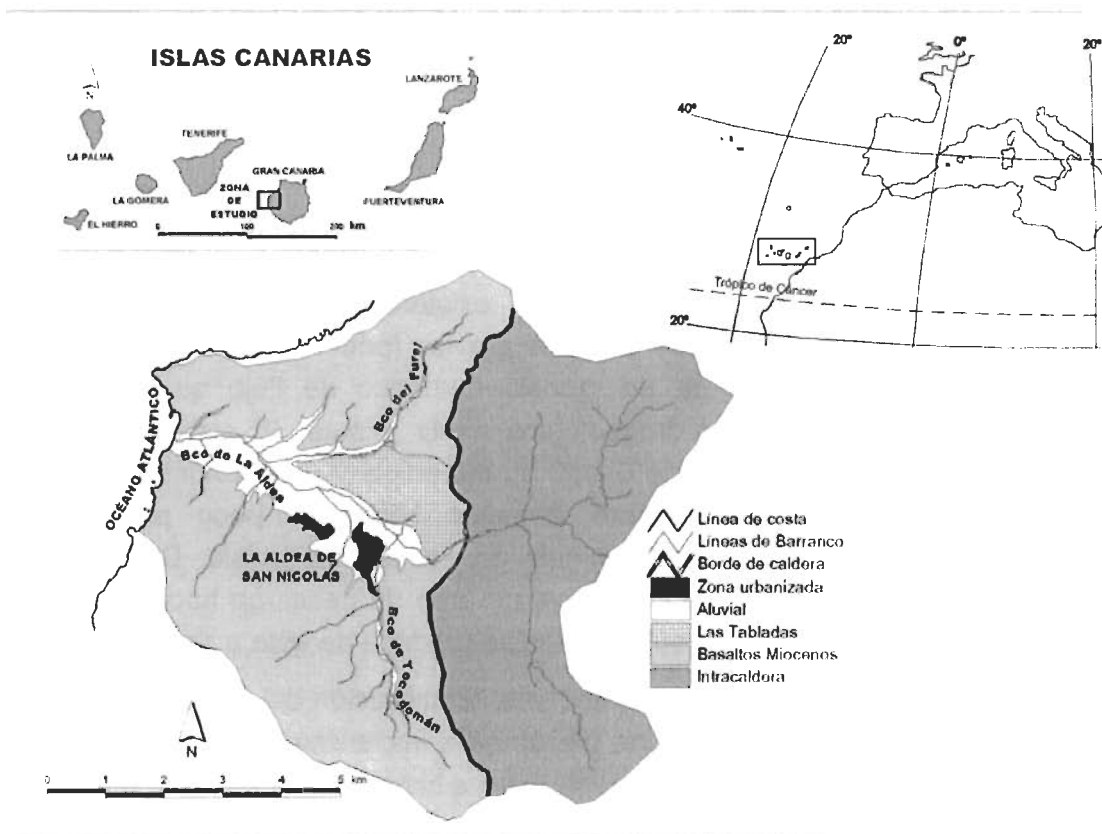


Figura 1: Situación geográfica y distribución de los dominios hidrogeológicos de la zona de estudio.

El barranco de Tejeda-La Aldea, situado al oeste de la isla de Gran Canaria, representa la mayor cuenca de la isla (180 km<sup>2</sup>). En su parte interna presenta un relieve escarpado, mientras que en su tramo final el cauce se abre y configura un valle abierto de fondo plano rodeado por fuertes escarpes. En este

último tramo se encuentra la zona de estudio (Figura 1). Presenta una dirección principal este-oeste y en él desembocan los barrancos secundarios del Furel por el norte y Tocodomán por el sur.

La precipitación media anual de la zona oscila entre los 195 mm en la estación pluviométrica situada a mayor altura (345 m) y 162 mm en la zona de costa. La mayoría de las lluvias se concentran entre los meses de octubre y abril y la temperatura media es de 20.5 °C. La zona está sometida a sequías frecuentes con episodios de lluvias torrenciales, que alimentan las reservas de agua del suelo y producen escorrentía superficial en las zonas altas de la cuenca que van a parar a tres presas situadas en la zona media del Barranco. Cuando estas presas rebosan, se produce escorrentía por el cauce del barranco aguas abajo de las mismas. La zona se dedica a la agricultura intensiva, sobre todo de tomate en invernadero, con una superficie de cultivo media de 470 ha y un consumo medio de 5 hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup> en los 5 últimos años (Extensión Agraria en La Aldea com. per., 2004).

## 1. GEOLOGÍA Y GEOMETRÍA

Con una superficie de 44 km<sup>2</sup>, en la zona afloran fundamentalmente materiales pertenecientes a la fase de construcción en escudo de la isla (Basaltos Miocenos, de 14.5 a 14 Ma) recubiertos parcialmente por materiales sedimentarios de diversas edades. Los sedimentos aluviales localizados en el fondo del barranco tienen un contorno claro y fácilmente delimitable, con una superficie de 6 km<sup>2</sup> aproximadamente. Su profundidad media es de 20 m. Asociados al aluvial principal hay derrubios de ladera y glacis – conos sobre las laderas de los Basalto Miocenos. Los Basaltos Miocenos ocupan mayor superficie en la zona de estudio pertenecen al Tramo Inferior Basáltico (ITGE, 1990), conformando la base del acuífero. También se encuentran coladas del Tramo Superior de los Basaltos Miocenos en escudo que se van superponiendo a las del Tramo Inferior y se distribuyen por las laderas norte y sur del barranco principal, así como hacia la cabecera, en la zona este. En la zona noreste del valle de La Aldea se encuentra un relieve residual que alcanza los 200 m de altitud, separando el valle de La Aldea del barranco secundario del Furel, conocido como Las Tabladas (Figura 1). Este relieve tiene como base los Basaltos en Escudo y afloran distintos materiales

volcánicos y sedimentarios. Al este de la zona de estudio y fuera de ésta, se localiza la formación intra-caldera (Figura 1). En la zona existen un gran número de diques de dirección preferente este-oeste y naturaleza basáltica (Muñoz, 2005).

