

X 62372

**ESTUDIO DE LA INCIDENCIA QUE SOBRE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS PROVOCA LA INYECCIÓN
DESCONTROLADA DE SALMUERAS**

**EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO Y DETERMINACIÓN
DE LA RECARGA MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA EN
PEQUEÑAS CUENCAS DEL ESTE DE LA ISLA DE
GRAN CANARIA**

Febrero de 2001



Instituto Geológico
y Minero de España

**ESTUDIO DE LA INCIDENCIA QUE SOBRE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS PROVOCA LA INYECCIÓN
DESCONTROLADA DE SALMUERAS**

**EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO Y DETERMINACIÓN
DE LA RECARGA MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA EN
PEQUEÑAS CUENCAS DEL ESTE DE LA ISLA DE
GRAN CANARIA**

Febrero de 2001



INFORME	Identificación: H.6 - 001.01
	Fecha: Febrero de 2001
TÍTULO EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO Y DETERMINACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA EN PEQUEÑAS CUENCAS DEL ESTE DE LA ISLA DE GRAN CANARIA	
PROYECTO ESTUDIO DE LA INCIDENCIA QUE SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PROVOCA LA INYECCIÓN DESCONTROLADA DE SALMUERAS	
RESUMEN El cuadrante Sur-oriental de la isla de Gran Canaria, en particular su zona baja (cota < 300 m), es el ámbito donde se desarrolla una parte importante de la agricultura y el turismo insular, dos de sus actividades económicas más destacadas. La disponibilidad de recursos hídricos cobra por ello una importancia fundamental, existiendo una histórica y notable cultura hídrica en la gestión de los recursos. Sin embargo, en contraste con este marco, las evaluaciones de las recargas realizadas, tanto globales como localizadas, presentan incertidumbres y desviaciones apreciables. El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a la caracterización de la recarga del sector Sur-oriental de Gran Canaria, para ello se evalúa la recarga a través de la calibración de modelos numéricos de Balance Hídrico en distintas zonas de este ámbito geográfico, mediante la utilización del código Visual BALAN v.10 (VB). Los modelos de balance hídrico que se calibraron ofrecen una primera aproximación en cuanto a la evaluación numérica de la recarga. Las limitaciones en la caracterización de la misma son producto de las notorias carencias e incertidumbres de la información de partida. No obstante, los resultados alcanzados aportan unas condiciones iniciales de recarga consistentes para las futuras tareas de modelización.	
Revisión Nombre: Juan Antonio López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha: Febrero de 2001	Autor: Javier Heredia Díaz Responsable: José Manuel Murillo Díaz

El presente informe se ha realizado dentro del Proyecto “Estudio de la incidencia que sobre las aguas subterráneas provoca la inyección descontrolada de salmueras” como apoyo al “Convenio específico de asesoramiento técnico entre el IGME y el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria”, actuando como:

Responsable de estudio:

José Manuel Murillo Díaz

Autor del estudio:

Javier Heredia Díaz

Asesor Técnico de hidrología de la zona:

Emilio La Moneda González

El IGME agradece la colaboración que el Instituto Nacional de Meteorología, en la persona de Dña. María del Milagro García Pertierra, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, el Catedrático Dr. Javier Samper Calvete y el Lic. Llorenç Huguet han prestado en el estudio.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. CÓDIGO VISUAL BALAN

4. METODOLOGÍA APLICADA

5. INFORMACIÓN DE PARTIDA

5.1. Información planimétrica

5.2. Información piezométrica

5.3. Información meteorológica

5.4. Información agrícola

6. MODELOS DE BALANCE

6.1. Modelo Mbh360002a -Barranco Hondo-

6.1.1. Modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-

6.1.2. Modelo Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-

6.2. Modelo Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-

6.3. Modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

6.4. Modelo Mbh370008 -El Doctoral-

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES

9. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. HIDROGRAMAS DE PUNTOS SELECCIONADOS

ANEXO II. COEFICIENTES DE AGOTAMIENTO

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Situación de la zona de estudio y de los dominios de los modelos de balance hídrico**
- Figura 2. Modelos Mbh360002 -Barranco Hondo- y Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-**
- Figura 3. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Hidrogramas medido y calculado**
- Figura 4. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Correlación de niveles medidos y calculados**
- Figura 5. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Balance Hídrico medio anual**
- Figura 6. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Hidrogramas medido y calculado**
- Figura 7. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Correlación de niveles medidos y calculados**
- Figura 8. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Balance Hídrico medio anual**
- Figura 9. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Hidrogramas medido y calculado**
- Figura 10. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Correlación de niveles medidos y calculados**
- Figura 11. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Balance Hídrico medio anual**
- Figura 12. Modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-**
- Figura 13. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Hidrogramas medido y calculado**
- Figura 14. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Correlación de niveles medidos y calculados**
- Figura 15. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Balance Hídrico medio anual**
- Figura 16. Modelo Mbh370008 -El Doctoral-**
- Figura 17. Mbh370008 -El Doctoral-: Hidrogramas medido y calculado**
- Figura 18. Mbh370008 -El Doctoral-: Correlación de niveles medidos y calculados**
- Figura 19. Mbh370008 -El Doctoral-: Balance Hídrico medio anual**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla T1. Características de los puntos seleccionados

Tabla T2. Meses sin registro pluviométricos

Tabla T3. Meses sin registro termométricos

Tabla T4. Matriz de correlaciones diarias de los datos pluviométricos.

Tabla T5. Matriz de correlaciones diarias de los datos termométricos.

Tabla T6. Sistemática seguida en el relleno de series pluviométricas

Tabla T7. Dotaciones mensuales evaluadas en el Plan Hidrológico de Gran Canaria

Tabla T8. Dotaciones medias en los modelos de Balance Hídrico

Tabla T9. Estaciones Meteorológicas en el ámbito del modelo Mbh360002 -Barranco Hondo-

Tabla T10. Parámetros de la calibración del modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84- versiones uni y multicelular

Tabla T11. Parámetros de la calibración del modelo Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-

Tabla T12. Estaciones Meteorológicas en el ámbito del modelo Mbh320001-Barranco de Las Palmas-

Tabla T13. Parámetros de la calibración del modelo Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-

Tabla T14. Superficies de labor agrícola en Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

Tabla T15. Parámetros de la calibración del modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

Tabla T16. Superficies de labor agrícola en Mbh370008- El Doctoral-

Tabla T17. Parámetros de la calibración del modelo Mbh370008 -El Doctoral-

Tabla T18. Resultados de los modelos: Balances Hídricos medios anuales

Tabla T19. Resultados de los modelos: parámetros calibrados

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Balances Hídricos para el año medio. a, 1 celda y b, 5celdas

Cuadro 2. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Balance Hídrico para el año medio

Cuadro 3. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Balance Hídrico para el año medio

Cuadro 4. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Balance Hídrico para el año medio

Cuadro 5. Mbh 370008 -El Doctoral-: Balance Hídrico para el año medio

1. INTRODUCCIÓN

Se denomina recarga al proceso por el que se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior del mismo, igualmente se llama recarga al volumen de agua que penetra en el acuífero en un intervalo de tiempo dado (Custodio, 1998). El origen de la misma puede ser muy diverso: recarga difusa originada por agua meteórica; concentrada a partir de cauce o lagos; retorno de regadíos, pérdida de los sistemas de distribución agrícolas o urbanos; acuíferos vecinos; artificial.

El conocimiento de los mecanismos de recarga y la cuantificación de la misma es un elemento fundamental en la gestión de un acuífero, ya sea para evaluar los recursos explotables, conocer el eventual grado de sobreexplotación que sufre o adecuar las actuaciones sobre el mismo para su desarrollo sostenible. En particular, existen diversos métodos para evaluar la recarga difusa de un acuífero, a grandes rasgos se pueden clasificar en: técnicas de medición directas (lisímetros, etc.); uso de trazadores y balance químico y/o isotópico; modelos numéricos; métodos empíricos y balances hídricos en el suelo y el acuífero (Samper, 1997; Manzano y Fernández, 1997; Martí, 1997). La aplicación de una técnica particular u otra dependerá de las características hidroclimáticas de la zona de estudio, los datos existentes y los medios, tiempos y recursos disponibles. Por otro lado, es opinión extendida entre los investigadores, y se halla avalado por numerosos trabajos, que una adecuada caracterización de la recarga sólo se alcanza tras la aplicación y contraste de técnicas distintas (Samper y García Vera, 1997). Asimismo, la caracterización de la recarga se debe entender no como definir el valor exacto que esta adopte en un emplazamiento dado sino, antes bien, en identificar y acotar el rango de variabilidad de dicha recarga en un ámbito espacial dado (Samper y Custodio, 1997).

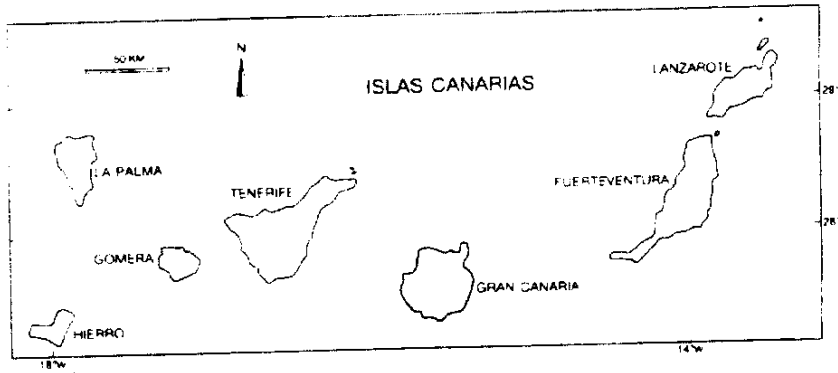
En Gran Canaria, en cuanto a balances hídricos globales, se deben señalar tres grandes hitos: SPA-15 (1970-1975) (MOP-UNESCO, 1975); MAC-21 (1978-1980) (CICEMAC, 1980) y Plan Hidrológico de Gran Canaria, PHGC, (1988-1993) (CIGC-COPVA; 1993). En el segundo de los proyectos, MAC-21, el balance fue resultado del único modelo numérico realizado en toda la isla. Por otro lado, existen balances hídricos locales, en general, en cuencas de la vertiente Este (Tirajana, Guayadeque, Telde), los cuales se evaluaron aplicando desde el balance "clásico", con distintas hipótesis de Reserva Útil, (ITGE, 1988; ITGE, 1992a y b; ITGE, 1993a y b; ITGE 1995; Guerra, Muñoz y Castaño, 1997) hasta el modelo de transformación precipitación-escorrentía de Temez (ITGE 1995). Síntesis sobre distintos aspectos parciales del balance hídrico en un marco local se pueden encontrar en la documentación de las correspondientes hojas del Mapa Geológico de España Escala 1:25000, en sus secciones de Datos Climatológicos, Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas (ITGE, 1990 a-e).

2. OBJETIVO

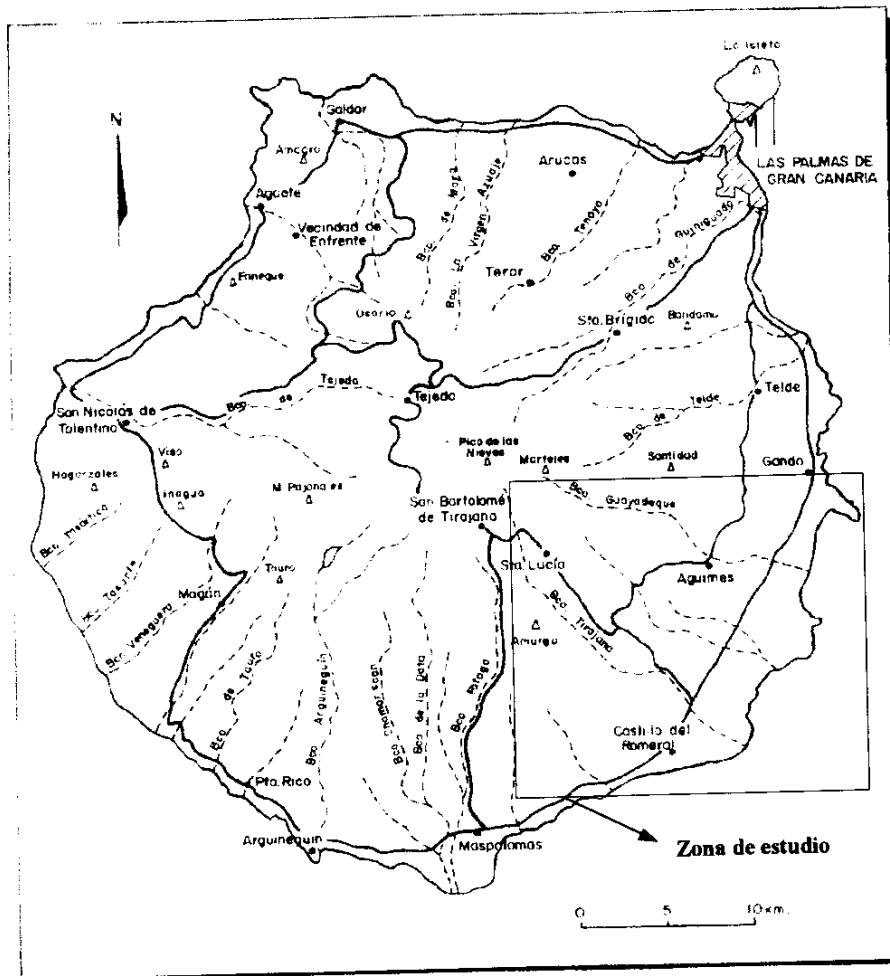
El cuadrante Sur-oriental de la isla de Gran Canaria, en particular su zona baja (cota < 300 m), es el ámbito donde se desarrolla una parte importante de la agricultura y el turismo insular, dos de sus actividades económicas más destacadas. La disponibilidad de recursos hídricos cobra por ello una importancia fundamental, existiendo una histórica y notable cultura hídrica en la gestión de los recursos. Sin embargo, en contraste con este marco, las evaluaciones de las recargas realizadas, tanto globales como localizadas, presentan incertidumbres y desviaciones apreciables. Ello pone en evidencia la ausencia de un conocimiento adecuado de este componente fundamental del ciclo hidrológico. Así, el objetivo del presente trabajo es: **contribuir a la caracterización de la recarga del sector Sur-oriental de Gran Canaria**. Para la consecución de este objetivo se evalúa la recarga a través de la calibración de modelos numéricos de Balance Hídrico en distintas zonas del ámbito de estudio (Figura 1), mediante la utilización del código Visual BALAN v.10 (VB).

Los modelos de balance hídrico que se calibraron ofrecen una primera aproximación en cuanto a la evaluación numérica de la recarga. La elaboración futura de un modelo de flujo, cuyo dominio comprenda los ámbitos espaciales de los modelos de balance desarrollados, y la incorporación de la recarga como uno de los parámetros sujetos a calibración es el paso siguiente, y lógico, para caracterizar más ajustadamente a este componente fundamental del ciclo hidrológico. Por otro lado, los resultados alcanzados en este trabajo aportan unas condiciones iniciales de recarga consistentes para las futuras tareas de modelización. No obstante, no deben desdeñarse las limitaciones al caracterizar la recarga, estas son producto de las incertidumbres inherentes a ciertos parámetros y componentes del balance, sobre los cuales se realizarán los comentarios pertinentes en este informe.

La memoria presentada guarda el orden siguiente: en el Capítulo 3 se describe sucintamente el código Visual BALAN (VB); en el Capítulo 4 se detalla y justifica la metodología seguida; en el Capítulo 5 se comenta la información de partida –meteorológica, piezométrica, agrícola y planimétrica-; en el Capítulo 6 se describen de forma sistemática los modelos definidos; en el Capítulo 7 se discuten los resultados alcanzados y en el Capítulo 8 se exponen las conclusiones, valorándose los resultados y relacionándolos con los estudios previos.



a. Esquema de situación geográfica de la isla de Gran Canaria en el Archipiélago Canario



b. Esquemas geográficos con la localización de las principales localidades, vías de comunicación, barrancos y vértices geodésicos.

Figura 1. Esquemas geográficos de localización de la zona de estudio (ITGE, 1992c)

3. CÓDIGO VISUAL BALAN

La descripción del programa Visual BALAN (VB) que se presenta es una síntesis de la publicación (Samper et al., 1999) en que se presenta la versión 1.0. Este código realiza balances de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero utilizando un entorno interactivo de entrada de datos y postproceso de resultados. Los términos fundamentales del balance son las entradas por precipitación y riegos, las salidas por escorrentía superficial, evapotranspiración, interceptación, flujo hipodérmico y flujo subterráneo, y la variación del contenido de humedad del suelo y de la zona no saturada y del nivel de agua en el acuífero. El programa evalúa cada uno de esos términos de forma secuencial, comenzando por la precipitación y las dotaciones de riegos, que son datos conocidos, continuando con la interceptación, la escorrentía superficial y la evapotranspiración real (ETR), y finalmente termina con la recarga en tránsito, que constituye la entrada de agua a la zona no saturada. En esta zona se evalúan primero las salidas subhorizontales por flujo hipodérmico y posteriormente la recarga al acuífero. El balance se realiza en periodos de tiempo de duración igual a un día. La evapotranspiración potencial (ETP) se puede calcular con uno de los siguientes métodos: Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Penman y Turc. También existe la posibilidad de proporcionar valores conocidos de la ETP. Para el cálculo de la ETR a partir de la ETP, Visual BALAN incorpora los siguientes métodos: (1) el de Penman-Grindley; (2) un método en el que la fracción ETR/ETP es una función lineal del déficit hídrico del suelo, (3) un tercer método en el que esta fracción es una función exponencial y (4) una versión modificada del método de Penman-Grindley.

La recarga en tránsito se compone de dos términos. El primero de ellos responde al mecanismo de flujo preferente (recarga en tránsito directa) a través de fisuras, macroporos, raíces, etc. En este mecanismo la recarga en tránsito es directamente proporcional al agua suministrada al suelo. Este flujo puede operar cuando: (a) el suelo está anegado de agua, (b) cuando el suelo está muy seco o c) cuando está muy húmedo. El segundo término responde al mecanismo de recarga por flujo a través de los poros. Este mecanismo es más lento que el anterior, y está limitado por la permeabilidad vertical del suelo en condiciones de saturación. VB permite calcular este componente mediante tres posibles métodos en los que la recarga en tránsito es función de la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Además del balance de humedad, el programa realiza el balance de un soluto químicamente inerte o conservativo (por ejemplo el ión cloruro). Los resultados de este balance de solutos pueden ser comparados con datos de concentraciones medidas en el suelo.

Otra característica del programa Visual BALAN es su capacidad para realizar, además del balance en la zona edáfica, el balance de agua en la zona no saturada y en el acuífero subyacente. El programa

calcula los valores diarios de los niveles piezométricos y de los caudales descargados en el punto de salida de la cuenca. Estos resultados se pueden comparar con datos disponibles de niveles y aforos.

Al igual que la mayoría de los programas existentes para la realización de balances de agua en el suelo, Visual BALAN utiliza algunas relaciones semiempíricas en las que aparecen parámetros empíricos carentes de fundamento físico que deben estimarse en cada caso particular. Una diferencia notable de VB respecto a otros programas es que considera de forma conjunta todas las aportaciones de agua al suelo (precipitación más riegos) sin distinguir su distinto origen.

El programa incorpora dos opciones de carácter avanzado: (1) el ajuste automático de parámetros del modelo a partir de datos de niveles piezométricos y/o caudales, y (2) el análisis de sensibilidad, que permite evaluar la sensibilidad de los resultados del balance respecto a variaciones en ciertos parámetros del modelo.