Los límites de la zona de estudio están definidos por las cadenas montañosas que son límites de divisoria de aguas y fijan los límites norte y sur; la línea de costa al oeste y el borde de la Caldera de Tejeda (Formación intra-caldera) al este.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

En la zona de estudio, se distinguen dos unidades hidrogeológicas muy claras: en superficie se encuentra una unidad aluvial situada en el fondo del barranco y debajo de esta se encuentran los Basaltos Miocenos anteriormente citado. Se trata, pues, de un acuífero bicapa: por un lado la unidad aluvial formado por conglomerados de matriz arcillo-arenosa y permeabilidad alta y por otro lado el acuífero basáltico con baja permeabilidad, aunque no nula (Muñoz, 2001).

Dada la necesidad de poner un límite inferior a los basaltos para la realización del modelo, este límite se ha situado a  $-143$  m, coincidiendo con un límite localizado en un sondeo profundo existente en el centro del Barranco. Este límite indica el contacto entre basaltos alterados (más permeables) y basaltos sin alterar (menos permeables) que se ha localizado en un sondeo a cota  $-143$  metros.

La mayor parte de la recarga natural se produce por infiltración directa de agua de lluvia en la zona del acuífero aluvial y los primeros metros del basalto, que vierte el agua al aluvial, por lo que el flujo se dirige hacia la zona del aluvial desde los bordes norte y sur y de oeste a este en el centro del valle, descargando en el mar. Otras fuentes de recarga son la entrada de agua por la cabecera del barranco, los retornos de riego, pérdidas e la red de abastecimiento y la infiltración en la escorrentía. La principal fuente de descarga natural es la descarga al mar junto con la evapotranspiración y las extracciones por bombeo para riego y en menor medida para abastecimiento urbano. La circulación del agua subterránea en la zona (Figura 2) se produce

de Oeste a Este, excepto en las zonas de los barrancos del Furel y Tocodomán donde el flujo se produce paralelo al cauce de estos barrancos y en las montañas donde se produce una divisoria de aguas y el flujo va hacia el aluvial.

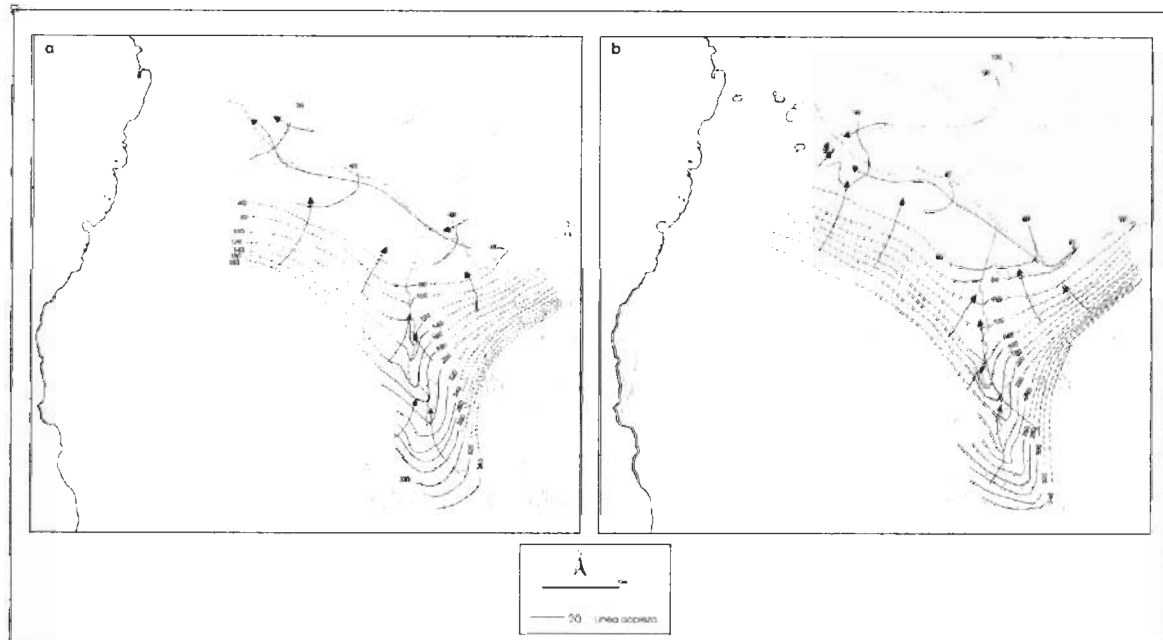


Figura 2: Piezometría de la zona de estudio (Muñoz, 2005).

Se cuenta con dos inventarios exhaustivos de puntos de agua en la zona, realizados en 1992 y 1999, en las que se midieron los niveles piezométricos en todos los pozos localizados en La Aldea, que han permitido la elaboración de piezometrías en estas fechas (Figura 2). Además, se cuenta con una red de control piezométrico formado por varios pozos, que ha estado operativa desde 1994 hasta la actualidad, por lo que se dispone de series temporales de niveles piezométricos. Se debe hacer notar que no hay piezometría en la zona de Furel porque no hay pozos ni datos de niveles en esa zona.