La versión V. 1.0 de Visual BALAN incorpora respecto a la versión V.0 las siguientes novedades:

- La definición de varias subcuencas dentro de la cuenca de estudio. Cada subcuenca puede tener propiedades y parámetros diferentes. El programa realiza los cálculos del balance en cada subcuenca por separado.
- Se pueden utilizar datos de varias estaciones hidrometeorológicas.
- Se pueden utilizar datos de varias estaciones de aforos. En este caso, se contempla la posibilidad de realizar la restitución de los caudales al régimen natural.
- La utilización del método de Turc para el cálculo de la ETP.
- La considera la intercepción utilizando las ecuaciones Horton y Singh.

El carácter interactivo del programa facilita en gran medida el proceso de entrada de datos, ya que permite seguir un orden lógico, proporciona mayor transparencia y permite dar al usuario menús de ayuda con notas aclaratorias sobre los parámetros del modelo. Así mismo, el postproceso de los resultados es muy flexible, permitiendo al usuario un gran número de posibilidades de análisis gráfico de los resultados de los balances.

4. METODOLOGÍA APLICADA

El VB evalúa el balance hídrico mediante un proceso de optimización basado en los datos de caudales y/o piezométricos –ver Capítulo 3-. Las variables y parámetros agro-meteorológicos demandadas por el modelo conceptual de balance –que incluye la metodología de cálculo de ETP que se aplique- deben estar definidos en todo el dominio del modelo. Este dominio se corresponde con la zona de recarga del piezómetro de observación o del manantial o con la cuenca de aportación del punto de aforo de caudales. Debido a ello, entre los datos necesarios para la ejecución del VB, los piezométricos y foronómicos son los que condicionan las características de la información restante.

El régimen hidrológico de los barrancos de la zona de estudio es marcadamente torrencial presentando escorrentía superficial solamente durante episodios de avenidas extraordinarias, siendo inexistente fuera de los mismos, aún en aquellos barrancos en que existían caudales permanentes en tiempos históricos. Por otro lado, las escasas series foronómicas existentes se corresponden con estas situaciones y brindan un marco consistente para la evaluación de un balance hídrico.

En la mayor parte de los pozos de observación de la franja costera -sector bajo (300<m)- resulta difícil definir la correspondiente zona de recarga que demanda la aplicación de VB, debido a la extensión de la misma y al requerimiento que esta zona se encuentre libre de la influencia de actuaciones –por ejemplo bombeos- que el código no pueda representar adecuadamente. Por ello se trabajó al definir el dominio algunos modelos de balance hídrico, no con el concepto de “zona de recarga del pozo” sino con el de “zona de influencia inmediata sobre el mismo”. La delimitación de esta última corresponde al área en que se producen los eventos agro-meteorológicos de mayor influencia en la evolución de los niveles piezométricos que registra un punto de observación dado. Resulta evidente que constreñir el dominio del modelo de balance a una “zona de influencia inmediata” dificulta la calibración del modelo, al existir componentes del ciclo que afectan a la serie de registros piezométricos que no se hallan representados, quitando consistencia al balance hídrico resultante. No obstante, los resultados que se pudieran alcanzar significarían una aproximación al conocimiento del balance en el sector analizado. Ello frente a optar por no evaluar el balance o introducir en su cálculo incertidumbres no asumibles, como serían los efectos que acarrearía el considerar las zonas de recarga estrictas de los puntos de observación que se caracterizan por su extensión, límites difusos y existencia en la misma de numerosas actuaciones difíciles de identificar y caracterizar que podrían estar incidiendo en la evolución de los niveles. En los pozos donde se consideró que se podía definir la zona de recarga con suficiente consistencia, se optó por trabajar con ella.

Los pasos que constituyen la metodología de trabajo son los siguientes:

- Revisión de la base de datos piezométrica y selección de puntos de observación basada en la calidad de los registros y el emplazamiento de los pozos. Se desestimaron aquellos que presentaban una pobre calidad en la información, o cuyos registros y/o emplazamiento sugerían una influencia particular de bombeos, o se encontraban fuera de la zona de estudio.
- Delimitación de las zonas de recarga o influencia inmediata correspondientes a los puntos seleccionados que configuran el dominio de cada uno de los modelos de balance hídrico. La delimitación se basa en criterios topográficos y de emplazamiento de las zonas de explotación agrícola.
- Identificación de los periodos a modelar basado en la extensión de las respectivas series piezométricas de los puntos de observación.
- Revisión y análisis de la información meteorológica. Identificación de las zonas de influencia de las estaciones pluviométricas y termopluviométricas existentes en el área, atendiendo a la orografía, orientación de los vientos y a la distancia a las estaciones. Determinación de las correspondientes estaciones pluviométricas y termopluviométricas bajo cuyas zonas de influencia se encuentran cada uno de los dominios de los modelos de balance. Correlación y relleno de series meteorológicas y determinación para cada modelo de las series medias ponderadas de pluviometría y temperaturas en los respectivos intervalos de trabajo. La ponderación se basó en la extensión de la zona de influencia de cada estación en el dominio del modelo.
- Determinación de las dotaciones mensuales de riego para un año medio en cada modelo. Su valor es la media ponderada de las dotaciones de los tipos cultivos existentes. La ponderación se basó en las superficies ocupadas por cada cultivo. Las dotaciones mensuales obtenidas para el año medio se extendieron para todo el periodo modelado. Esta aproximación no contempla la variación histórica de los tipos de cultivo, ni las dotaciones aplicadas o de la extensión cultivada.
- Calibración de los modelos de balance hídrico. Las calibraciones se caracterizaron por los dos siguientes aspectos:
 - La ejecución inicial de una serie de pasadas cuyo objetivo era identificar los métodos de cálculo que describen mejor algunos aspectos del balance, como por ejemplo el cálculo de la recarga en tránsito diferida o de la evapotranspiración real o la escorrentía superficial.
 - Debido a que el balance hídrico es un problema numérico fuertemente no lineal, el proceso de optimización se realizó partiendo desde distintos conjuntos de parámetros iniciales, en pos de identificar el mínimo criterio de calibración. Se adoptó como criterio

de calibración el valor medio del cuadrado de los residuos de nivel, entendiéndose como residuo de nivel a la diferencia entre el nivel piezométrico calculado y el medido.

- Análisis y valoración de los resultados de los modelos, basados en: coherencia y plausividad de los mismos, consistencia del modelo, contraste con estimaciones existentes –tanto de balances como de parámetros- y con los restantes modelos calibrados.

5. INFORMACIÓN DE PARTIDA

5.1. Información planimétrica

Toda la información planialtimétrica del proyecto se basa en las siguientes hojas 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional, IGN,:

- 1104-IV "Telde", Edición 1998
- 1107-I "San Bartolomé de Tirajana", Edición 1998
- 1107-II "Ingenio", Edición 1997
- 1107-III "El Tablero", Edición 1998
- 1107-IV "Vecindario", Edición 1998

Todas las evaluaciones de superficies y longitudes se realizaron con planimetro y curvímetero digital.

5.2. Información piezométrica

La información piezométrica procede la base de datos del Instituto Geológico Minero de España y contiene 3864 registros. La evolución piezométrica de Gran Canaria se caracteriza en las últimas décadas por un descenso constante de los niveles, en particular, y de forma acusada, en la franja costera, sector bajo (cota < 300m). Esta tendencia histórica debida a la demanda creciente de recursos para abastecimiento y riego se ha visto atemperada los últimos años en la medida que fueron cobrando peso: la desalación de agua marina, la reutilización de aguas residuales y la sustitución de cultivos y la modificación de las prácticas agrícolas en pos de mejorar beneficios y de optimizar recursos. Por esta causa, desde los tiempos en que existen registros, la piezometría regional de la franja costera posee un carácter dinámico y, por ello, no existe ningún pozo que pueda, estrictamente, ofrecer datos no influenciados. Si bien VB da la posibilidad de recoger la tendencia temporal en la evolución piezométrica, es recomendable para su aplicación que la influencia de bombeos sea inexistente o se halle lo más atemperada posible. La selección de los datos nivel procuró atender a este requerimiento.

Las bases de datos suministrada por la oficina del IGME de Las Palmas fueron las siguientes:

- Piezometría: detenta la totalidad de los registros, posee 3864 observaciones.

- Evolución Piezométrica: base estructurada a partir de un primer proceso de filtrado de la base Piezometría. Posee 2162 registros.
- Puntos de control: registros de la base Evolución Piezométrica y corresponden a los puntos de observación que se controlan en la actualidad. Posee 314 datos en 274 puntos de observación.

Los criterios de selección de datos que se aplicaron fueron los siguientes:

- Encontrar registros no influenciados o que, al menos, su carácter, dinámico se esté atemperado.
- Encontrar pozos que presenten un número de datos suficiente, como para generar una serie que permita la calibración del modelo asociado.
- Definición de períodos de estudios comunes a varios pozos.

Este último criterio no fue una exigencia a cumplir, pues no es un requerimiento que mejore los resultados de VB. Sin embargo, se consideró que satisfacerlo podía resultar de interés para una mejor caracterización de la zona. La inspección para la selección de pozos se realizó sobre la base de datos Evolución Piezométrica y con apoyo, para eventuales consultas, de la base Piezometría. En la Tabla T1 se indica el conjunto de pozos seleccionados inicialmente y este incluye tanto aquellos que se consideró susceptibles de modelizar, pero que finalmente no fueron objeto de cálculo, como para los que se realizó el Balance Hídrico. En el Anexo I se ofrecen los hidrogramas estos pozos.

El escaso número de datos piezométricos para los intervalos de simulación hará que los resultados que alcancen los modelos de balance deban ser analizados de forma matizada y no estricta, pues este hecho le quita robustez a las calibraciones que se alcancen. Otro hecho ligado a los datos piezométricos que va en detrimento de la robustez de los resultados es, el ya comentado, descenso generalizado de niveles propiciado por la explotación de las aguas subterráneas. El dominio del modelo asociado a cada punto seleccionado se definió según el concepto de zona “de recarga” o del de “zona de influencia inmediata” (ver Sección 3), según la situación de cada caso. En las zonas de recarga definidas se evaluó su superficie, el perímetro de la misma y la longitud del cauce principal.

5.3. Información meteorológica

En la mitad Este de la isla de Gran Canaria el Instituto Nacional de Meteorología ha realizado o realiza observaciones en 15 estaciones completas y posee registros de precipitaciones y temperaturas en, algo más, de 250 y 150 puntos, respectivamente. En la zona de estudio y en su periferia existe un importante número de estaciones. Sin embargo, sus series de datos presentan una heterogeneidad extrema, tanto en períodos de registros como en períodos completos, por ello se reducen notablemente

las estaciones sucintas de utilizar sus datos para restituir con la debida garantía las series de temperaturas y precipitaciones para los periodos de modelización (ver Tabla T1). En la zona de estudio se encuentra la estación de C-649i "Telde/Aeropuerto de Gran Canaria" con series termopluviométricas completas desde 1951.

Nº de REGISTRO	X _n (m)	Y _n (m)	Z (m)	E	Nº DE DATOS	PERÍODO	X _a (m)	Y _a (m)	Años Hidrol. a Modelizar
424240002	458989	3098845	110	E	17	1/80 - 11/90	459145	3098725	
424240007	459769	3098970	79	E	10	7/85 - 5/90	459925	3098850	
424270005	458769	3096038	140	E	8	1/80 - 5/90	458925	3095918	
424270021	458154	3088900	216	E	4	5/71 - 7/72	458310	3088780	
424280006	461014	3090660	49	E	11	7/85 - 5/90	461170	3090540	
424280050	461484	3095900	58	E	4	7/86 - 1/88	461640	3095780	
424280053	459564	3096526	122	E	10	7/80 - 5/90	459720	3096406	
424320001	450245	3079740	240	E	20	3/81 - 10/91	450400	3079620	80/81-91/92
424330003	455834	3085665	165	E	5	8/80 - 4/82	455990	3085545	
424330004	456134	3085580	175	E	24	1/81 - 11/90	456290	3085460	
424330009	455459	3084695	133	E	9	2/81 - 10/86	455615	3084575	
424330014	454624	3084020	143	E	11	7/81 - 6/86	454780	3083900	
424330018	456759	3083920	95	E	8	7/81 - 9/91	456915	3083800	
424330021	457404	3083175	68	E	14	8/80 - 7/91	457560	3083055	
424330025	455734	3083035	105	E	22	8/80 - 11/90	455890	3082915	
424330034	454080	3082750	150	E	22	1/75 - 8/92	454235	3082630	
424330049	455670	3081350	100	E	6	2/72 - 6/82	455825	3081230	
424330053	452190	3081135	206	E	7	1/71 - 6/82	452345	3081015	
424330056	452920	3080770	150	E	24	2/70 - 5/90	453075	3080650	
424340008	459594	3085880	55	E	10	1/85 - 5/90	459750	3085760	84/85-90/91
424360002	450340	3075730	100	P	21	1/81 - 5/90	450495	3075610	80/81-83/84 85/86-89/90
424370008	456880	3078355	51	E	20	11/80 - 8/92	457035	3078235	80/81-91/92

Obs. E, situación respecto al dominio del futuro modelo de flujo -E y P dentro y en la periferia del dominio, respectivamente; X_n e Y_n y X_a e Y_a coordenadas referidas a los elipsoides WGS y de Hayford, respectivamente.

Tabla T1. Características de los puntos seleccionados

Se realizó una revisión del estado de las series de datos de las distintas estaciones para el período 1980-1990, en el que se encuentran comprendidos todos los posibles periodos de modelización. El resultado de este análisis para precipitación y temperatura se expone en las tablas T2 y T3, respectivamente. Posteriormente, se establecieron las correlaciones mensuales y diarias entre las estaciones consideradas de interés, dado su emplazamiento y las características de sus series. Las matrices de correlación de precipitación y temperatura se presentan en las tablas T4 y T5.

Se identificaron las correspondientes estaciones con datos de precipitación y temperatura bajo cuya influencia se encuentran cada uno de los dominios de los modelos de balance. Se rellenaron las series de dichas estaciones para poder ofrecer datos diarios completos en los periodos de simulación de cada modelo. Las matrices de correlación de datos diarios de precipitación y temperatura permitieron definir las secuencias de relleno de cada serie. Ello se debió a que en algunos casos la serie que ofrecía una mayor correlación con la serie a rellenar no podía aportar observaciones en todos los intervalos en

	C 639-o h = 15 m Hoja: 1107-IV	C 649-i h = 24 m Hoja: 1107-II	C 639-p h = 30 m Hoja: 1107-IV	C 649-w h = 50 m Hoja: 1104-IV	C 649-f h = 100 m Hoja: 1107-II	C 639-q h = 125 m Hoja: 1107-IV	C 649-u h = 150 m Hoja: 1107-IV	C 648-a H = 320 m Hoja: 1107-II	C 638-i h = 340 m Hoja: 1107-I	C 636-j h = 600 m Hoja: 1107-I	C 636-k h = 690 m Hoja: 1107-I	C 646-e h = 690 m Hoja: 1107-II	C 623-i h = 1240 m Hoja: 1107-I
1980	8	Año sin datos	3	8	Año sin datos	Año sin datos	Año sin datos	Año sin datos	10	8	2,7 a 12	8	2
1981	1,6 a 8	Año sin datos	8	8	Año sin datos	Año sin datos	8	Año sin datos		8	6 a 8	8	
1982	7,9,11,12	Año sin datos	8	6	Año sin datos	Año sin datos		1 a 9	5 a 9	1,8	8	1,8	5
1983	8	Año sin datos	8	7,9	Año sin datos	Año sin datos		1 a 9,10 a 12	8	8	8,10	8	4,9
1984	4,8	Año sin datos		8	Año sin datos	Año sin datos		1,8	8	6 a 8,11	8,10	8	7 a 10
1985	8	Año sin datos	8	5 a 10	Año sin datos	Año sin datos			8	8	8	8	
1986	8	Año sin datos		8	Año sin datos	Año sin datos		1,5 a 8	5,6,8	8	6 a 12	8	
1987					Año sin datos	Año sin datos			8	8	1 a 10	8	
1988					Año sin datos	Año sin datos		11			4 a 8,10		
1989					1 a 9				8		1 a 11		
1990	2	1,5,10			1,3 a 12						1 a 10,12		4,5
1991					Año sin datos	Año sin datos					Año sin datos		
1992					Año sin datos	Año sin datos		7,8		11	Año sin datos		7

Obs: h, cota de la estación meteorológica; n° de Hoja 1:25000 en que se sitúa la estación meteorológica.

Tabla T2. Meses sin registro pluviométricos

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
C 649-I h = 24 m Hoja: 1107-II													
C 636-k h = 690 m Hoja: 1107-I	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	1 a 10		9	2, 11	2	Año sin dato
C 623-i h = 1240 m Hoja: 1107-I		10,12	9 a 12	1 a 3	4 a 9	7 a 12	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato	Año sin dato

Obs: h, cota de la estación meteorológica; n° de Hoja 1:25000 en que se sitúa la estación meteorológica.

Tabla T3. Meses sin registro termométricos

Estación	C 639-0 h = 15 m Hoja: 1107-IV	C 649-i h = 24 m Hoja: 1107-II	C 639-p h = 30 m Hoja: 1107-IV	C 649-w h = 50 m Hoja: 1104-IV	C 649-f h = 100 m Hoja: 1107-II	C 639-q h = 125 m Hoja: 1107-IV	C 649-u h = 150 m Hoja: 1107-IV	C 638-i h = 340 m Hoja: 1107-I	C 636-j h = 600 m Hoja: 1107-I	C 646-e h = 690 m Hoja: 1107-II	C 623-i h = 1240 m Hoja: 1107-I
C 639-o		0.5092	0.9321	0.4251	0.6384	0.9576	0.4221	0.5074	0.5953	0.5516	0.5023
C 649-i			0.8615	0.6647	0.7348	0.8559	0.7619	0.3962	0.5098	0.5987	0.4621
C 639-p				0.5745	Sin correlacionar	Sin correlacionar	Sin correlacionar	0.3308	Sin correlacionar	Sin correlacionar	Sin correlacionar
C 649-w					0.6037	0.4605	0.7443	0.4068	0.4425	0.5761	0.3966
C 649-f						0.6612	0.6506	0.6229	0.648	0.7468	0.5689
C 639-q							0.5175	0.4224	0.6799	0.4827	0.7051
C 649-u								0.3947	0.4331	0.6322	0.4074
C 638-i									0.6642	0.6602	0.5684
C 636-j										0.7351	0.7026
C 646-e											
C 623-i											

Obs: h, cota de la estación meteorológica; n° de Hoja 1:25000 en que se sitúa la estación meteorológica.

Tabla T4. Matriz de correlaciones diarias de los datos pluviométricos.

Estación	C 649-i h = 24 m Hoja: 1107-II	C 646-k h = 690 m Hoja: 1107-I	C 623-I h = 1240 m Hoja: 1107-I
C 639-o		0.865	0.7688
C 646-k			Sin correlacionar
C 623-I			

Obs: h, cota de la estación meteorológica; n° de Hoja 1:25000 en que se sitúa la estación meteorológica.

Tabla T5. Matriz de correlaciones diarias de los datos termométricos.

que se le requieren, en estos casos el relleno de los intervalos remanentes se realizaba con la siguiente estación que ofrecía mayor coeficiente de correlación.

Finalmente se debe observar que, los dominios de los modelos correspondientes a los puntos 424320001-Barranco de Las Palmas- y 424360002 -Barranco Hondo- se extienden desde una altitud de 1100 m, aproximadamente, a los 240 m y 100 m, respectivamente. Evidentemente la precipitación y la temperatura ofrecen un gran contraste entre los distintos ámbitos de cada cuenca, pues ambas variables meteorológicas guardan una estrecha relación con la cota. Debido a ello se procuraron estaciones cuyas temperaturas y/o precipitaciones son representativas de las tres zonas definidas en cada cuenca: alta (cota máxima-900 m), media (900m-300 m) y baja (300 m-cota mínima). Las relaciones entre las superficies de estas zonas y la total del dominio de cada modelo definieron los coeficientes con que se afectó a las series respectivas para obtener las series de temperaturas y precipitaciones medias ponderadas a aplicar en cada simulación.

En la Tabla T6 se indican las estaciones seleccionadas para calcular la precipitación media en cada modelo, los intervalos a modelizar, las estaciones cuyas series permitieron rellenar los intervalos sin datos y las secuencias de relleno en los casos en que se operó de esta manera. La serie de temperatura de la estación C649-i (h=24m) se adoptó para los modelos de los piezómetros 424340008, 42437008 y 424320001 y 424360002 en sus zonas bajas (cota mínima<h<300m), para sus zonas medias (300<h<900m) y altas (900m<h<cota máxima) se utilizaron las series de las estaciones C 636-k (h=690m) y C623-i (h=1240m), respectivamente, el relleno de ambas se realizó con la estación C 649i.

5.4. Información agrícola

El Plan Hidrológico de Gran Canaria, PHGC, (CIGC-COPVA; 1993) mediante una labor exhaustiva ha identificado las dotaciones aplicadas en la isla y las ha discrimina por: tipo de cultivo, altitud en que se desarrolla la actividad –en escalones de 50 m- y término municipal. El PHGC ofrece, además, las dotaciones en volumen total mensual y, en correspondencia con la citada ordenación, da la superficie en que se aplica cada dotación. Las Hojas 1:25000 del IGN ofrecen el soporte para poder cuantificar en los dominios de cada modelo las superficies de cultivo por intervalo de cota de terreno y por término municipal. La información cartográfica digitalizada que suministró la oficina del IGME en Gran Canaria permitió identificar el tipo de cultivo en cada caso y realizar las convenientes correcciones en cuanto a la extensión de los mismos. La dotación media para cada modelo se evaluó ponderando las distintas dotaciones -identificadas acorde los criterios del PHGC- con relación a la superficie cultivada total. En la Tabla T7 se expone la información extraída del PHGC que se utilizó para calcular las dotaciones medias, las cuales se ofrecen en la Tabla T8.

Estación con serie a rellenar (cota estación)	Modelo de Balance Hídrico (cota piezómetro)	Años hidrológicos a modelizar	Zona (cota)	Estaciones con las series de referencia		
				1ª Secuencia (cota estación)	2ª Secuencia (cota estación)	3ª Secuencia (cota estación)
C 649i (h = 24 m)	424280006 (h = 49 m)	1984/85-1989/90	-	-	-	-
	424340008 (h = 51 m)	1984/85-1990/91	-	-	-	-
C 649-f (h = 100 m)	424330014 (h = 143 m)	1980/81-1991/92	-	C 649-i (h = 24 m)	-	-
	424330025 (h = 105 m)	1980/81-1990/91	-			
	424330034 (h = 150 m)	1980/81-1991/92	-			
C639-o (h = 15 m)	424370008 (h = 51 m)	1980/81-1991/92	-	C 649-f (h = 100 m)	C649-I (h = 24 m)	-
C639-o (h = 15 m)	424320001 (h = 240 m)	1980/81-1991/92	Baja (240m<h<300m)	C649-i (h = 24 m)	-	-
	424360002 (h = 100 m)	1980/81-1983/84 1985/86-1989/90	Baja (100m<h<300m)			
C 636-j (h = 600m)	424320001 (h = 240 m)	1980/81-1991/92	Media (300m<h<600m)	C 646-e (h = 690 m)	C 623i-I (h = 1240 m)	C 649i (h = 24 m)
	424360002 (h = 100 m)	1980/81-1983/84 1985/86-1989/90				
C 623i-I (h = 1240 m)	424320001 (h = 240 m)	1980/81-1991/92	Alta (900m<h<1116m)	C 646-e (h = 690 m)	C 649i (h = 24 m)	-
	424360002 (h = 100 m)	1980/81-1983/84 1985/86-1989/90	Alta (900m<h<1103m)			

Tabla T6. Sistemática seguida en el relleno de series pluviométricas

Término Municipal	Cultivo	Cota (m)	Superf. (ha)	Dotaciones mensuales (m ³ /mes)												
				Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Agüines	Hortaliza invernadero	0-50	25	34100	34300	10300	9900	0	0	0	0	10500	20600	25200	22800	30600
		50-100	142	186900	191300	58200	57800	8500	7400	4400	61600	118800	142500	127300	169900	
	Hortaliza invernadero	100-150	9	11900	12000	3600	3500	0	0	0	0	3700	7200	8800	8000	10700
		150-200	2	3000	3000	900	900	0	0	0	0	900	1800	2200	2000	2700
Telde	Hortaliza aire libre	200-250	2	2700	2700	800	800	0	0	0	0	800	1600	2000	1800	2400
		50-100	60	90600	89600	24700	20900	0	0	0	0	31300	63300	71300	67400	78900
	Frutales	100-150	25	37800	37400	10300	8700	0	0	0	0	13000	26400	29800	28100	32900
		150-200	1	200	200	300	300	300	300	300	400	300	500	400	300	300
Ingenio	Hortaliza invernadero	50-100	103	142400	143200	43000	41400	0	0	0	0	43900	86100	105100	95200	127500
	Hortaliza invernadero	50-100	47	65300	65700	19700	19000	0	0	0	20100	39500	48200	43700	58500	
Santa Lucía	Hortaliza invernadero	50-100	137	189700	190800	57400	55200	0	0	0	0	58500	114700	140100	126900	169900
	Hortaliza aire libre	50-100	123	190300	187000	50000	40000	0	0	0	68100	138900	152900	146400	164000	

Tabla T7. Dotaciones mensuales evaluadas en el Plan Hidrológico de Gran Canaria

Modelo de Balance Hídrico	Dotaciones mensuales (m ³ /Ha mes)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
424340008	1362.70	1381.49	410.88	394.14	41.33	35.98	21.40	450.98	881.46	1043.42	946.03	1225.13
424330025	1428.38	1424.36	412.46	377.19	4.67	4.67	6.22	469.32	937.28	1096.12	1014.36	1263.48
424330034	1505.98	1490.04	410.36	346.61	0.00	0.00	0.00	517.93	1051.79	1187.25	1119.52	1310.76
424280006	1383.72	1391.76	417.69	402.41	0.00	0.00	0.00	426.34	836.78	1021.31	925.42	1239.19
424370008	1494.23	1479.01	411.01	351.42	0.00	0.00	0.00	511.85	1032.75	1170.55	1103.14	1303.35

Tabla T8. Dotaciones medias en los modelos de Balance Hídrico

6. MODELOS DE BALANCE HÍDRICO

En el presente capítulo se describirán los modelos calibrados tanto en sus características, como en los resultados alcanzados detallando ajustes en entre niveles calculados y medidos y términos de balance y de parámetros resultantes. El análisis global de los resultados del conjunto de los modelos se realizará en el siguiente capítulo. Finalmente, se considera de interés realizar respecto a algunos de los parámetros las siguientes observaciones:

VB demanda que se le defina al modelo el *punto de marchitez*, PM, y la *capacidad de campo*, CC, aunque sólo calibra a este último, pues el intento de abordar la calibración de ambos llevaría a una indeterminación. Así, el hecho de calibrar sólo CC, manteniendo fijo y en un valor arbitrario PM, significa que estrictamente el parámetro sujeto a calibración es la *reserva útil*, $RU=CC-PM$. Debido a ello al analizar los parámetros de los modelos se prestará particular atención a la RU, frente a la CC o el PM. No obstante, alguna idea de los valores umbrales de PM se pueden obtener si se atiende a los requerimientos de ajuste durante la calibración de los valores del estado inicial de humedad del suelo.

VB considera en el modelo de balance hídrico a los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , de percolación en zona vadosa, α_{per} , y del acuífero, α_{acf} . El coeficiente de agotamiento regula la rapidez con la que descarga agua un medio dado, condicionando la curva de agotamiento, o descarga, del hidrograma. Así, α_{hip} y α_{acf} indican la rapidez con que disminuyen la escorrentía subsuperficial y la subterránea, respectivamente, una vez que ambas acuden en sus hidrogramas un evento particular de recarga. El α_{per} condiciona la rapidez con que evoluciona la recarga al acuífero. El coeficiente de agotamiento es proporcional a la permeabilidad, k , del medio e inversamente proporcional a su almacenamiento, S , y a la distancia al punto de descarga. Asimismo, el coeficiente de agotamiento es inversamente al tiempo de semiagotamiento, que se define como intervalo de tiempo en que el caudal de descarga se reduce a la mitad del mismo, tiempos de semiagotamiento altos implican tiempos altos de tránsito en el medio. En el Anexo II se expone y comenta la formulación de los tres coeficientes: α_{hip} , α_{per} , y α_{acf} .

6.1. Modelo Mbh360002 -Barranco Hondo-

El modelo Mbh360002 -Barranco Hondo- se define a partir de la zona de recarga del piezómetro 424360002, se asume que los límites de esta zona de recarga coinciden con los de la cuenca superficial en que se haya enclavado. La cuenca referida es la del Barranco Hondo (ver Figura 2), se extiende desde los 1103 m hasta los 100m -cota del piezómetro-, su superficie es de 5.113 km², su perímetro es

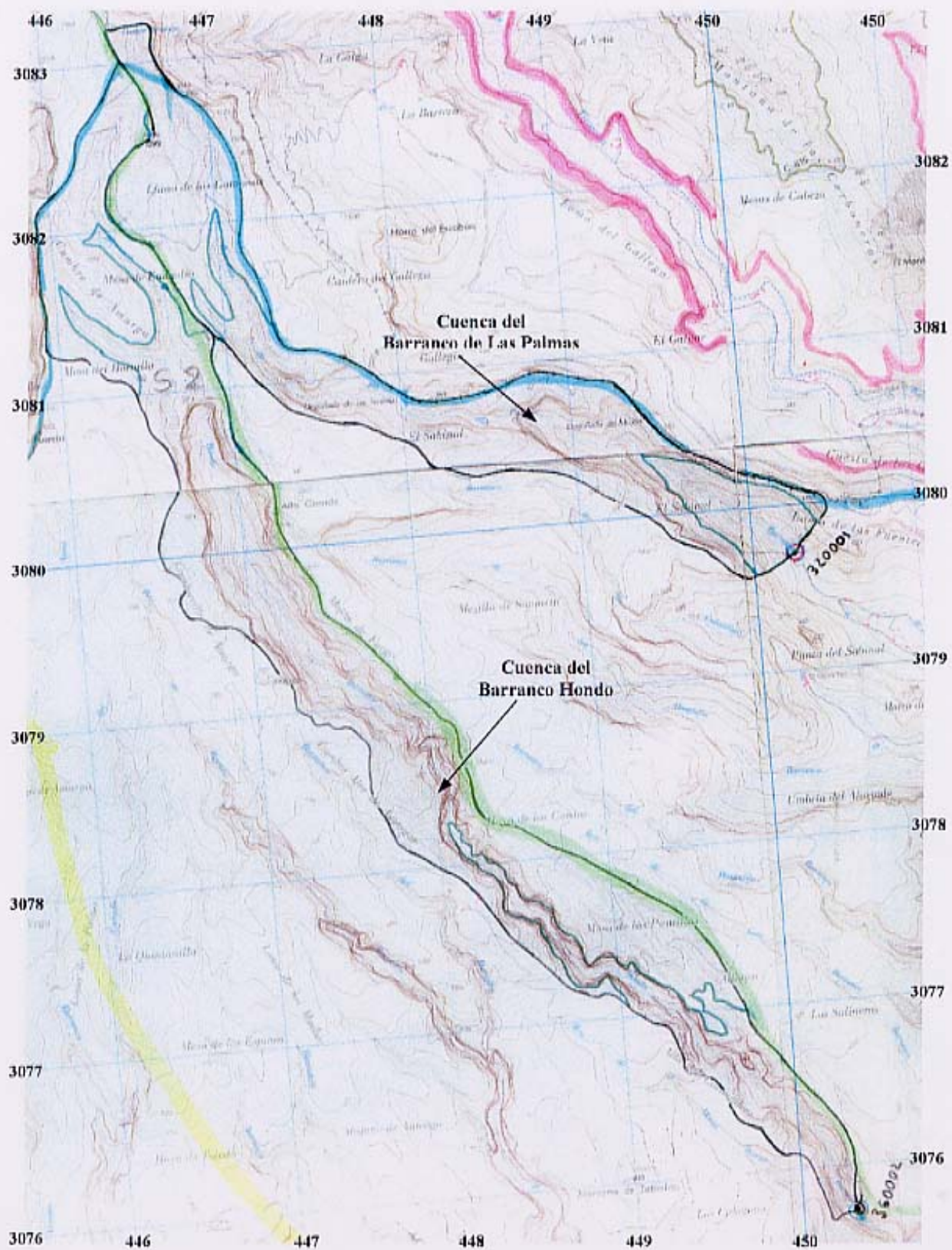


Figura 2. Modelos Mbh360002 -Barranco Hondo- y Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-

19.28 km y la longitud de su cauce principal -desde el emplazamiento del piezómetro hasta su cabecera- es 8.6 km, aproximadamente. La cuenca tiene una forma marcadamente alargada, reflejo de ello es su elevado Índice de Compacidad, $IC = 2.405$. Si bien este parámetro corresponde al análisis de hidrología de superficie, su consideración cualitativa resulta interesante al definir el modelo conceptual de balance o al analizar los resultados. Se adopta como latitud media de la cuenca la de su baricentro, $27^{\circ} 49' 45''$.

La serie de datos del piezómetro 424360002, ver Anexo I, permite identificar dos periodos a modelar claramente definidos, uno que va desde 1980/81 a 1983/84 y en el que existen 14 datos que oscilan entre los 13 y 11 m y otro que se extiende de 1985/86 a 1989/90 con 7 datos que varían entre los 6 y 4.5 m. Los niveles presentan un comportamiento relativamente estable dentro de cada periodo, aunque para el ciclo más reciente los niveles se sitúan en órdenes más bajos que a comienzo de la década de los 80, siguiendo la tendencia histórica común a la piezometría de toda la isla. El primer ciclo permite definir al modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84- y segundo al Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-.

En la Tabla T9 se indican las estaciones meteorológicas que afectan al dominio del modelo. No existe actividad agrícola relevante en la zona.

Variable Meteorológica	Estación	Cota de emplazamiento (msnm)	Superficie de zona de influencia en el modelo (km ²)	Coefficiente de ponderación para cálculo de serie media
Precipitación	C 623-i	1240	0.793	0.155
	C 636-j	600	3.531	0.691
	C639-o	15	0.789	0.154
Temperatura	C 623-i	1240	0.793	0.155
	C 636-k	690	3.531	0.691
	C649-i	24	0.789	0.154

Tabla T9. Estaciones Meteorológicas en el ámbito del modelo Mbh360002 -Barranco Hondo-

6.1.1. Modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-

Las características geométricas de la cuenca han servido de aliciente para realizar dos aproximaciones de modelización del periodo 1980/81-1983/84, una de ellas mediante un modelo unicelular y otra con un modelo compuesto por 5 celdas. Este último se realizó por considerarse que permitía una mejor descripción, en términos de balance, del sistema modelizado debido a la geometría extremadamente alargada de la cuenca.

Calibración: Ajuste de niveles

En las Figuras 3, a y b, se presentan los contrastes entre los hidrogramas medidos y calculados de los modelos uni y multicelular, respectivamente. Se desestimó utilizar en la calibración los primeros tres datos de nivel por considerarse que se encontraban claramente influenciados por bombeos cercanos.

Los ajustes alcanzados entre los niveles medidos y calculados por ambos modelos son similares y ofrecen una buena calidad. Ello se aprecia tanto en las correlaciones de las Figuras 4 a y b, como en los errores medios cuadráticos de una y otra calibración: 16.6 cm, en el modelo unicelular, y 18.67 cm, en el modelo multicelular. Los hidrogramas calculados por ambos modelos poseen morfologías muy similares y se caracterizan por picos de crecida romos –redondeados- y por curvas de agotamiento o descarga de forma cóncava hacia arriba -de giba- producto de tiempos de semiagotamiento altos del flujo hipodérmico y de la percolación a través de la zona no saturada. Esta forma de las curvas de descarga viene claramente definida por los datos medidos en el año 1981, durante el cual se realizó un seguimiento detalle del sondeo.

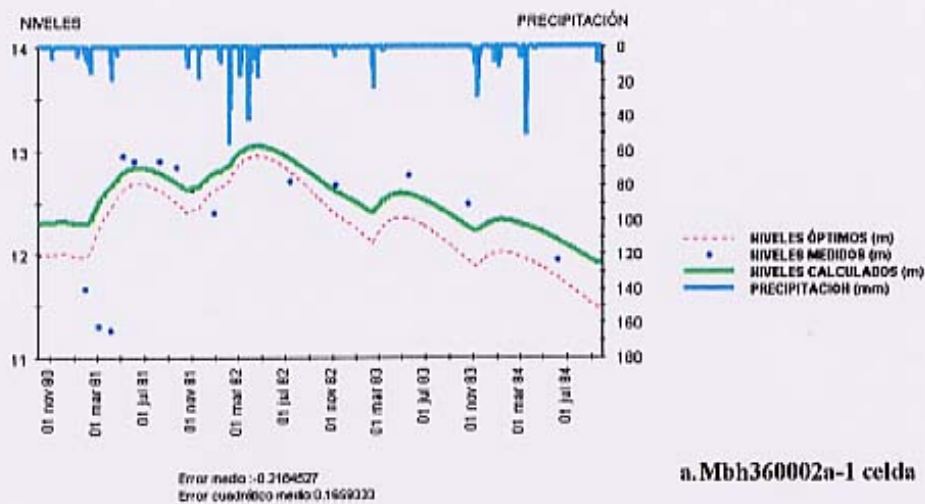
Calibración: Balance Hídrico

En los Cuadros 1 a y b se exponen los valores medio anuales, totales para el período modelado y la evolución mensual en el año medio de los componentes del balance hídrico en los dos modelos: uni y multicelular. En las Figuras 5 a y b se esquematiza el balance medio anual de ambos modelos.