En la figura 2 también se puede observar un retroceso de las curvas de nivel en la zona de estudio de 1992 a 1999, esto implica un descenso en los niveles en 1999 con respecto a 1992.

Con respecto a los parámetros hidráulicos, hay que diferenciar las dos unidades hidrogeológicas y los datos de que se disponen son obtenidos de

ensayos de bombeo por Muñoz (2005). En la tabla 1 se puede observar la permeabilidad del aluvial y del basalto, donde se aprecia la diferencia de permeabilidades.

	TRANSMISIVIDAD ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )	PERMEABILIDAD ( $m \cdot d^{-1}$ )	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
SEDIMENTOS ALUVIALES	1102 (512-1695)	55 (26-85)	0,065 (0,03-0,1)
BASALTOS MIOCENOS	5	0,03	0,075 (0,005-0,01)

Tabla 1.- Resumen de los valores de transmisividad (Muñoz, 2005)

Como se ha comentado con anterioridad, un mecanismo de descarga son las extracciones de agua de los pozos. Existen en la zona más de 370 pozos de gran diámetro (2.5 y 3 m), excavados a mano, con profundidades que oscilan entre los 4 y 212 m, con una profundidad media de 28 metros. Todos los pozos situados en la parte central del acuífero explotan agua de los conglomerados aluviales, aunque algunos atraviesan también los basaltos situados debajo, sacando agua conjuntamente de los dos materiales. Son muy frecuentes los sondeos radiales en el interior de los pozos y las paredes suelen tener revestimiento en los primeros metros de profundidad.

El calendario agrícola del tomate (cultivo mayoritario en la zona) influye en la distribución temporal de la explotación de los pozos, el comienzo de la temporada se produce en agosto con la plantación de los brotes ya crecidos en el semillero y en el mes de octubre comienza la recogida de la cosecha que dura hasta mayo, estos son los meses de mayor explotación del acuífero. Entre junio y agosto no hay plantación en los invernaderos por lo que la explotación se hace pequeña, casi nula. Según lo expuesto, se deduce que los bombeos de las captaciones son discontinuos, y depende de las necesidades del propietario y del riego en cada momento del año.

La construcción de tres presas a finales de la década de los 50 en la cuenca de Tejeda – La Aldea para el aprovechamiento de aguas superficiales brinda a los agricultores agua para riego con una mayor calidad, fundándose la



Comunidad de regantes de La Aldea para su gestión. También supuso una disminución de las aguas subterráneas explotadas. Después de los años de sequía de 1997 y 2000 se instalaron en la zona varias plantas desaladoras, tanto de agua subterránea como de agua de mar a través de pozos filtrantes en la costa (Cabrera et al., 2001).

En la tabla 2 se observa la evolución del volumen de explotación para distintos años donde se ve que la explotación ha aumentado en un 70% desde 1992 y 1999 lo que explicaría el descenso de los niveles en la piezometría.

Año	Volumen explotado Hm <sup>3</sup> .año <sup>-1</sup>
1992	2.84
1993	2.87
1994	2.95
1995	2.96
1996	2.83
1997	2.96
1998	3.39
1999	4.10

Tabla 2.- Volumen de agua explotado del acuífero mediante la extracción por pozos desde 1992 y 1999.

En la figura 3 se puede observar la distribución espacial de la explotación media anual de los pozos de La Aldea que están en funcionamiento. No se trata de la explotación máxima que se podría obtener de los pozos, sino la realizada por los propietarios según sus necesidades de agua para la agricultura y se aprecia claramente que la gran mayoría de los pozos están localizados en el aluvial del barranco principal de La Aldea y son los que mas agua explotan. Otras observaciones que se pueden realizar es que también se obtiene agua del barranco de Tocodomán y es casi nula la explotación en el barranco de Furel. Con respecto a la explotación en los Basaltos Miocenos, se observa que se realiza en la zona sur de la zona de estudio en el barranco de Tocodomán y que el caudal de explotación es bajo.