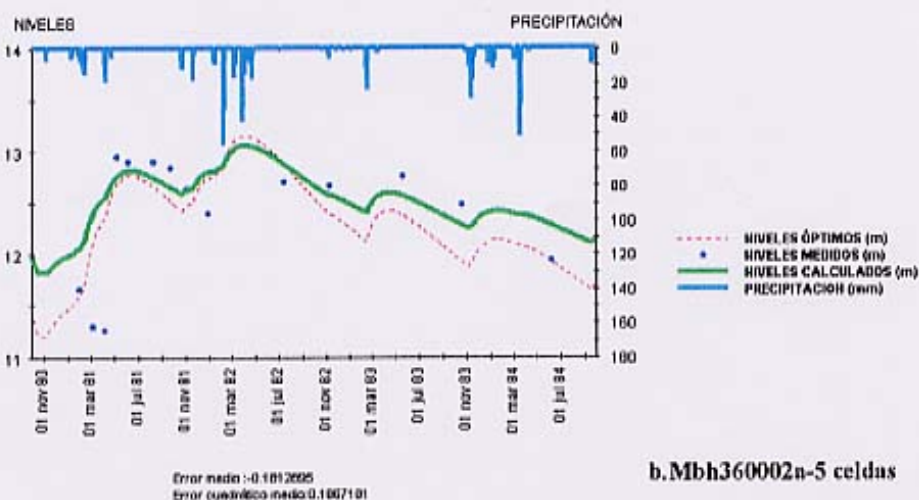
La Evapotranspiración Potencial, ETP, se calculó en ambos modelos mediante el método de Thornthwaite y su valor medio anual, 839.3 mm, es más de cuatro veces la precipitación media anual, 198.7 mm. Los balances hídricos de los dos modelos ofrecen una gran similitud entre sí. Estos se caracterizan por ser la ETR y la escorrentía superficial, las principales salidas del sistema hídrico, con valores cercanos a los 95 mm/año el primero y a los 80 mm/año el segundo, que son aproximadamente el 48% y el 40 % de la precipitación media anual. El flujo hipodérmico y el subterráneo representan en torno al 6% y 5% de la precipitación anual, respectivamente. En la relación entre estos dos componentes los modelos presentan una diferencia, pues en el modelo unicelular el flujo hipodérmico, 9 mm/año, es menor que el subterráneo, 12.8 mm/año, y en el multicelular esta relación se invierte 16mm/año y 7.7 mm/año. No obstante, esta última diferencia entre los modelos es conceptualmente irrelevante.

Los dos modelos ofrecen un esquema conceptual del balance similar:

- una ETR hegemónica en el balance producto de los altos valores de ETP. El valor medio anual en torno a 95 mm/año.



a.Mbh360002a-1 celda



b.Mbh360002a-5 celdas

Figura 3. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Hidrogramas medido y calculado

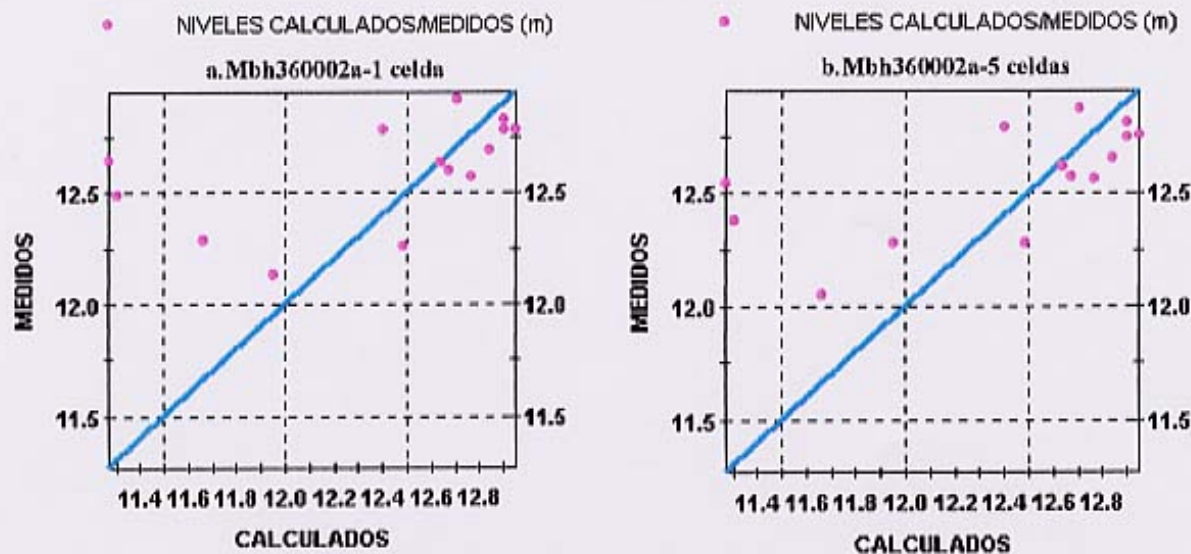


Figura 4. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Correlación de niveles medidos y calculados

- una escorrentía superficial muy alta debido al carácter torrencial de la precipitación que conjuntamente a los altos gradientes topográficos favorecen este rasgo, además de impedir el desarrollo de suelo que podría atemperarlo. El valor medio anual en torno los 80 mm/año.
- un valor medio anual de recarga al acuífero en torno a los 10 mm/año que resultan admisibles.

Calibración: parámetros del modelo

Los parámetros de los que partió el proceso de calibración y los resultantes de la calibración de ambos modelos se presentan en la Tabla T10. Asimismo, se indican las técnicas de cálculo elegidas inicialmente para describir algunos de los procesos del ciclo hidrológico y las técnicas identificadas finalmente como mejores descriptores de dichos procesos.

Los parámetros comunes obtenidos por ambos modelos son similares y, en cuanto a los parámetros del acuífero en que difieren uno y otro, conceptualmente guardan igual analogía. Asimismo, los parámetros de los dos modelos resultan coherentes con el conocimiento que se tiene del medio. Los rasgos medios de la zona de recarga que destacan son los siguientes:

- El suelo edáfico posee un espesor medio es de 50 cm, la porosidad total es de 0.4, la reserva útil, RU, en torno a 19 mm y la conductividad hidráulica del suelo 0.1 m/d.
- La identificación que mecanismo de recarga preferente es a través de fisuras, lo que resulta coherente con la situación de alteración en superficie de la litología de la zona.
- La capacidad máxima de infiltración del suelo en condiciones de CC, 5 mm/d, y de PM, 9.75 mm/d, son característica de medios en con alta escorrentía.
- En la zona no saturada la permeabilidad vertical se reveló como un parámetro irrelevante en el proceso de calibración del modelo. No fue ese el caso de los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , y de percolación, α_{per} , con los que ambos modelos se mostraron particularmente sensibles, ello se evidencia en la fuerte variación que sufren sus tiempos de semiagotamiento durante el proceso de calibración. Los dos modelos obtienen para estos tiempos de semiagotamiento valores de orden similar, en torno a los 4 meses para el flujo hipodérmico y para el de percolación ofrecen una variación entre casi 3 meses, en el modelo unicelular, y 9 meses en el multicelular. Todos estos valores indican tiempos de tránsito relativamente largos, coherentes con la extensión y geometría de la zona de recarga –cuenca del Barranco Hondo-.

Evaluación del Balance Hídrico y determinación de la recarga mediante modelización numérica en pequeñas cuencas del Este de la isla de Gran Canaria

	Media anual en mm	Media anual en Hm³	Total en mm	Total en Hm³
Precipitación	198.7057	1.015982	794.8226	4.063928
Recarga en tránsito	20.44263	0.1045232	81.77052	0.4180927
Flujo preferente	16.49395	8.4334E-02		
Evapotranspiración potencial	839.2718	4.291197		1.921856
Evapotranspiración real	93.9691	0.480464	375.8764	
Dotación	0	0		1.70311
Escorrentía	83.27354	0.4257776	333.0941	0.1845791
Flujo hipodérmico	9.024988	4.6145E-02	36.09995	0.2622905
Caudal subterráneo	12.82469	6.5573E-02	51.29875	2.14998
Caudal total	105.1232	0.537495	420.4929	0.2388621
Recarga al acuífero	11.67915	5.9716E-02	46.71662	0
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tia
ENERO	1.673444	1.673444	10.16042	36.34864	6.824741	0	1.620744
FEBRERO	8.86126	6.132042	56.0518	32.50017	13.56049	0	26.031
MARZO	0.320294	7.7179E-02	48.47255	49.01902	17.78135	0	30.44371
ABRIL	1.403154	1.27607	26.1696	52.24044	17.91089	0	10.64441
MAYO	0	0	0	67.5819	6.426972	0	0
JUNIO	0	0	0	89.41916	1.254766	0	0
JULIO	0	0	0.10087	114.6933	0.10087	0	0
AGOSTO	0	0	0.027335	107.6619	0.027335	0	0
SEPTIEMBRE	1.160848	1.160848	6.622308	101.3091	4.441033	0	0
OCTUBRE	1.573115	1.573115	7.889025	85.45043	4.537438	0	13.83563
NOVIEMBRE	5.335647	4.48638	39.19675	61.01731	16.19437	0	0.6980393
DICIEMBRE	0.1148682	0.1148682	4.01495	42.02897	4.90876	0	

a.Mbh360002a-1 celda

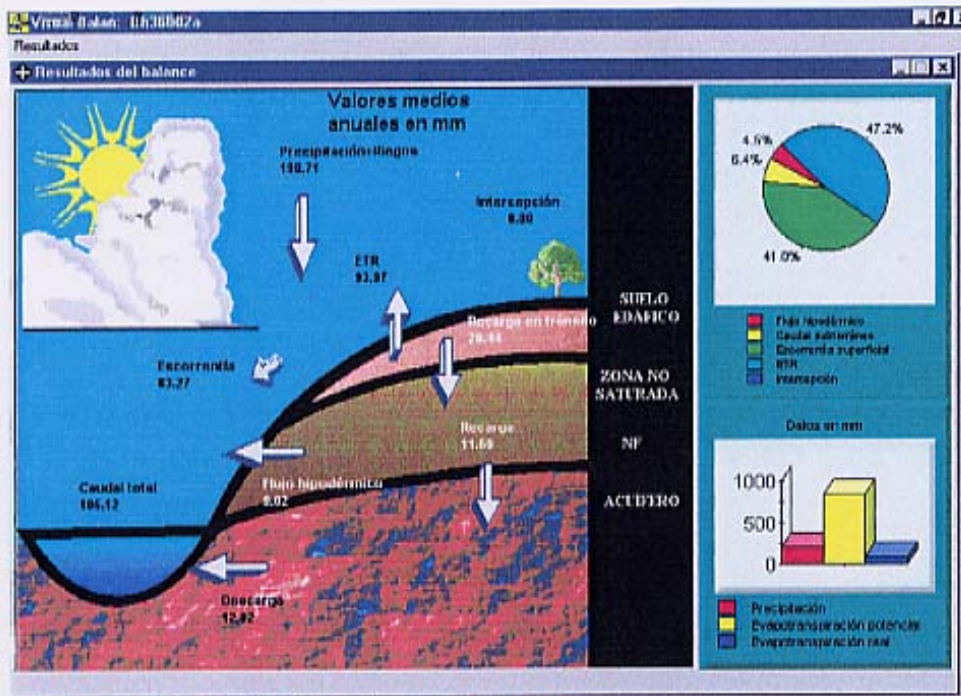
	Media anual en mm	Media anual en Hm³	Total en mm	Total en Hm³
Precipitación	198.7057	1.015982	794.8226	4.063928
Recarga en tránsito	23.69297	0.1211421	94.77187	0.4845686
Flujo preferente	19.0704	9.7507E-02		
Evapotranspiración potencial	839.2718	4.291197		1.958578
Evapotranspiración real	95.76464	0.4896446	383.0586	
Dotación	0	0		1.605367
Escorrentía	78.49438	0.4013418	313.9775	0.3269015
Flujo hipodérmico	15.98384	8.1725E-02	63.93535	0.1574945
Caudal subterráneo	7.70069	3.9374E-02	30.80276	2.089763
Caudal total	102.1789	0.5224408	408.7156	0.154196
Recarga al acuífero	7.53941	0.038549	30.15764	0
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

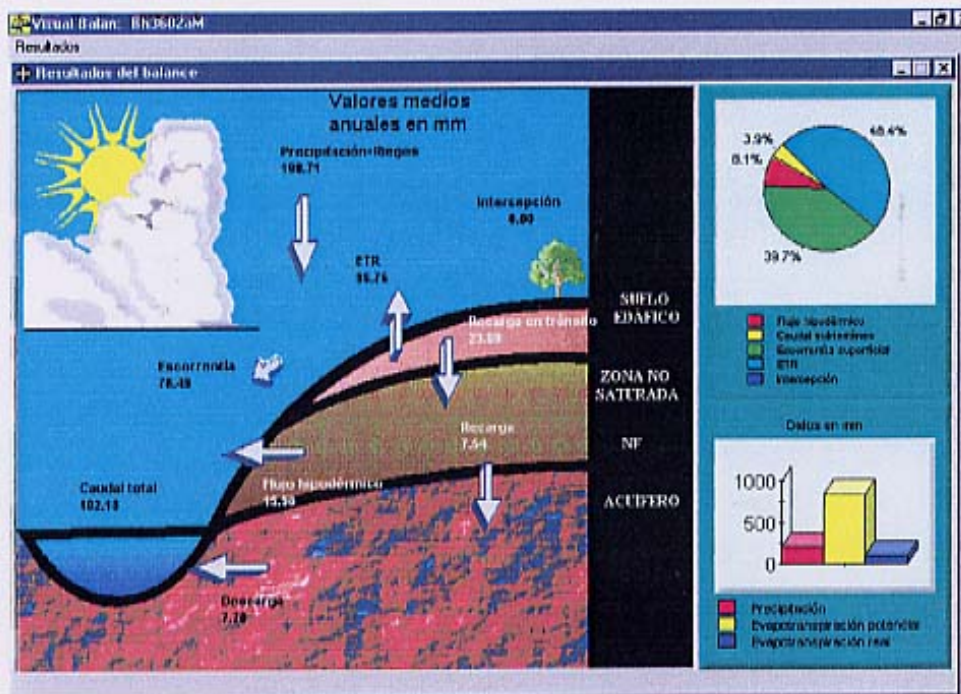
	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tia
ENERO	1.806301	1.806301	10.16042	36.34864	6.892508	0	1.560435
FEBRERO	9.892174	6.79321	56.0518	32.50017	14.43283	0	24.50523
MARZO	0.5572439	0.2691694	48.47255	49.01902	18.24312	0	30.11847
ABRIL	2.471281	2.328214	26.1696	52.24044	18.61158	0	9.032465
MAYO	0	0	0	67.5819	5.803321	0	0
JUNIO	0	0	0	89.41916	0.1356907	0	0
JULIO	0	0	0.10087	114.6933	0.10087	0	0
AGOSTO	0	0	0.027335	107.6619	0.027335	0	0
SEPTIEMBRE	1.152535	1.152535	6.622308	101.3091	4.716351	0	0
OCTUBRE	1.565703	1.565703	7.889025	85.45043	4.708551	0	13.05046
NOVIEMBRE	5.903481	4.811013	39.19675	61.01731	16.68205	0	0.227334
DICIEMBRE	0.3442543	0.3442543	4.01495	42.02897	5.410635	0	

b.Mbh360002a-5 celdas

Cuadro1. Mbh360002a: Balance Hídrico para año medio



a.Mbh360002a-1celda



b.Mbh360002a-5celdas

Figura 5. Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-: Balance Hídrico medio anual

Componente del Balance Hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Valores Iniciales	Modelo Unicelular	Modelo multicelular (5celdas)
Suelo Edáfico	Porosidad Total	0.35	0.4	0.4
	Punto de Marchitez, PM	0.1 (50 mm)	0.05 (25 mm)	0.05 (25 mm)
	Capacidad de Campo, CC	0.3 (150 mm)	0.08876 (44.4 mm)	0.88 (44 mm)
	Reserva Útil, RU= CC-PM	100 mm	19.4 mm	19 mm
	Humedad inicial	0.1 (50 mm)	25 mm	25 mm
	Espesor del suelo	500 mm	No calibrado	No calibrado
	Conductividad Hidráulica	1 m/d	0.1025 m/d	0.0809 m/d
Recarga en Tránsito	Diferida	Método Convencional	Método Modificado	Método Modificado
	Preferente.	Sin Flujo Preferente	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5
Cálculo de Evapotranspiración Real, ETR (Evapotranspiración Potencial, ETP, por Thornthwaite)		Método Exponencial CEME=5 mm	M. Penman Grindley CRPG=5.077mm, CEPG=0.1335	M. Penman Grindley CRPG=5 mm, CEPG=0.1706
Escorrentía Superficial	Infiltración Máxima del suelo en CC	0 mm/d	5.624 mm/d	5.652 mm/d
	Infiltración Máxima del suelo en PM	10 mm/d	9.301 mm/d	10.23 mm/d
Zona No Saturada	Tiempo de semiagotamiento (flujo hipodérmico)	1 día	102.29 días	130.71 días
	Permeabilidad Vertical (zona no saturada)	1 m/d	1 m/d	1m/d
	Tiempo de semiagotamiento (flujo de percolación)	15 días	78.51 días	275.61 días
	Humedad Inicial	10 mm	5 mm	5 mm
Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento	0.03	0.01208	0.0025
	Nivel inicial	11.5	12.3	12, 12.5, 15, 17.5, 20 (nivel inicial en c/celda)
	Nivel de Referencia	11.75	9.303	11.01
	Tiempo de semiagotamiento (flujo de subterráneo)	60 días	770 días	No se calcula
	Transmisividad	100 m ² /d	No se calcula	101.6 m ² /d.

Obs.: en el modelo de 5 celdas se supuso la longitud del acuífero igual a 8500m, coincidente con la longitud del cauce principal.

Tabla T10. Parámetros de la calibración del modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84- versiones uni y multicelular

- En la zona saturada los coeficientes de almacenamiento resultantes son 0.01208, para modelo unicelular, y 0.0025, para el multicelular, este rango es coherente con la litología existente. El nivel de referencia lo sitúan en torno a los 10 m. El modelo multicelular obtiene una transmisividad de 101.6 m²/d, que es coherente con el conocimiento que se tiene del medio. Esta transmisividad, el almacenamiento obtenido y adoptando como longitud del acuífero la del cauce principal, 8650m, y supuesta una constante de proporcionalidad de 2 se calcula, para el modelo multicelular, un coeficiente de agotamiento de 1.08×10^{-3} . El modelo unicelular obtiene un tiempo de semiagotamiento de 770 días que representa un coeficiente de agotamiento 0.9×10^{-3} , prácticamente igual al del otro modelo. Los dos modelos indican que los tiempos de tránsito en los niveles más superficiales del acuífero son interanuales, del orden de los dos años.

El análisis de la calibración en sus distintos aspectos pone en evidencia la igualdad conceptual de ambos modelos.

6.1.2. Modelo Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-

El modelo de balance Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90- se trato con una única celda, al ponerse en evidencia lo superfluo que resulta en este caso la elaboración de un modelo unicelular.

Calibración: Ajuste de niveles

El excelente ajuste que se alcanza en la calibración de este modelo se pone de evidencia al contrastar el hidrograma calculado y los datos -Figura 6-, en la correlación entre los niveles medidos y calculados -Figura 7- y en el bajo error cuadrático medio, 8.2 cm. Sin embargo, esta calidad en el ajuste no implica una superioridad respecto al modelo precedente -periodo 1980/81-1983/84-, por el contrario la misma debe matizarse a causa del número de datos con los que se trabajó.

El primer aspecto que resalta al observar el hidrograma calculado es la diferente morfología del mismo respecto al calculado por los modelos Mbh360002a -Barranco Hondo, 1980/81 a 1983/84-. En este los picos de crecidas son acusados y las curvas de agotamiento o descarga presentan la concavidad hacia abajo, mientras que en los Mbh360002a los "picos" eran redondeados y las curvas de descarga tenían la concavidad hacia arriba. La diferencia entre los dos periodos modelados, y que condiciona los resultados alcanzados, es la densidad de datos: 11 datos en 4 años (2.75 datos/años) en el Mbh360002a y 7 datos en 5 años (1.4 datos/años) en este. Además, con la particularidad, que en el modelo precedente la curva de agotamiento estaba claramente definida por los datos del año 1981 y en este modelo, en el mejor de los casos, la curva de agotamiento llega a contar con dos datos en algún año. La forma de las curvas de agotamiento esta dada por coeficientes de agotamiento del flujo

hipodérmico y percolación dos órdenes de magnitud menor respecto a los de los modelos Mbh360002a.