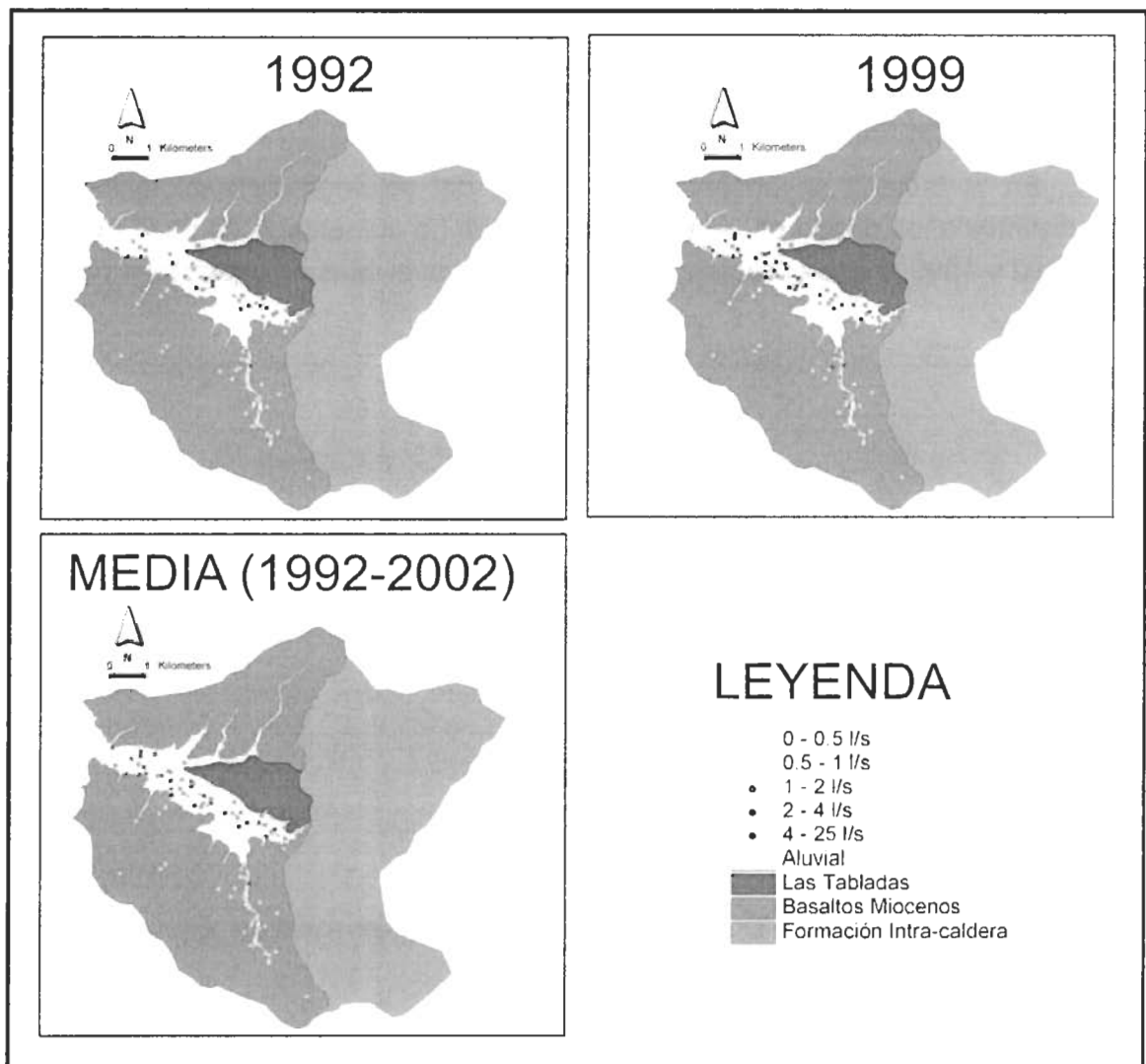


Figura 3: Distribución espacial del caudal de explotación anual en l.s<sup>-1</sup>.

### 3. BALANCE HÍDRICO

Como se ha comentado anteriormente, las entradas de agua al acuífero se producen por infiltración directa de agua de lluvia, la entrada de agua por la cabecera del barranco, los retornos de riego, perdidas e la red de abastecimiento y la infiltración en la escorrentía y las salidas por la descarga al mar, evapotranspiración y las extracciones por bombeo para riego y en menor medida para abastecimiento urbano. La figura 4 representa una aproximación al balance hídrico de la zona.

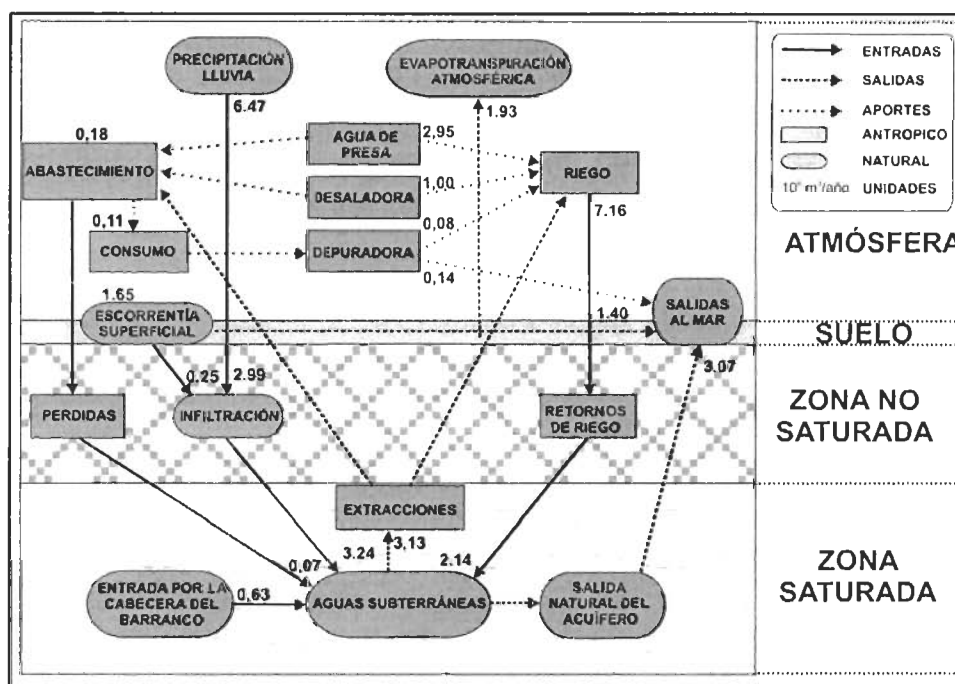


Figura 4: Representación esquemática del Balance Hídrico del Acuífero de La Aldea.

La recarga por lluvia y la evapotranspiración real han sido evaluadas mediante el EASY\_BAL (Universidad Politécnica de Cataluña) con un valor de laminación calculado a partir del número de curva obtenido en el SPA-15 (1975) por el Método del Número de Curva del U.S Soil Conservation Service para una escorrentía producida igual a 0. La entrada de agua por el borde de la caldera se produce por las dos unidades que componen el sistema, por la

cabecera del barranco hacia el aluvial y a través de los Basaltos Miocenos. Un testimonio de la recarga desde la cumbre a través del borde de la Caldera pueden ser los nacientes que existen en este borde, aunque esto está por demostrar. Para el cálculo del valor de los retornos de riego se ha estimado un 30% de los volúmenes de agua utilizados en la zona (F. Suárez com. per., 2004). La pérdida en la Red de abastecimiento y saneamiento asciende a un 40% de la dotación, según datos del Ayuntamiento.

La caracterización y determinación de las extracciones en los pozos existentes en la zona se ha llevado a cabo mediante los datos de los inventarios de puntos de agua realizados en 1992, 1997 y 1999, completados con los datos de las redes de control mantenidas desde 1995 a la actualidad.

Las salidas al mar han sido evaluadas por la ecuación de Darcy. Se ha trabajado con la hipótesis de que la mayoría de la salida se produce por el aluvial, donde se ha estimado una descarga anual media de 3.07 hm<sup>3</sup>-a-1 frente a un 0.02 hm<sup>3</sup>-a-1 (Muñoz, 2005) por los Basaltos Miocenos que lo hacen despreciable frente a las pérdidas por el aluvial.

#### 4. MODELO NUMÉRICO

Los modelos numéricos son simplificaciones de la naturaleza que se realizan para representar los procesos fundamentales y donde se incluyen un número limitado de datos y por tanto reproducen unas observaciones con las limitaciones que se imponen de partida. Sin embargo, el modelo debe ser coherente y respetar los procesos y fenómenos que debe reproducir. En este caso, el modelo se ha llevado a cabo mediante el código MODFLOW (MC. Donald, M.G. y Harbaugh, A.W., 1988), utilizando el Programa Visual MODFLOW. Se trata de un código desarrollado por el United States Geological Survey que aborda la modelación mediante diferencias finitas.

El dominio del modelo elaborado en el Acuífero de La Aldea se ha seleccionado de forma que coincida con límites hidráulicos naturales conocidos para facilitar las condiciones de contorno. Así, los límites establecidos son los que se expusieron más: al norte y el sur coinciden con los puntos de máxima altura de las montañas, el límite este se localiza en el borde de la intra-caldera,

ya que se considera que el material intra-caldera es impermeable como se muestra en la figura 1. Y por último el límite oeste coincide con el nivel del mar.

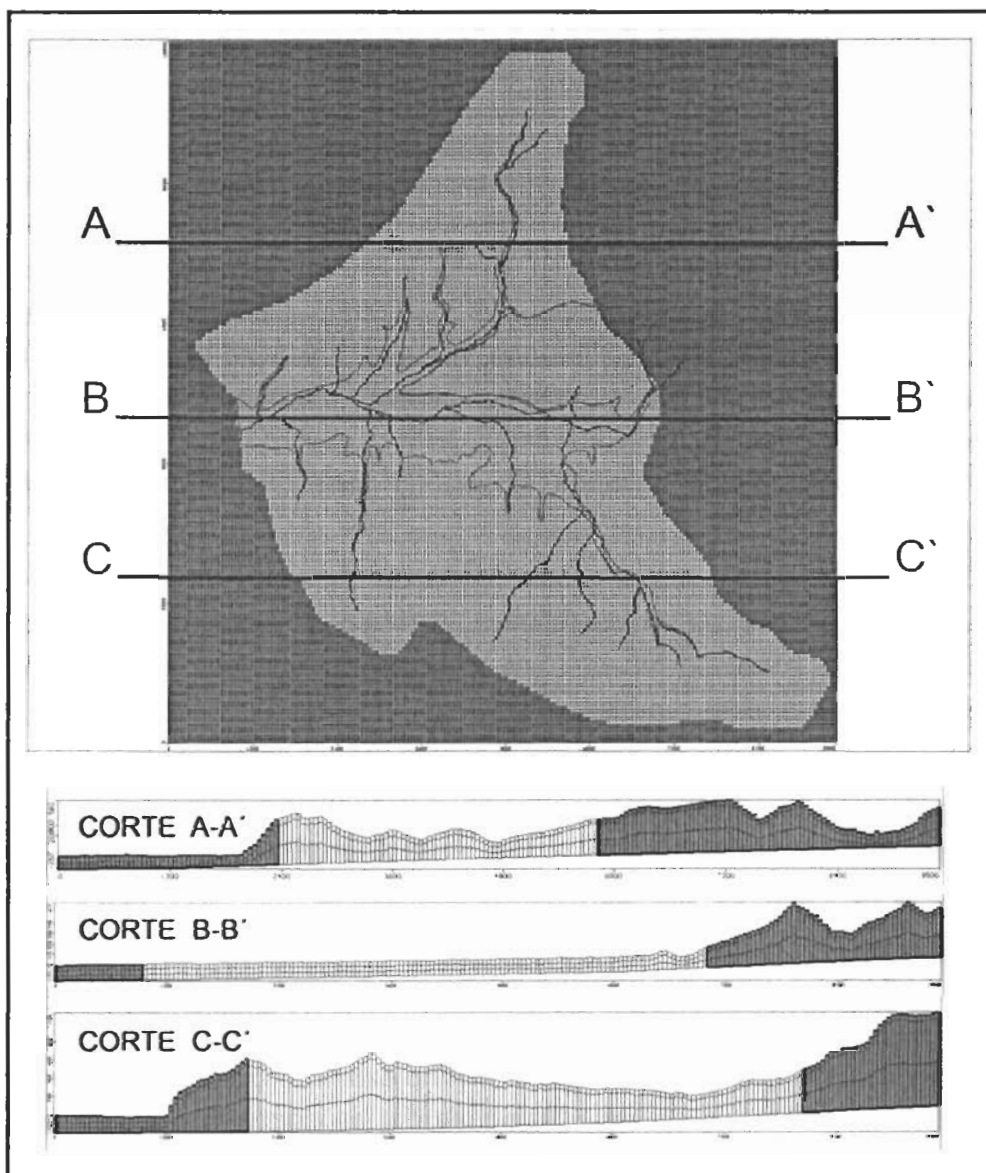


Figura 5: Discretización vertical y horizontal de la zona de estudio.