Calibración: Balance Hídrico

En la Figura 8 se presenta el balance medio anual del modelo y en el Cuadro 2 los valores medios anuales de los componentes del balance, sus valores totales respecto al período modelado y su evolución mensual para el año medio.

Al igual que en el modelo Mbh360002a, la ETP se calculó mediante el método de Thornthwaite y su valor medio anual, 878.2 mm, es más de 3.3 veces el de la precipitación media anual, 265.5 mm. Asimismo, análogamente al anterior modelo, las salidas del balance que más destacan son la ETR y la escorrentía superficial. Sin embargo, a diferencia de aquel modelo, la escorrentía es predominante y representa en el año medio un 51.1 % de la precipitación, mientras que la ETR se halla en el 36 % de la precipitación. Otra diferencia notable es la escorrentía subterránea despreciable, 0.61 mm/año, mientras que el flujo hipodérmico es algo mayor que en el modelo precedente y representa un 12.7 % de la precipitación media anual.

Este modelo ofrece un modelo conceptual de balance hídrico de características similares al resultante de las calibraciones de los Mbh360002a. Entre sus rasgos destacan una escorrentía superficial y una ETR predominante, producto de las características climáticas y orográficas de la zona, y una recarga al acuífero muy baja.

Calibración: parámetros del modelo

Los parámetros iniciales y los resultantes de la calibración se presentan en la Tabla T11. Asimismo, se indican las técnicas de cálculo elegidas inicialmente para describir algunos de los procesos del ciclo hidrológico y las técnicas identificadas finalmente como mejores descriptores de dichos procesos.

Los parámetros iniciales adoptados se corresponden con los resultantes de la calibración del modelo unicelular del Mbh360002a, adoptándose a este último modelo como referente en el análisis de los parámetros calibrados por considerar que sus resultados poseen mayor consistencia que los del presente modelo. Ello es debido a que, suponiendo una igual calidad en los datos que sustentan a uno y otro, la densidad de datos es mayor en el Mbh360002a (2.75 datos/año) que en el Mbh360002b (1.4 datos/año). Los parámetros calibrados en el presente modelo ofrecen las características siguientes:

- El suelo edáfico posee una Reserva Útil (14mm) que es un 30 % menor a la obtenida en el Mbh360002a y una Conductividad Hidráulica (5 mm/d) que es menor en un orden de magnitud de la alcanzada en aquel modelo. Ambas características dotan al suelo en el Mbh360002b de una

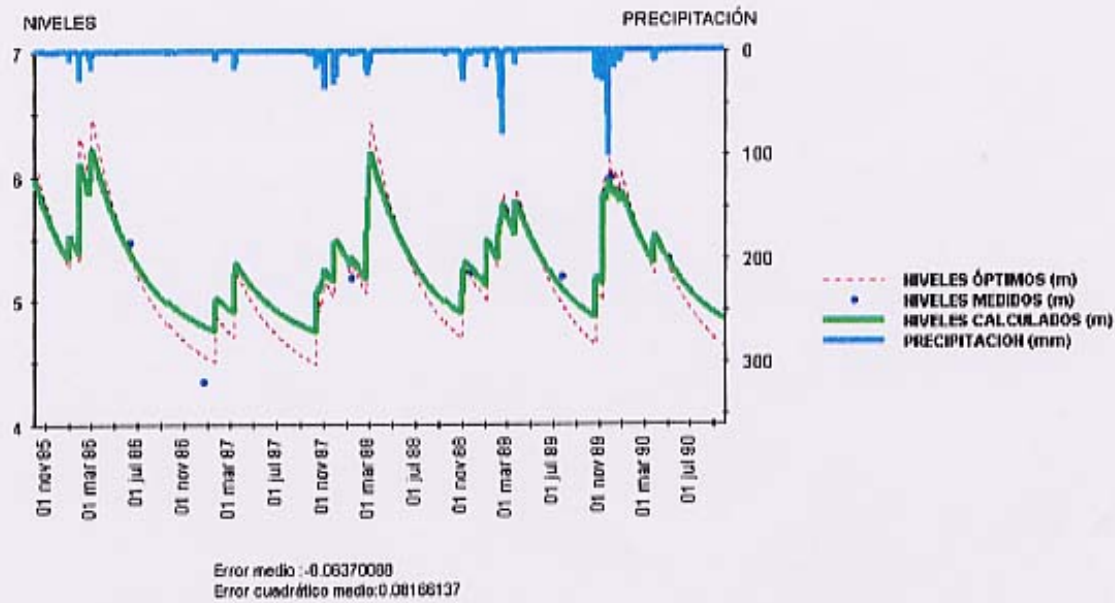


Figura 6. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Hidrogramas medido y calculado

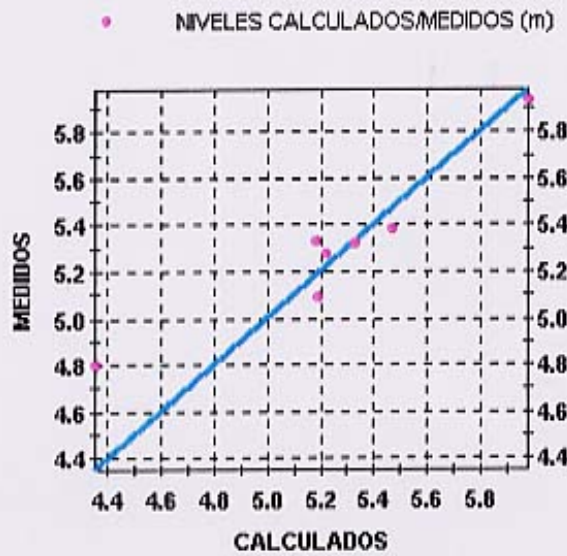


Figura 7. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Correlación de niveles medidos y calculados

Evaluación del Balance Hídrico y determinación de la recarga mediante modelización numérica en pequeñas cuencas del Este de la isla de Gran Canaria

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	265.4846	1.357423	1327.423	6.787114
Recarga en tránsito	33.35986	0.1705689	166.7993	0.8528448
Flujo preferente	24.69589	0.1262701		
Evapotranspiración potencial	878.1586	4.490025		
Evapotranspiración real	95.8704	0.4901854	479.352	2.450927
Dotación	0	0		
Escorrentía	136.2543	0.6966685	681.2717	3.483342
Flujo hipodérmico	33.8143	0.1728925	169.0715	0.8644627
Caudal subterráneo	0.6063686	3.1004E-03	3.031843	1.5502E-02
Caudal total	170.675	0.8726614	853.3751	4.363307
Recarga al acuífero	0.5455503	2.7894E-03	2.727751	1.3947E-02
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tía
ENERO	6.387421	5.709262	19.41606	33.7281	10.47558	0	1.569622
FEBRERO	7.172534	4.10096	62.45721	36.1908	12.33959	0	40.64286
MARZO	5.759909	3.69696	26.40074	54.76849	17.92836	0	6.161498
ABRIL	4.2030E-03	4.2030E-03	0.9511701	52.15619	4.692487	0	0
MAYO	0	0	1.02101	69.39014	1.02101	0	0
JUNIO	0	0	0	86.7103	0	0	0
JULIO	0	0	0	123.9312	0	0	0
AGOSTO	0	0	0.03388	135.8768	0.03388	0	0
SEPTIEMBRE	0.1718459	0.1718459	3.26956	110.6781	3.097714	0	0
OCTUBRE	4.091387	4.091387	21.7561	81.52822	8.675575	0	5.947893
NOVIEMBRE	7.465217	5.528063	100.7571	53.78745	23.05621	0	68.55777
DICIEMBRE	2.307339	1.385206	29.4136	39.41158	14.54986	0	13.37471

Cuadro 2. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Balance Hídrico para el año medio

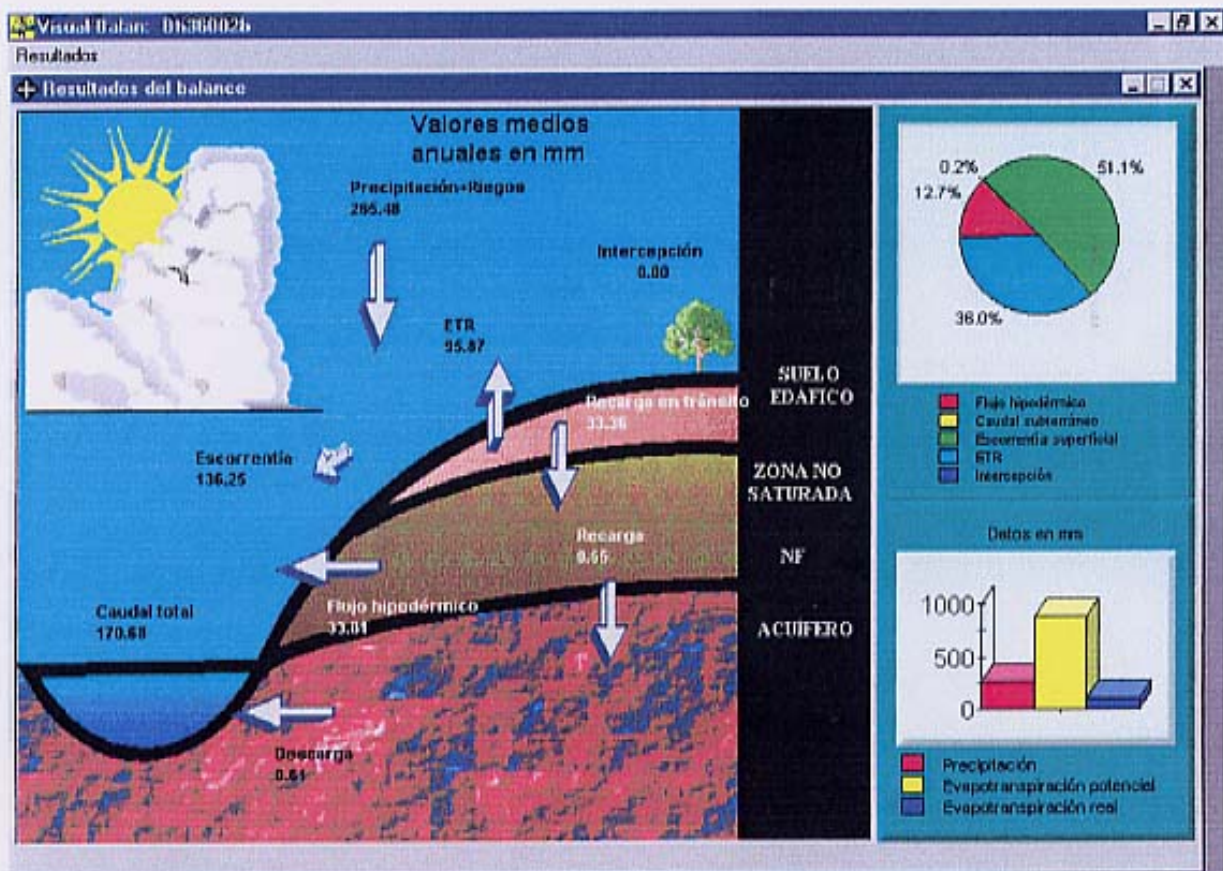


Figura 8. Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-: Balance Hídrico medio anual

Componente del Balance Hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Valores Iniciales	Modelo Unicelular
Suelo Edáfico	Porosidad Total	0.4	0.4
	Punto de Marchitez, PM	0.05 (25 mm)	0.05 (25 mm)
	Capacidad de Campo, CC	0.2 (100 mm)	0.0776 (\approx 39 mm)
	Reserva Útil, RU= CC-PM	75 mm	\approx 14 mm
	Humedad inicial	0.05 (25 mm)	25 mm
	Espesor del suelo	500 mm	No se calibra
	Conductividad Hidráulica	1 m/d	0.005 m/d
Recarga en Tránsito	Diferida	Método Modificado	Método Modificado
	Preferente.	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5	No se calibra
Cálculo de Evapotranspiración Real, ETR (Evapotranspiración Potencial, ETP, por Thornthwaite)		M. Penman Grindley CRPG=5.mm, CEPG=0.25	No se calibra
Escorrentía Superficial	Infiltración Máxima del suelo en CC	5 mm/d	3.446 mm/d
	Infiltración Máxima del suelo en PM	15 mm/d	14.78 mm/d
Zona No Saturada	Tiempo de semiogotamiento (flujo hipodérmico)	180 días	0.727 día \approx 1 día
	Permeabilidad Vertical (zona no saturada)	1 m/d	1 m/d
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de percolación)	150 días	2.07 días
	Humedad Inicial	5 mm	5 mm
Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento	0.02	0.0034
	Nivel inicial	5.75 m	No se calibra
	Nivel de Referencia	5.75 m	4.594 m
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de subterráneo)	770 días	96.77 días

Obs.: en el modelo de 5 celdas se supuso la longitud del acuífero igual a 8500m, coincidente con la longitud del cauce principal.

Tabla T11. Parámetros de la calibración del modelo Mbh360002b -Barranco Hondo, 1985/86 a 1989/90-

menor capacidad de cesión de humedad, ello aunado a las características climáticas de la zona, repercute en la reducción en términos porcentuales respecto a la precipitación que sufre en este la ETR respecto a la del Mbh360002a, del 48% al 36%.

- La Capacidad Máxima de Infiltración del suelo en condiciones de CC (3.446 mm/día) y de PM (14.78 mm/día), significan una reducción de 40% y un incremento del 50 % respecto a los correspondientes valores obtenidos en el Mbh360002a. Las características torrenciales de las precipitaciones y la menor RU del suelo, hace que ante un evento de lluvia enseguida se alcancen las condiciones de Capacidad de Campo produciéndose un fuerte incremento de la escorrentía superficial. Este hecho explicaría el incremento en términos porcentuales respecto a la precipitación que sufre la escorrentía superficial en este modelo (51.1%) frente al Mbh360002a (41%).
- Los tiempos de semiagotamiento del flujo hipodérmico (0.73 días), de percolación (2.1 días) y del flujo subterráneo (97 días) implican una reducción en 3, 2 y 1 orden de magnitud, respectivamente, en cuanto a los obtenidos en el Mbh360002a. Los dos primeros tiempos son los que imponen el cambio morfológico que sufre la curva de agotamiento –concavidad hacia abajo– que es el rasgo en el que es más acusada la diferencia entre los hidrogramas de los dos modelos. No obstante, se considera que la escasez de datos resta consistencia a la caracterización del Mbh360002b. Los dos primeros tiempos hablan de tiempos de tránsito muy bajos por la zona no saturada, mientras que en el caso de los niveles más superficiales del flujo subterráneo se sugieren tiempos de tránsito, al menos, interestacionales.

6.2. Modelo Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-

El modelo Mbh320001 -Barranco de Las Palmas- se define a partir de la zona de recarga del piezómetro 424310001. Los límites de esta zona de recarga del piezómetro se hacen coincidir con los de la cuenca superficial del Barranco de las Palmas (ver Figura 2), se extiende entre los 1116 m -en cabecera- y los 240m –cota del punto de observación-, su superficie es de 2.595 km², su perímetro es 12.126 km y la longitud de su cauce principal -desde donde se sitúa el piezómetro hasta su cabecera- es 5.2 km, aproximadamente. La cuenca tiene una forma marcadamente alargada, con un elevado Índice de Compacidad, IC = 2.123. Al igual que en el modelo Mbh360002 la consideración cualitativa de este parámetro, que corresponde a un análisis de hidrología superficial, resulta interesante al definir el modelo conceptual de balance o al analizar los resultados. Se adopta como latitud media de la cuenca la de su baricentro, 27° 50' 55".

La serie de datos del piezómetro 424320001 posee 20 registros durante el período 1980/81-1990/91, que es el seleccionado para modelizar. Los niveles varían entre los 22 y los 18 m, aproximadamente. Sin embargo, se desestimaron 5 registros por encontrarse bajo la influencia de bombes, 4 tres de ellos fueron medidos durante 1981 y el cuarto en 1991.

En la Tabla T12 se indican las estaciones meteorológicas que afectan al dominio del modelo. No existe actividad agrícola relevante en la zona.

Variable Meteorológica	Estación	Cota de emplazamiento (msnm)	Superficie de zona de influencia en el modelo (km ²)	Coefficiente de ponderación para cálculo de serie media
Precipitación	C 623-i	1240	0.783	0.302
	C 636-i	600	1.475	0.568
	C639-o	15	0.337	0.130
Temperatura	C 623-i	1240	0.783	0.302
	C 636-k	690	1.475	0.568
	C649-i	24	0.337	0.130

Tabla T12. Estaciones Meteorológicas en el ámbito del modelo Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-

Calibración: Ajuste de niveles

La calibración del modelo alcanza un buen ajuste entre los niveles medidos y calculados, ello se puede apreciar gráficamente en el contraste entre el hidrograma calculado y los registros del piezómetro (Figura 9) y en la correlación entre niveles medidos y calculados (Figura 10) y numéricamente en el bajo error cuadrático medio del ajuste, 16.5 cm, respecto al intervalo de variación de los niveles.

El hidrograma calculado presenta las características siguientes:

- El modelo reproduce adecuadamente la tendencia histórica descendente de la piezometría, acusando la estabilización de los últimos años. No obstante, el hablar en términos de tendencia, ya sean estas descendente, de estabilización o de recuperación, debe hacerse matizadamente habida cuenta de la escasez de datos.
- El modelo indica que la escorrentía subterránea es sensible a la evolución de las precipitaciones. En particular, al final del período modelado se produce una recuperación de los niveles de casi 2 m, como respuesta al mayor pico de precipitaciones registrado durante el período modelado, el cual estuvo inmediatamente precedido de un ciclo seco.

Calibración: Balance Hídrico

En la Figura 11 se presenta el balance medio anual del modelo y en el Cuadro 3 los valores medios anuales de los componentes del balance, sus valores totales respecto al período modelado y su evolución mensual para el año medio.

La ETP media anual, 857.8 mm, fue evaluada por Thornthwaite, y es notablemente superior a la precipitación media anual, 305.2 mm. El salida más importante del balance es la escorrentía superficial (171.2mm/año), seguido por la ETR (105mm/año) y representan, en términos porcentuales respecto a la precipitación media, el 56.1% y el 34.4%, respectivamente. El flujo subsuperficial o hipodérmico (21.1 mm/año) es algo más importante que la escorrentía subterránea (8mm/año), aunque ambos son elementos minoritarios en el balance. La recarga media anual del acuífero que se valora en 8.3 mm/año.

Calibración: Parámetros del modelo

Los parámetros iniciales y los resultantes de la calibración se presentan en la Tabla T13. Se indican las técnicas de calculo elegidas inicialmente para describir algunos de los procesos del ciclo hidrológico y las técnicas identificadas finalmente como mejores descriptores de dichos procesos.