Para la implementación del modelo conceptual anteriormente descrito en el Visual Modflow, primeramente se ha realizado la discretización de la zona de

estudio mediante una malla, donde se ha procurado que esté orientada en el sentido principal del flujo de las aguas subterráneas, para ello se ha tenido que girar 25° al sur (figura 5). La discretización superficial se ha realizado teniendo en cuenta la orografía de la zona con sus grandes pendientes en los bordes y la localización de los pozos en la zona del aluvial principalmente, optándose por una discretización homogénea de 50 x 50 m (Figura 5), sin refinamiento.

La discretización vertical se ha realizado mediante datos de sísmica de refracción, columnas geológicas de pozos y descensos máximos de nivel en los pozos y teniendo en cuenta la orografía de la zona, el resultado se puede observar en los cortes de la figura 5. La zona de estudio se ha dividido verticalmente en tres capas: la capa 1 la conforman el aluvial, la zona de Las Tabladas y los Basaltos muy alterados; la capa 2 y 3 es la de los basaltos alterados que se ha dividido en dos por motivos puramente matemáticos de estabilidad del modelo, el límite inferior de esta capa lo da el contacto entre los basaltos alterados y los basaltos sin alterar localizado a 163 metros de profundidad.

La conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento se han zonificado basándose en razonamientos geológicos descritos en el modelo introduciendo la zona aluvial, la zona y capas de basaltos y las zonas de derrubios de ladera en la capa superficial.

Se ha observado que cuando hay en la zona periodos de lluvia muy prolongados, el barranco corre y vierte agua al mar, aún después de la construcción de las presas aguas arriba. Para representar este proceso se ha puesto una condición de dren para la red hidrográfica.

Los datos piezométricos usados para el ajuste y calibración del modelo se han obtenido de la base de datos, seleccionando aquellos pozos que cuentan con un nivel estático en 1992 (para la elaboración del modelo en régimen estacionario). Hay que destacar que el nivel piezométrico tomado en un pozo, representa un sumatorio de las situaciones de los pozos vecinos ya que los radio de influencia en la zona han sido estimados para el aluvial de mas de 180 metros para un día de bombeo y de 55 metros para los basaltos (Muñoz, 2005) y las captaciones en la zona están muy próximas entre sí, por lo que los niveles estáticos medidos, podrían estar influenciados por el bombeo de pozos vecinos.

Los datos disponibles en la base de datos, se han obtenido a partir de una serie de campañas de campo realizadas desde 1975 hasta la actualidad. Del

proyecto SPA-15, en 1975, se dispone de datos de 11 pozos en el valle de La Aldea, estos datos incluyen información hidrogeológica, sobre el estado de las captaciones y algunos muestran análisis químicos de muestras de aguas tomadas en los pozos. Durante el proyecto MAC-21, en 1980 se realizó un inventario de 42 pozos, los datos recogidos son bastante completos, incluyen información de interés hidrogeológica y algunos análisis químicos. En el Plan Hidrológico de Gran Canaria se realizó una campaña de inventario de pozos en 1992 donde se registraron 363 puntos de agua en el barranco de La Aldea. En 1999, para el proyecto FEDER 1FD97-0525 "Estudio hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)" se realizó una campaña donde se visitaron 375 puntos de agua. Entre medio de estas dos últimas grandes campañas de campo, se realizaron pequeñas campañas para los proyectos "Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers" (Muñoz et al, 1996), donde se estableció la primera red de control en La Aldea para tomar datos de distintos pozos de forma continua en el tiempo para estudiar su evolución y "Estudio hidrogeológico de los procesos de salinización en el acuífero de San Nicolás de Tolentino" (Delgado Mangas, 1999), ambos mencionados en los antecedentes.

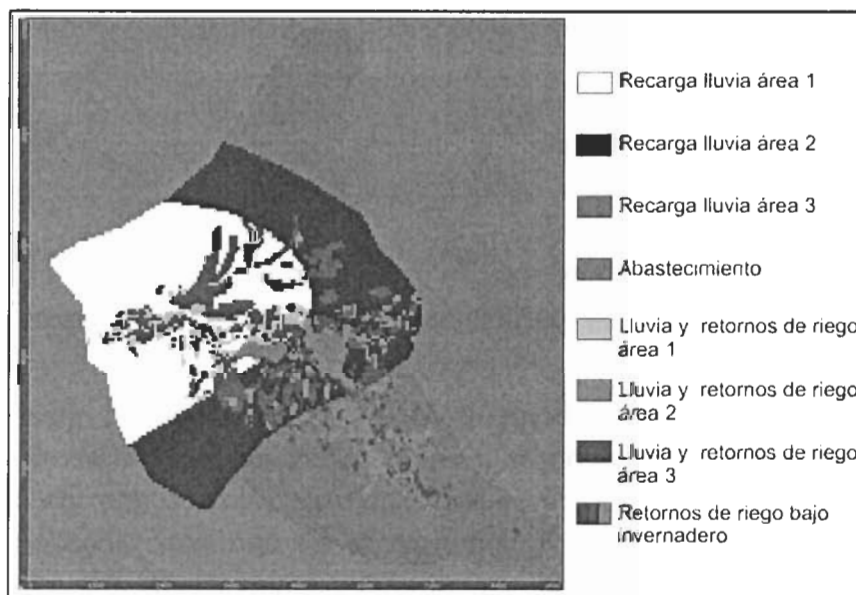


Figura 6: Distribución espacial de las distintas zonas de recarga por lluvia retornos de riego y pérdidas de la red de abastecimiento.

La recarga originada por la infiltración directa del agua de lluvia, retornos de riego y de la red de abastecimiento se tratan conjuntamente en el modelo y solo es aplicada en las celdas superiores de la malla como se puede observar en la figura 6.

La descarga por extracción de aguas subterráneas se produce a partir de pozos de bombeo localizados en la zona. Los caudales de extracción han sido obtenidos de la base de datos y completados de forma coherente a partir del conocimiento de los pozos para los periodos de tiempo donde no hay datos.

El sistema se ha simulado en régimen estacionario definiendo un tiempo de 365 días (1 año) con el fin de poder introducir los datos medios anuales que se dispone, en este caso del año 1992. Las razones por las que se ha definido una discretización temporal como régimen estacionario han sido que no se dispone de una piezometría inicial real y que no se conocen con precisión las características hidrogeológicas del terreno.

## 5. RESULTADOS

Una vez introducidos todos los datos en el modelo, su ejecución proporciona una piezometría tentativa para los valores de permeabilidad introducidos (Figura 7) y una línea regresión para el cálculo de errores entre valores de nivel piezométrico calculados y observados en los pozos que se debe ajustar al mínimo error (Figura 8). El proceso de calibración se basó en la comparación de los niveles observados y calculados, realizando ajustes sobretodo en los parámetros hidráulicos.

Los datos de permeabilidad obtenidos del modelo se pueden observar en la tabla 3, los valores son menores que los obtenidos por Muñoz en su tesis doctoral a partir de ensayos de bombeo, pero del mismo orden de magnitud. También hay que destacar la importancia de los derrubios de ladera que se observan sobre los Basaltos Miocenos para la obtención de una piezometría adecuada de la zona.



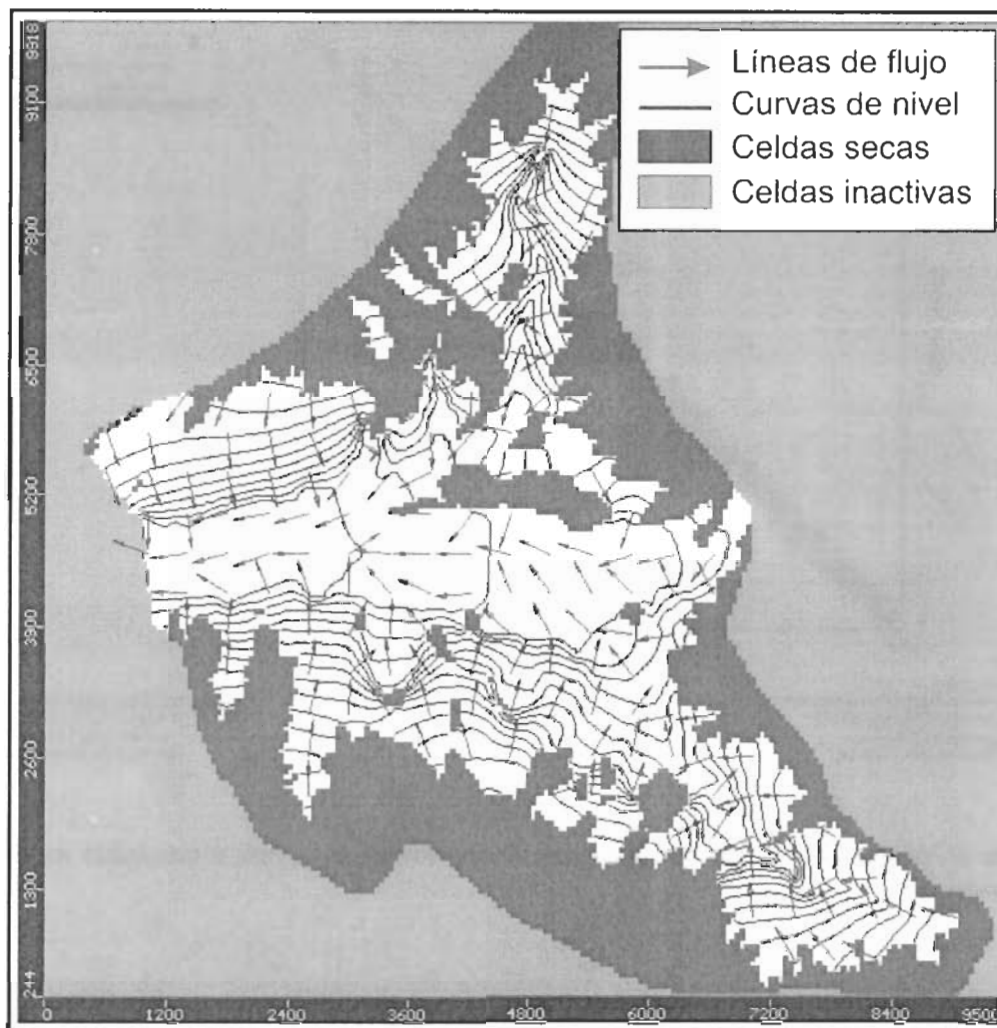


Figura 7: Piezometría resultante de la modelación.