Los parámetros resultantes de la calibración del modelo son coherentes con el conocimiento que se tiene del medio y ofrecen características similares a los de los modelos Mbh360002, hecho que resulta lógico dada la similitud de ambas cuencas. Los rasgos medios de la zona de recarga que destacan son los siguientes:

- Al suelo edáfico se le asignó un espesor medio de 50 cm, este parámetro no estuvo sujeto a calibración por considerarlo coherente con el conocimiento del medio, por otro lado fue validado en la calibración de los modelos Mbh360002 cuyo dominio –cuenca del Barranco Hondo- es similar a la de este modelo –cuenca del Barranco de Las Palmas-. Resultantes de la calibración fueron la porosidad total (0.4), la RU (30. mm) y la conductividad hidráulica (20.3 m/d). Este último parámetro puede resultar, quizás, algo elevado, mientras que los dos primeros son iguales o del orden que los del Mbh360002.
- La recarga preferente se calculó suponiendo que se produce por fisuración, siendo ello coherente con la alteración superficial de la litología de la zona.
- La capacidad máxima de infiltración del suelo en condiciones de CC, 0 mm/d, y de PM, 9 mm/d, es característica de medios en con alta escorrentía. Ello se evidencia en la preponderancia de la escorrentía superficial en el balance hídrico, por otro lado resulta coherente con las características torrenciales de las precipitaciones y la orografía abrupta de la cuenca.
- En la zona no saturada la permeabilidad vertical es un parámetro irrelevante en la calibración del modelo. El modelo sí es sensible a los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , y de percolación, α_{per} , pues sufren notables variaciones durante el proceso de calibración. El tiempo

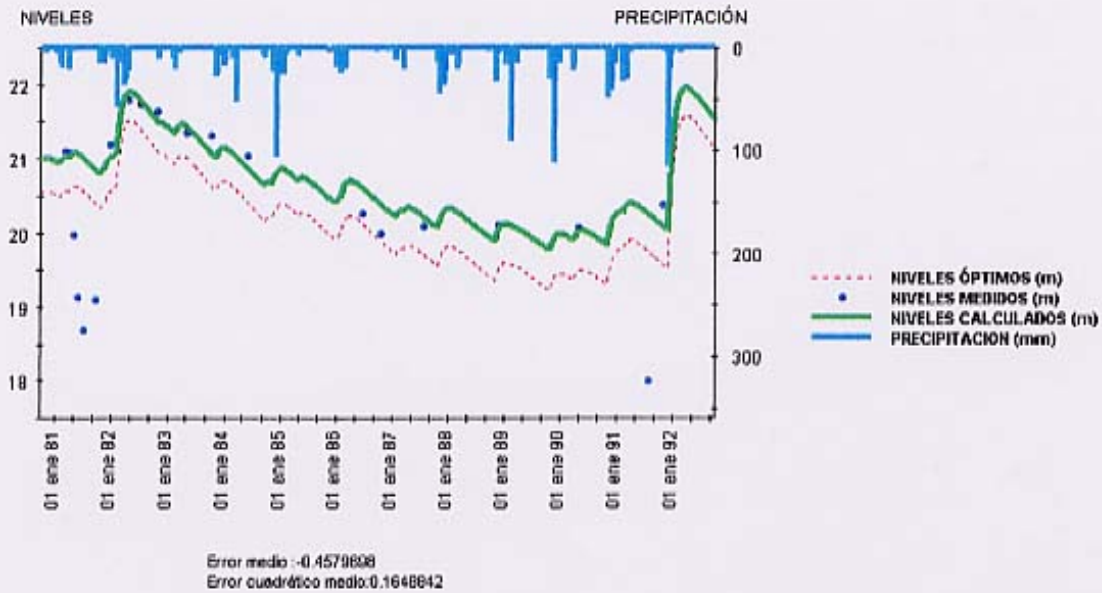


Figura 9. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Hidrogramas medido y calculado

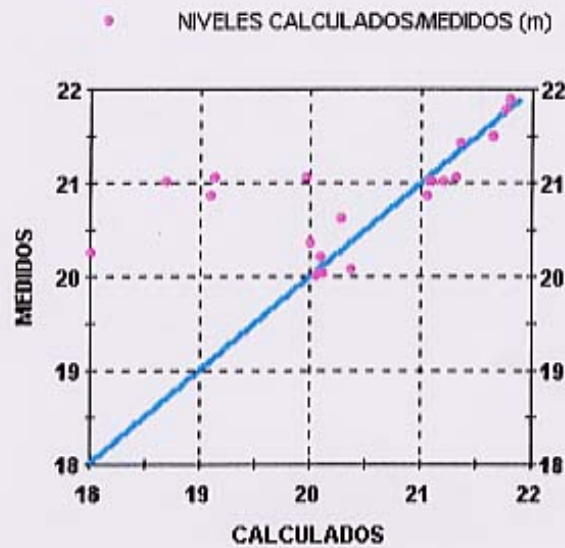


Figura 10. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Correlación de niveles medidos y calculados

Evaluación del Balance Hídrico y determinación de la recarga mediante modelización numérica en pequeñas cuencas del Este de la isla de Gran Canaria

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	305.2464	0.7921145	3662.957	9.505374
Recarga en tránsito	29.06725	7.5430E-02	348.807	0.9051542
Flujo preferente	23.36307	6.0627E-02		
Evapotranspiración potencial	857.8238	2.226053		
Evapotranspiración real	104.9452	0.2723328	1259.342	3.267993
Dotación	0	0		
Escorrentía	171.2344	0.4443533	2054.813	5.33224
Flujo hipodérmico	21.14489	5.4871E-02	253.7386	0.6584517
Caudal subterráneo	7.873743	2.0432E-02	94.48492	0.2451884
Caudal total	200.2529	0.5196562	2403.035	6.235875
Recarga al acuífero	8.337338	2.1635E-02	100.0481	0.2596247
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tia
ENERO	2.401008	2.362472	22.03782	33.94898	10.42324	0	7.424102
FEBRERO	5.689747	3.510724	57.63968	33.22905	12.97963	0	35.22694
MARZO	1.269303	1.269165	37.51841	50.07801	17.59834	0	21.77834
ABRIL	1.093536	1.093536	12.99347	51.95392	13.43488	0	5.846014
MAYO	0	0	0.5413833	68.2511	8.255252	0	0
JUNIO	0	0	4.6583E-02	88.97611	0.6135429	0	0
JULIO	0	0	2.8167E-02	119.2833	2.8167E-02	0	0
AGOSTO	0	0	0.0195	123.0255	0.0195	0	0
SEPTIEMBRE	0.5479856	0.5479856	4.006534	108.3377	3.202277	0	0
OCTUBRE	3.313879	3.313879	13.68217	83.10639	6.155606	0	0.271935
NOVIEMBRE	6.880299	6.266663	74.03062	57.54271	19.07061	0	40.05345
DICIEMBRE	7.871495	4.998647	82.70225	40.094	13.16383	0	60.63365

Cuadro 3. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Balance Hídrico para el año medio

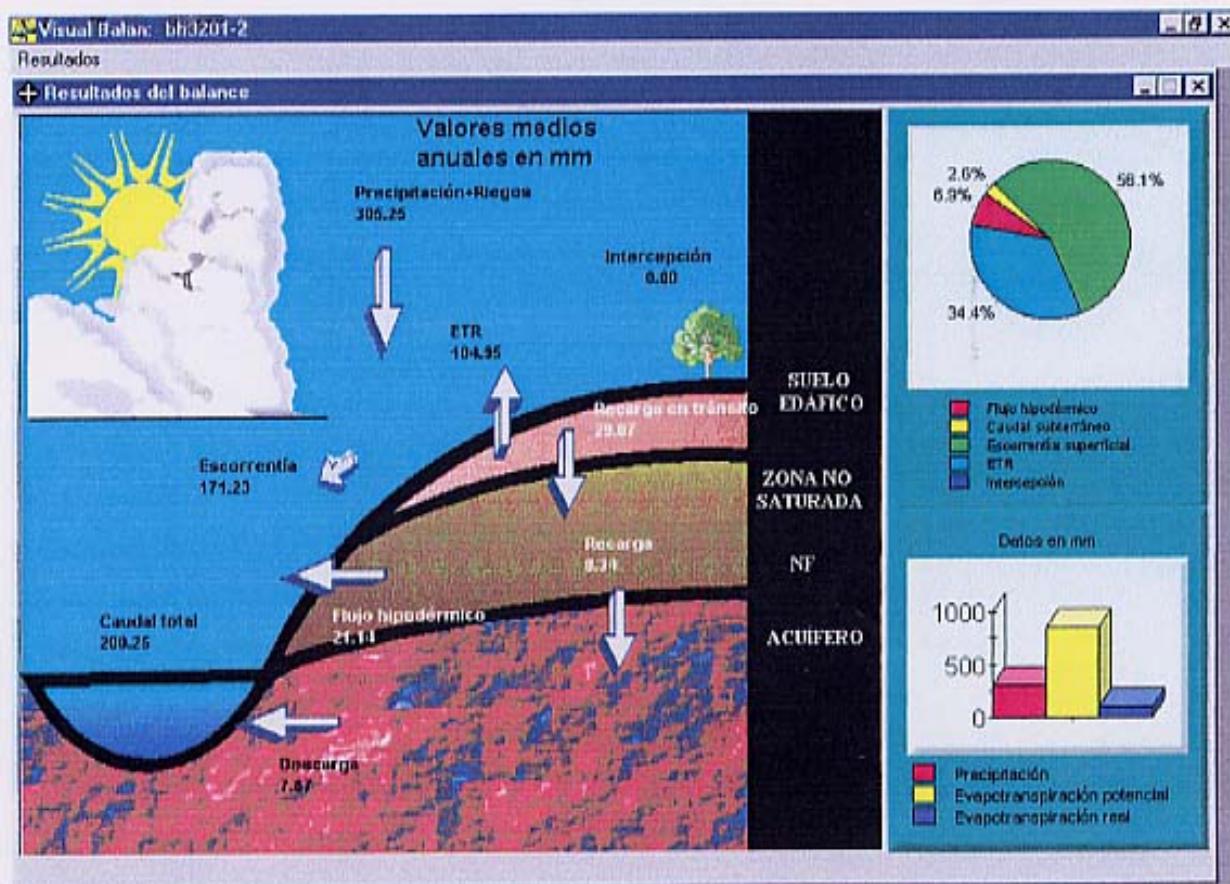


Figura 11. Mbh320001 -Barranco de Las Palmas-: Balance Hídrico medio anual

Componente del Balance Hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Valores Iniciales	Modelo Unicelular
Suelo Edáfico	Porosidad Total	0.3	0.4
	Punto de Marchitez, PM	0.05 (25 mm)	0.05 (25 mm)
	Capacidad de Campo, CC	0.2 (100 mm)	0.11054 (55.3 mm)
	Reserva Útil, RU= CC-PM	75 mm	30.3 mm
	Humedad inicial	0.05 (25 mm)	25 mm
	Espesor del suelo	500 mm	No se calibra
	Conductividad Hidráulica	1 m/d	0.0203 m/d
Recarga en Tránsito	Diferida	Método Modificado	No se calibra
	Preferente.	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5	No se calibra
Cálculo de Evapotranspiración Real, ETR (Evapotranspiración Potencial, ETP, por Thornthwaite)		M. Penman Grindley CRPG=5.mm, CEPG=0.25	M. Penman Grindley CRPG=4.372 mm, CEPG=0.2527
Escorrentía Superficial	Infiltración Máxima del suelo en CC	5 mm/d	0 mm/d
	Infiltración Máxima del suelo en PM	15 mm/d	8.957 mm/d
Zona No Saturada	Tiempo de semiogotamiento (flujo hipodérmico)	180 días	35.2 días
	Permeabilidad Vertical (zona no saturada)	1 m/d	1 m/d
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de percolación)	150 días	87.4 días
	Humedad Inicial	5 mm	No se calibra
Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento	0.01	0.0105
	Nivel inicial	21 m	No se calibra
	Nivel de Referencia	19 m	17.74 m
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de subterráneo)	1000 días	1000 días

Tabla T13. Parámetros de la calibración del modelo Mbh320001 –Barranco de Las Palmas-

de semiogotamiento del flujo hipodérmico es algo superior al mes y el de del flujo hipodérmico es de, aproximadamente, 3 meses. Estos valores indican tiempos de tránsito apreciables, coherentes con la extensión y geometría de la zona de recarga –cuenca del Barranco Las Palmas-, ello es análogo a lo que se pudo apreciar en el modelo Mbh360002.

- En la zona saturada el coeficiente de almacenamiento que se obtiene es de 0.0105 y el nivel de referencia es 17.74 m, este último es producto de la tendencia interanual descendente de los niveles datos. El tiempo de semiagotamiento alcanza casi los 3 años, ello indica tiempos de tránsito elevados para la escorrentía subterránea en sus niveles más superficiales, es de suponer que estos tiempos se incrementan proporcionalmente con la profundidad de circulación del flujo.

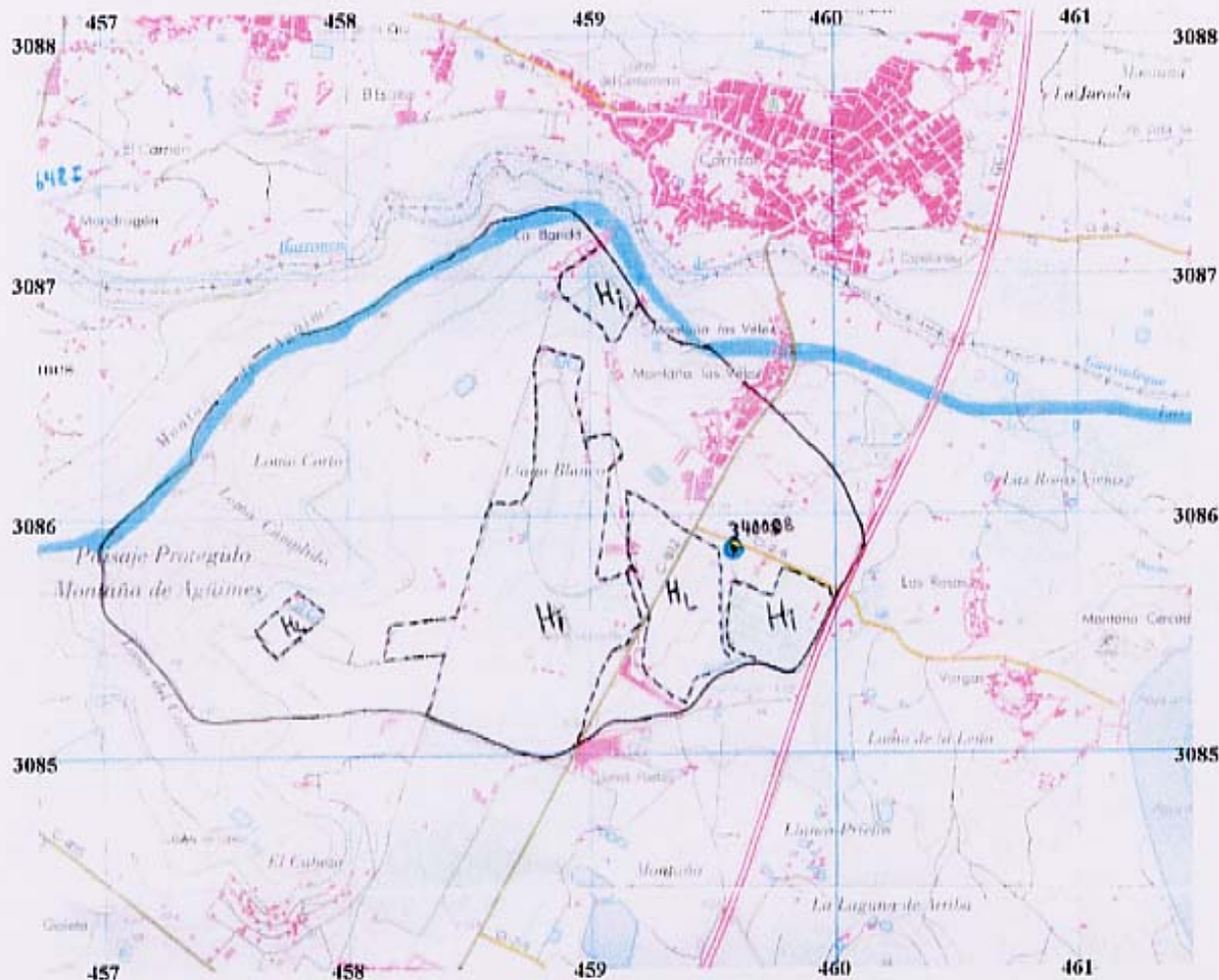
6.3. Modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

El piezómetro 424340008 se halla enclavado en una pequeña cuenca costera (Figura 12), el dominio del modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez- comprende, como zona de recarga, la superficie de la cuenca situada aguas arriba del piezómetro. Sin embargo, al situarse este en una plana y por desarrollarse en sus inmediaciones una importante actividad agrícola, se consideró que los niveles registrados podían encontrarse influenciados por los retornos de los regadíos cercanos, debido a ello se decidió extender el dominio del modelo a lo que se consideró como zona de influencia inmediata sobre el piezómetro (Ver Sección 3). La superficie del dominio del modelo es de 4.6356 km² (ver Figura 12), el perímetro del mismo 8.54 km y el Índice de Compacidad es 1.119. Se adopta como latitud media del dominio la de su baricentro, 27° 53' 55". El período modelado se extiende desde 1984/85 a 1990/91 y en el mismo se dispone de 9 datos de niveles.

La cota de emplazamiento del piezómetro es de 51 m. El modelo se encuentra se encuentra bajo la influencia de la estación C 649-i (cota 24 m), tanto para la precipitación como para la temperatura. Esta estación es completa y corresponde al aeropuerto de Gran Canaria, es la que ofrece series más fiables y extensas de la isla.

La totalidad del modelo se sitúa en el municipio de Agüimes. En el modelo se registra actividad agrícola, que ocupa una superficie de 131. 027 ha. Los cultivos que se desarrollan son hortalizas al aire libre y bajo invernadero. En la Figura 12 se puede observar la ubicación de los cultivos y en la Tabla T14 se indica la superficie ocupada por cota, tal como se clasifica en el Plan Hidrológico.

La pequeña cuenca costera en donde se encuentra este modelo se extiende en su mayor parte por debajo de los 300 m de altitud, sus máximas cotas -54 m- se alcanzan en su interfluvio Oeste. Los claros límites que posee, que hace se suponer que preservan, o al menos atemperan, la influencia que podría ejercer sobre la cuenca la actividad agrícola que se desarrolla fuera de ella. El emplazamiento de la cuenca en la franja costera, en donde existe una imposibilidad de encontrar una zona de estudio libre de influencias regionales, hace aconsejable analizar la posibilidad de utilizar esta como cuenca piloto para estudiar la hidrogeología costera. En particular, la selección de este piezómetro para establecer un modelo de balance hídrico no se debió a los datos que ofrecía, ya que eran más bien escasos para el extenso período modelizado, sino a lo atractivo de su emplazamiento.



Obs.: H₁ y H₂ son cultivos de huerta bajo invernadero y al aire libre, respectivamente. Coordenadas corresponde a cuadrícula kilométrica UTM, Huso 28, Elipsoide WGS 84.

Figura 12. Modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

Cota de labor (msnm)	Tipo de Cultivo	Superficie (km ²)	Coefficiente de ponderación para dotación media
0-50	Huerta invernadero	13.327	0.102
50-100	Huerta invernadero	90.455	0.690
	Huerta aire libre	23.375	0.178
100-150	Huerta aire libre	3.870	0.030

Tabla T14. Superficies de labor agrícola en Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

Calibración: Ajuste de niveles

Los niveles registrados en el piezómetro oscilan, a lo largo de los 7 años modelados, en un estrecho intervalo de poco mas de 15 cm. El ajuste que se obtiene es muy bueno, como se aprecia en contraste entre el hidrograma calculado y los registros del piezómetro (Figura 13) y en la correlación entre

niveles medidos y calculados (Figura 14) y en el bajo error cuadrático medio del ajuste, 4.86 cm. Sin embargo, resulta evidente que el número de datos es escaso para poder aseverar si la caracterización del medio obtenida se corresponde, o no, con la bondad del ajuste alcanzado.

El hidrograma calculado presenta las características siguientes:

- El modelo reproduce adecuadamente la tendencia interanual ligeramente ascendente que sugieren los datos, aunque resulta difícil hablar de tendencia debido a la escasez de registros y al corto intervalo de variación en que estos se inscriben.
- El flujo subterráneo, en el modelo, acusa de forma muy suave la evolución de las precipitaciones, tal como los indican los datos.
- El modelo no puede reproducir la oscilación que evidencian los datos en el año 1987, sin embargo no existen en los datos meteorológicos ni en la información agrícola justificación para dicha oscilación.

Calibración: Balance Hídrico

En la Figura 15 se presenta el balance medio anual del modelo y en el Cuadro 4 los valores medios anuales de los componentes del balance, sus valores totales respecto al período modelado y su evolución mensual para el año medio.

La ETP media anual es muy alta, 1009mm, aunque es coherente con evaluaciones previas realizadas en distintos puntos de la costa, su cálculo se realizó mediante el método de Thornthwaite. La precipitación media anual, 169 mm, también es característica de la costa Este de la isla y es muy inferior a la ETP. Ello repercute en el balance, al ser la ETR (562 mm/año) la salida del sistema más importante, seguida por la escorrentía superficial (413.6 mm/año), ambas representan, en términos porcentuales respecto a las entradas del sistema, el 57. % y el 42 %, respectivamente. La magnitud que alcanzan estas salidas es debido a que la otra entrada del sistema es el retorno de riego (819.5 mm/año) y es casi 5 veces superior a la precipitación media anual. El flujo subsuperficial o hipodérmico medio anual (9.3 mm) es una salida minoritaria en el sistema. La escorrentía subterránea media anual (0.21 mm) es evaluada por el modelo como un elemento irrelevante en el balance y la recarga media anual del acuífero es 1.1 mm. En principio, se considera que se infravalora a la escorrentía subterránea, aunque el resultado que ofrece de la recarga está dentro del orden que realizaron evaluaciones previas. En contraste con la sobrevaloración señalada, la importancia que se le otorga a la ETR parece lógica a todas luces.

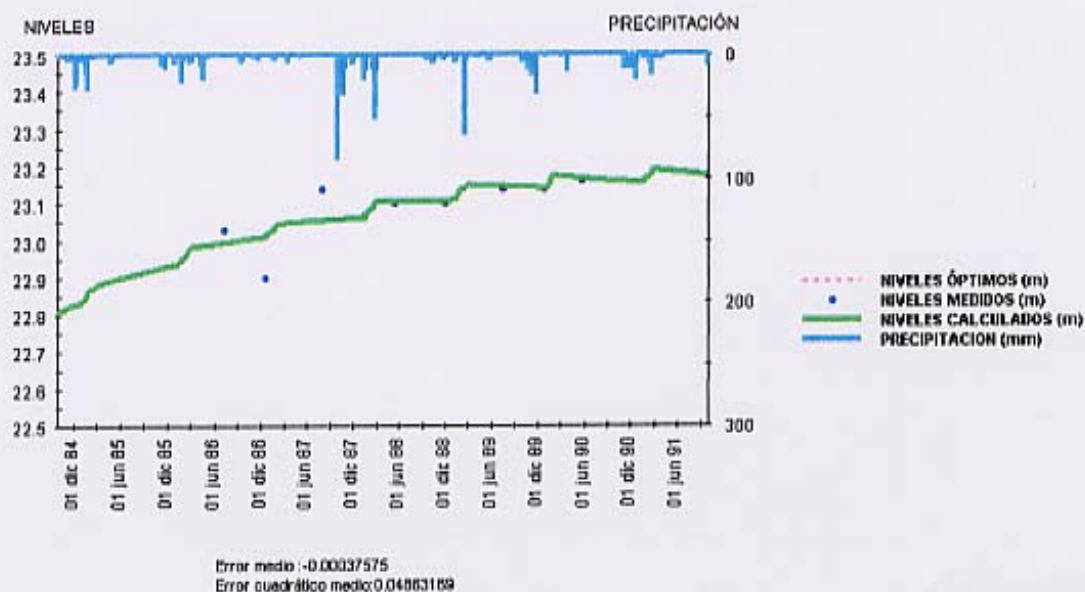


Figura 13. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Hidrogramas medido y calculado

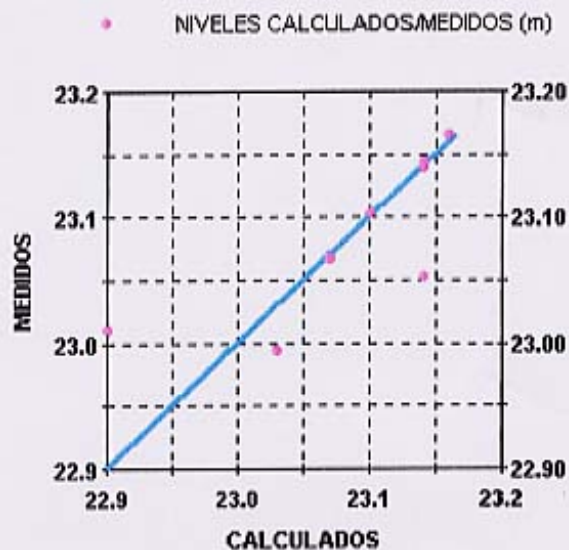


Figura 14. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Correlación de niveles medidos y calculados

Evaluación del Balance Hídrico y determinación de la recarga mediante modelización numérica en pequeñas cuencas del Este de la isla de Gran Canaria

	Media anual en mm	Media anual en Hm³	Total en mm	Total en Hm³
Precipitación	168.3999	0.7806348	1178.0	5.464444
Recarga en tránsito	12.18283	5.6475E-02	85.27979	0.395323
Flujo preferente	1.103502	5.1154E-03		
Evapotranspiración potencial	1009	4.67732		
Evapotranspiración real	566.1005	2.624216	3962.704	18.36951
Dotación	819.4905	3.79883		
Escorrentía	407.9154	1.890933	2855.408	13.23653
Flujo hipodérmico	11.51553	0.0533814	80.60872	0.3736698
Caudal subterráneo	0.1128774	5.2325E-04	0.7901418	3.6628E-03
Caudal total	419.5403	1.944821	2936.782	13.61375
Recarga al acuífero	0.6672977	3.0933E-03	4.671084	2.1653E-02
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipitación	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorrentía
ENERO	5.045087	0	19.08571	48.19006	48.19006	136.27	99.00253
FEBRERO	4.528604	0	39.72857	47.98553	47.98553	138.15	122.1859
MARZO	0.7748119	0	12.15714	64.44923	59.8342	41.09	7.285813
ABRIL	0	0	6.385714	65.37164	43.52124	39.41	3.20812
MAYO	0.1667982	0.1667982	1.7	83.72523	16.28184	4.130001	0
JUNIO	0	0	2.8571E-02	103.1538	3.758654	3.600001	0
JULIO	0	0	0	122.7759	2.14	2.14	0
AGOSTO	0	0	0	132.2428	40.67785	45.1	0
SEPTIEMBRE	0	0	16.17143	120.2109	86.03988	88.15003	13.85266
OCTUBRE	0.8382413	0.8382413	12.98571	96.7478	93.66596	104.34	20.17177
NOVIEMBRE	9.8463E-02	9.8463E-02	36.07143	69.5473	69.40327	94.59998	56.43713
DICIEMBRE	0.7308201	0	24.08571	54.60133	54.60133	122.51	85.77049

Cuadro 4. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Balance Hídrico para el año medio

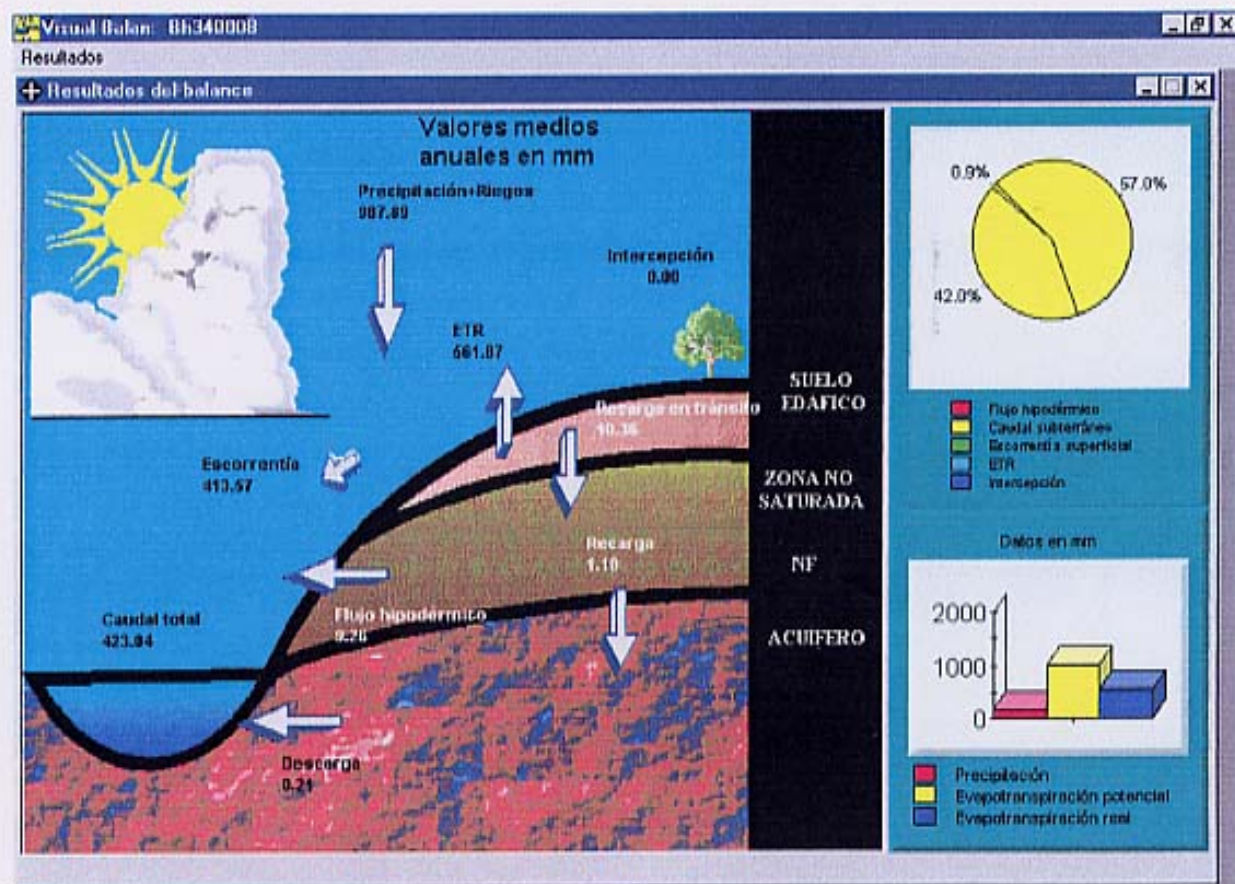


Figura 15. Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-: Balance Hídrico medio anual

Calibración: Parámetros del modelo

Los parámetros iniciales y los resultantes de la calibración se presentan en la Tabla T15. Se indican las técnicas de cálculo elegidas inicialmente para describir algunos de los procesos del ciclo hidrológico y las técnicas identificadas finalmente como mejores descriptores de dichos procesos.

Componente del Balance Hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Valores Iniciales	Modelo Unicelular
Suelo Edáfico	Porosidad Total	0.4	0.3
	Punto de Marchitez, PM	0.1 (50 mm)	0.05 (37.5 mm)
	Capacidad de Campo, CC	0.3 (150 mm)	0.083 (62.5 mm)
	Reserva Útil, RU= CC-PM	100 mm	25 mm
	Humedad inicial	0.1 (50 mm)	37.5 mm
	Espesor del suelo	500 mm	750mm
	Conductividad Hidráulica	1 m/d	0.01 m/d
Recarga en Tránsito	Diferida	Método convencional	Método Modificado
	Preferente.	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5	Por Fisuración CKRD=0.2664, FRD=0.5631
Cálculo de Evapotranspiración Real, ETR (Evapotranspiración Potencial, ETP, por Thornthwaite)		M. Penman Grindley CRPG=5mm, CEPG=0.25	Exponencial CEME=5mm
Escorrentía Superficial	Infiltración Máxima del suelo en CC	7 mm/d	1.9 mm/d
	Infiltración Máxima del suelo en PM	15 mm/d	18.87 mm/d
Zona No Saturada	Tiempo de semiogotamiento (flujo hipodérmico)	30 días	0.775 días
	Permeabilidad Vertical (zona no saturada)	1 m/d	1 m/d
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de percolación)	30 días	30 días
	Humedad Inicial	10 mm	0 mm
Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento	0.02	0.02706
	Nivel inicial	20 m	22.8 m
	Nivel de Referencia	23 m	23.1 m
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de subterráneo)	90 días	768.5 días

Tabla T15. Parámetros de la calibración del modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-

Los rasgos que caracterizan al sector modelado son los siguientes:

- Al suelo edáfico se le asignó un espesor medio de 750 cm, este parámetro es coherente con el conocimiento que se tiene del sector costero. Resultados de la calibración fueron la porosidad total (0.3), la RU (25. mm) y la conductividad hidráulica (0.01 m/d). Este último parámetro, si bien consistente, puede resultar algo bajo, aunque hasta el momento no se han realizado ensayos para su valoración.
- La recarga preferente se calculó suponiendo que se produce por fisuración o macroporos.
- La capacidad máxima de infiltración del suelo en condiciones de CC, 1.979 mm/d, y de PM, 18.47 mm/d. Estos valores obtenidos son característicos de medios en con alta escorrentia, aunque ese no parece ser exactamente el caso de esta zona de estudio.
- En la zona no saturada la permeabilidad vertical es un parámetro irrelevante en la calibración del modelo. Al igual que en los modelos anteriores, el Mbh340008 también es sensible a los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , y de percolación, α_{per} , reduciendo notoriamente al primero y considerando óptimo el valor dado inicialmente al segundo. El tiempo de semiagotamiento del flujo hipodérmico es inferior al día (0.775 días) y el del flujo hipodérmico es de 1 mes. Estos valores indican tiempos de tránsito cortos para el flujo en la zona no saturada.
- En la zona saturada el coeficiente de almacenamiento resultante es 0.0271 y el nivel de referencia es 23.1 m. El tiempo de semiagotamiento supera ligeramente los 2 años, ello indica tiempos de tránsito interanuales para la escorrentia subterránea en sus niveles más superficiales, es posible que estos tiempos se incrementen proporcionalmente a la profundidad de circulación del flujo.

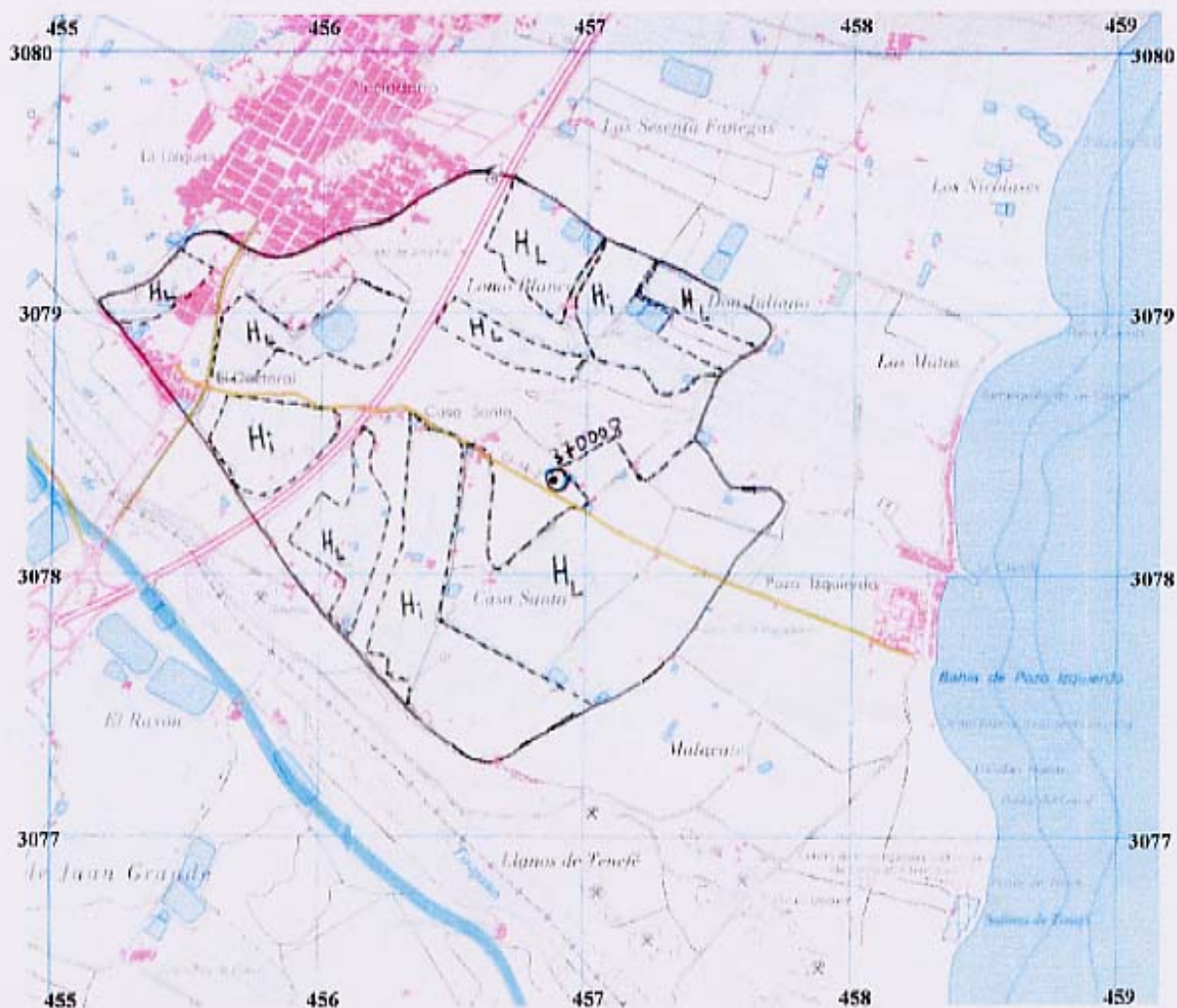
6.4. Modelo Mbh370008 –El Doctoral-

El dominio del modelo Mbh370008 –El Doctoral- se delimitó a partir del criterio de “zona de influencia inmediata sobre el piezómetro”, tal como se definiera en la Sección 3. La situación del piezómetro 424370008 se ajusta particularmente a este criterio, pues se sitúa en la plana existente en la desembocadura del Barranco de Tirajana y en sus inmediaciones se desarrolla una importante actividad agrícola (Figura 16). Debido a esto último se consideró que los niveles registrados podrían encontrarse influenciados por los retornos de los regadíos cercanos. Existe la posibilidad que los niveles también se encuentren influenciados por el flujo originado aguas arriba en la cuenca de Tirajana, pero la consideración de esta última influencia sobrepasa el marco de este trabajo de modelización- ver Sección 3-. La superficie del dominio del modelo es de 3.106 km² (ver Figura 16).

Se adopta como latitud media del dominio la correspondiente a su baricentro, $27^{\circ} 49' 50''$. El período modelado se extiende desde 1980/81 a 1991/92 y en el mismo se dispone de 20 datos de niveles.