	TRANSMISIVIDAD ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )	PERMEABILIDAD ( $m \cdot d^{-1}$ )
SEDIMENTOS ALUVIALES	1000	40
BASALTOS MIOCENOS	1	0,005

Tabla 3.- Parámetros hidráulicos obtenidos a partir del modelo.

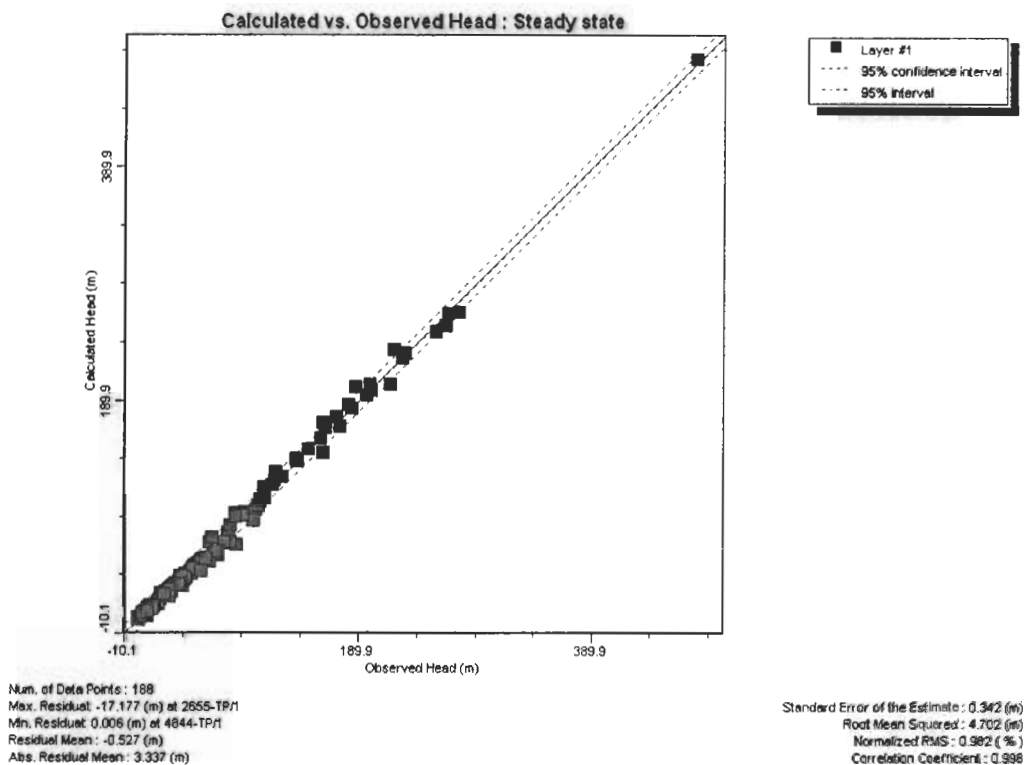


Figura 8: Valores de niveles piezométricos observados en el campo y calculados mediante modelación.

Estos resultados aún deben ser corregidos y discutidos en profundidad, pero aportan bastante coherencia a lo que se conoce de la hidrogeología de la zona hasta el momento en referente al movimiento del flujo.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado la modelación en régimen estacionario del flujo de las aguas subterráneas del acuífero de La Aldea, para ello se ha tenido que estudiar el modelo conceptual del acuífero que contempla un sistema acuífero con dos unidades hidrogeológicas muy claras: un aluvial de 6 km<sup>2</sup> de superficie y una profundidad media de 20 m situado en fondo del Valle

que recubre a Basaltos Miocenos. En este esquema la circulación del agua subterránea se produce de este a oeste principalmente. Los datos de que se dispone permiten elaborar un modelo en régimen estacionario en tres dimensiones en el que los límites de capas están definidos en base a las diferentes permeabilidades de los materiales. El modelo responde a estos datos de forma coherente.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido financiado con un proyecto CICYT con fondos FEDER 1FD97-0525. Dentro de este proyecto, ha recibido financiación de la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, el Excmo. Ayuntamiento de San Nicolás de Tolentino, las cooperativas de COPAISAN, COAGRISAN y ROMERTOR. Así mismo Tatiana Cruz Fuentes disfruta de una beca de investigación del Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria para la realización de su tesis doctoral.

## BIBLIOGRAFÍA

- Custodio E y Cabrera MC (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias. Bol. Geol. Min., 113 (3): 243-258
- Ferrer M, Rodríguez J y Estrela T (1995). Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. Ing. Del Agua, 2 (4): 43-58
- GRAFSCAN (1996). Cartografía digital oficial de Gran Canaria. Escala 1:5000. Empresa Cartográfica de Gran Canaria, S.A., Gobierno de Canarias Las Palmas de Gran Canaria, España.
- ITGE (1990). Proyecto MAGNA. Memorias y mapas geológicos de España. E: 1:25.000. Isla de Gran Canaria: hojas nº 1108-I-II-III y 1113-I (3 mapas)
- Muñoz J (2005). Funcionamiento hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria). Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 310pp.

SPA-15 (1975). Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Minist. Obras Públ, Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 vol.

WATERLOO HYDROGEOLOGIC (2003). Visual MODFLOW User's Manual. Waterloo Hydrogeologic, Inc. Canada. 434 pp.