La cota de emplazamiento del piezómetro es de 51 m. El modelo se encuentra se encuentra bajo la influencia de la estación C 639-o (cota 15 m), para la precipitación, y de la C 649-i (cota 24 m), para la temperatura. Esta última estación es completa y corresponde al aeropuerto de Gran Canaria, es la que ofrece series más fiables y extensas de la isla.

La totalidad del modelo se sitúa en el municipio de Santa Lucía. En el modelo se registra actividad agrícola, esta ocupa una superficie de 143.61 ha. Los cultivos que se desarrollan son hortalizas al aire libre y bajo invernadero. En la Figura 16 se observa la ubicación de los cultivos, indicándose en la Tabla T16 la superficie ocupada, la casi totalidad de los cultivos se desarrollan entre las cotas 50 m y 100 m.



Obs.: H_1 y H_2 son cultivos de huerta bajo invernadero y al aire libre, respectivamente. Coordenadas corresponde a cuadrícula kilométrica UTM, Huso 28, Elipsoide WGS 84.

Figura 16. Modelo Mbh370008 –El Doctoral–

Cota de labor (msnm)	Tipo de Cultivo	Superficie (km ²)	Coefficiente de ponderación para dotación media
0-50	Huerta invernadero	13.327	0.102
50-100	Huerta invernadero	90.455	0.690
	Huerta aire libre	23.375	0.178
100-150	Huerta aire libre	3.870	0.030

Tabla T16. Superficies de labor agrícola en Mbh370008 –El Doctoral-

Calibración: Ajuste de niveles

Los 18 primeros niveles registrados en el piezómetro durante el período de estudio oscilan entre los 13 y los 9 metros, al final del período existen dos datos del orden de 7 m. Se consideró que estos últimos dos valores eran representativos de unas condiciones del medio diferentes a la de los registros precedentes, debido a ello se los excluyó del proceso de calibración. La nueva situación del sistema que representan estos niveles probablemente se corresponda con el descenso continuado que acusa la piezometría de la isla, asimismo es posible que los niveles registrados entre 1988 y 1990 ya acusen este descenso regional.

El ajuste que se obtiene no es bueno. El hidrograma calculado acusa el patrón de recarga que imponen los retornos de los regadíos y estos tienen la suficiente entidad como para imposibilitar el ajuste entre niveles calculados y medidos. Esto se hace particularmente evidente en el contraste entre el hidrograma calculado y los registros del piezómetro (Figura 17). La pobreza del ajuste también se manifiesta en la correlación entre niveles medidos y calculados (Figura 18) y en el alto error cuadrático medio del ajuste, 1.006 m. El hidrograma calculado se muestra insensible la evolución meteorológica y tampoco reproduce ninguna tendencia descendente, ni aun imponiéndosele niveles iniciales y de referencia en este sentido. Los retornos de regadíos imponen unas oscilaciones estacionales en el hidrograma acorde al régimen de aplicación de las dotaciones y una situación media anual aproximadamente constante.

Uno de los primeros aspectos que invitan a revisar estos resultados es la representatividad de la información de riego que se le suministra al modelo, pues es posible que la misma se ajuste a la realidad en un período del ciclo modelado pero que luego pierda representatividad. Otro punto a revisar es la representatividad del dominio que se definió y si tiene sentido en su definición aplicar el criterio de “zona de influencia inmediata”, pues resulta verosímil que los niveles estén acusando en su variación la influencia de actuaciones sobre el acuífero distantes.

Calibración: Balance Hídrico

En la Figura 19 se presenta el balance medio anual del modelo y en el Cuadro 5 los valores medios anuales de los componentes del balance, sus valores totales respecto al período modelado y su evolución mensual para el año medio.

La ETP media anual es alta, 995 mm, aunque es coherente con las estimaciones realizadas en la franja costera y similar a la valoración del anterior modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-, se calculó con el método de Thornthwaite. La precipitación media anual, 107.8 mm, es baja y se corresponde con los valores de la costa suroriental de la isla. La dotación media anual es de 885.7 mm y es más de 8 veces la precipitación media, esta sola relación permite entender el condicionante del hidrograma que supone el retorno de riego, como se señaló en el punto anterior. El alto valor de la ETP repercute en el balance, al ser la ETR (568 mm/año) la salida del sistema de mayor entidad, seguida por la escorrentía superficial (239.5 mm/año), ambas representan, en términos porcentuales respecto a las entradas del sistema, el 57.7 % y el 24.3 %, respectivamente. La escorrentía subterránea media anual (153.3 mm) posee una importancia de la que carecía en los modelos precedentes. En igual sentido, este modelo hace una valoración alta de la recarga media anual del acuífero -158.7 mm-. En principio, se considera que se sobrevalora a la escorrentía subterránea y a la recarga del acuífero. El flujo hipodérmico medio anual (24 mm) es la salida de menor entidad del sistema.

Calibración: Parámetros del modelo

Los parámetros iniciales y los resultantes de la calibración se presentan en la Tabla T17. Se indican las técnicas de cálculo elegidas inicialmente para describir algunos de los procesos del ciclo hidrológico y las técnicas identificadas finalmente como mejores descriptores de dichos procesos.

Los rasgos que caracterizan al sector modelado son los siguientes:

- El espesor medio del suelo edáfico es de 750 cm, este parámetro es igual al obtenido en el modelo Mbh340008 -Montañas de Agüimes-Los Velez-, que también se sitúa en el sector costero. El proceso de calibración permitió evaluar la porosidad total (0.3), la RU (51.6. mm) y la conductividad hidráulica (1 m/d). El valor de la RU ha sido el mayor entre los modelos calibrados, aunque resulta verosímil.
- La recarga preferente se calculó suponiendo que se produce por fisuración o macroporos.
- La capacidad máxima de infiltración del suelo en condiciones de CC, 3.4 mm/d, y de PM, 18.9 mm/d. Estos valores son muy similares a los del modelo Mbh340008.

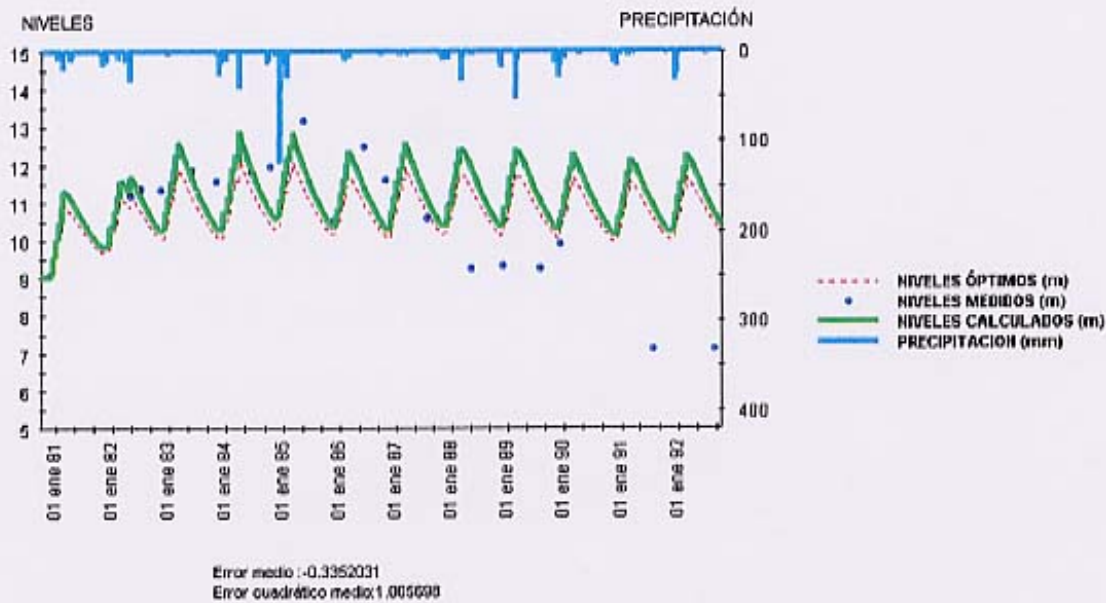


Figura 17. Mbh370008 –El Doctoral-: Hidrogramas medido y calculado

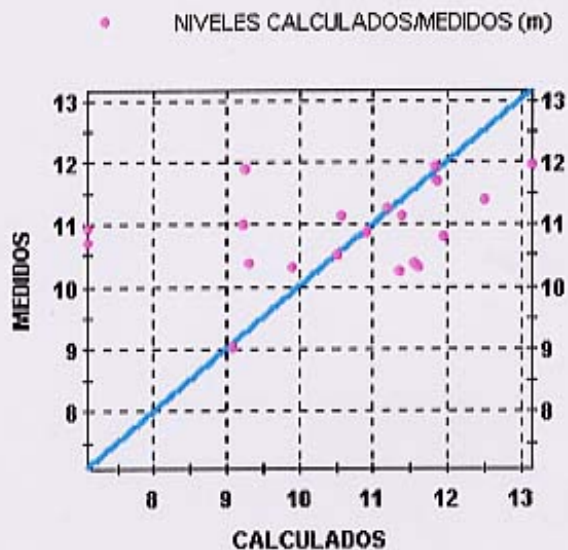


Figura 18. Mbh370008 –El Doctoral-: Correlación de niveles medidos y calculados

Evaluación del Balance Hídrico y determinación de la recarga mediante modelización numérica en pequeñas cuencas del Este de la isla de Gran Canaria

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	107.7708	0.3347362	1293.25	4.016834
Recarga en tránsito	102.6563	0.5673305	2191.876	6.807966
Flujo preferente	0.8301579	2.5785E-03		
Evapotranspiración potencial	995.079	3.090715		
Evapotranspiración real	568.1321	1.764618	6817.585	21.17542
Dotación	885.7352	2.751093		
Escorrentía	239.4498	0.7437312	2873.398	8.924775
Flujo hipodérmico	23.93786	7.4351E-02	287.2544	0.892212
Caudal subterráneo	153.2617	0.4760308	1839.14	5.712369
Caudal total	416.6503	1.294116	4999.804	15.52939
Recarga al acuífero	158.7175	0.4929765	1904.61	5.915719
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipitación	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorrentía
ENERO	51.88797	0	8.066667	48.74831	48.74831	149.423	56.85339
FEBRERO	48.12201	0	20.5	47.50157	47.50157	147.901	73.05662
MARZO	4.307204	0	11.10833	63.75587	53.00157	41.101	2.432357
ABRIL	2.30846	0	5.766666	66.55332	41.27994	35.142	0.4145178
MAYO	0	0	1.266667	82.48158	14.91196	0	0
JUNIO	4.5057E-03	4.5057E-03	0.3583333	101.409	5.675411	0	0
JULIO	0	0	0.2183333	121.9367	3.742706	0	0
AGOSTO	0	0	0.1508333	126.1744	31.01721	51.18501	0
SEPTIEMBRE	7.0724E-02	0	2.268333	115.5193	102.3203	103.275	0.5802999
OCTUBRE	4.883508	0.8157665	7.008333	95.98239	95.10391	117.055	12.71422
NOVIEMBRE	27.05627	9.8858E-03	21.7	70.29311	70.11244	110.314	34.698
DICIEMBRE	43.93529	0	29.35833	54.7139	54.7139	130.3351	58.70104

Cuadro 5. Mbh 370008 -El Doctoral-: Balance Hídrico para el año medio

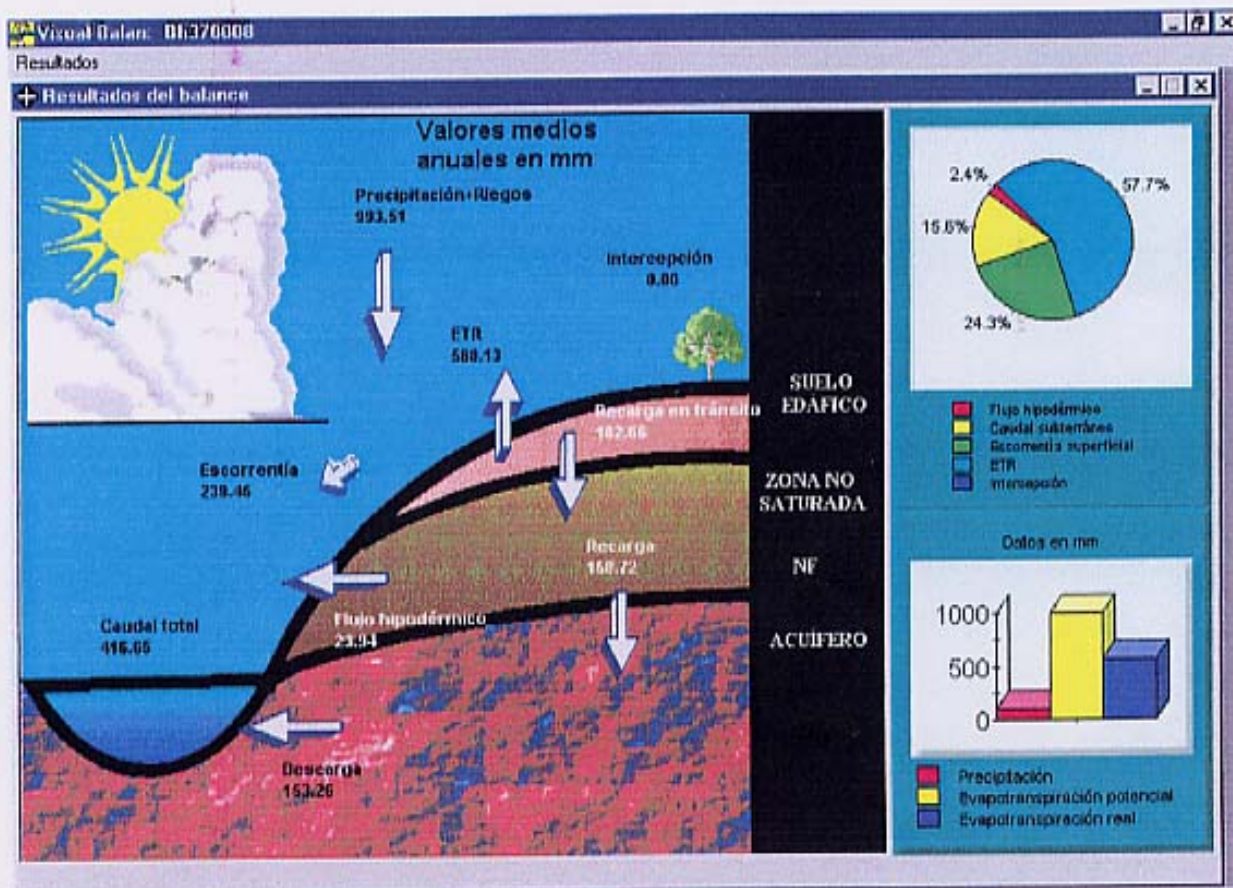


Figura 19. Mbh370008 -El Doctoral-: Balance Hídrico medio anual

Componente del Balance Hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Valores Iniciales	Modelo Unicelular
Suelo Edáfico	Porosidad Total	0.3	0.3
	Punto de Marchitez, PM	0.1 (75 mm)	0.1 (75 mm)
	Capacidad de Campo, CC	0.2 (150 mm)	0.1688 (126.6 mm)
	Reserva Útil, RU= CC-PM	75 mm	51.6mm
	Humedad inicial	0.1 (75 mm)	No se calibra
	Espesor del suelo	750 mm	750mm
	Conductividad Hidráulica	1 m/d	1 m/d
Recarga en Tránsito	Diferida	Método Convencional	Método Convencional
	Preferente.	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5	Por Fisuración CKRD=0.5, FRD=0.5
Cálculo de Evapotranspiración Real, ETR (Evapotranspiración Potencial, ETP, por Thornthwaite)		Exponencial CEME=5mm	Exponencial CEME=5mm
Escorrentía superficial	Infiltración Máxima del suelo en CC	5 mm/d	3.4 mm/d
	Infiltración Máxima del suelo en PM	10 mm/d	18.9 mm/d
Zona No Saturada	Tiempo de semiogotamiento (flujo hipodérmico)	15 días	50 días
	Permeabilidad Vertical (zona no saturada)	1 m/d	0.0188 m/d
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de percolación)	15 días	21 días
	Humedad Inicial	10 mm	0 mm
Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento	0.03	0.047
	Nivel inicial	9 m	No se calibra
	Nivel de Referencia	6 m	8.175 m
	Tiempo de semiogotamiento (flujo de subterráneo)	45 días	230 días

Tabla T17. Parámetros de la calibración del modelo Mbh370000 -El Doctoral-

- Todos los parámetros que gobiernan el flujo en la zona han sufrido variaciones apreciables durante la calibración. El valor resultante de la permeabilidad vertical es algo bajo 0.0188 m/d. Por otro lado, los tiempos semiogotamiento del flujo hipodérmico (50 días) y el del flujo percolación (21 días) sugieren tiempos de tránsito en la zona vadosa de un orden mensual.

- En la zona saturada el coeficiente de almacenamiento que se obtiene es de 0.0471, el nivel de referencia es 8.175 m y el tiempo de semiagotamiento supera ligeramente los 6 meses. Este es el menor tiempo de semiagotamiento de la zona saturada evaluado entre los modelos calibrados.

Finalmente, se considera importante no perder de vista que, a pesar de la verosimilitud que puede presentar el balance hídrico alcanzado y las interpretaciones que puedan aportar consistencia a los parámetros obtenidos, el ajuste entre niveles los calculados y medidos que es el criterio principal para valorar la bondad de la calibración del modelo indica claramente que los resultados distan de ser satisfactorios. A ello han contribuido un conocimiento deficiente de la evolución histórica de los regadíos y una incertidumbre importante en cuanto a poder definir un dominio del modelo consistente.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las Tablas T18 y T19 se presentan los Balances Hídricos medios anuales y los parámetros, respectivamente, de los modelos calibrados. Los modelos presentados, con la excepción del Mbh370008 –El Doctoral-, han alcanzado unos ajustes entre niveles medidos y calculados que se pueden calificar de notables. Sin embargo, la escasez de datos en todos los casos hace que, a pesar de la bondad alcanzada en las calibraciones, los resultados de las mismas no puedan ser considerados como caracterizaciones consistentes del medio y deban ser asumidos de forma matizada. No obstante, aun en el modelo Mbh370008 –El Doctoral- existen aspectos que pueden ser asumidos como avances en el conocimiento del medio. Otra matización que debe realizarse al comentar de forma conjunta los resultados alcanzados es que dichos comentarios se realizan sobre los valores medios anuales correspondientes en general a períodos que en general no son comunes entre sí.

Modelo	Intervalo modelado	Nº de celdas	Precipitación (mm)	Dotación (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Escorrentía Superficial (mm)	Flujo Hipodérmico (mm)	Escorrentía Subterránea (mm)	Recarga (mm)
Mbh360002 H = 100 m	1980/81-1983/84	1	198.7	-	839.3	94 47.3%	83.3 41.8%	9 4.5%	12.8 6.4%	11.7 5.9%
		5	198.7	-	839.3	95.8 48.4%	78.5 39.7%	16 8.1%	7.7 3.9%	7.54 3.8%
	1985/86-1989/90	1	265.5	-	878	96 36%	136.3 51.1%	33.8 12.7%	0.6 0.2%	0.55 0.2%
Mbh320001 H = 240 m	1980/81-1991/92	1	305.2	-	857.8	105 34.4%	171.2 56.1%	21.1 6.9%	8.6 2.5%	8.3 2.5%
Mbh340008 h = 51 m	1984/85-1990/91	1	168.4	819.5	1009	562 57.3%	413.6 42%	9.3 0.9%	0.2 0	1.1 0.1%
Mbh37008 h = 51 m	1980/81-1983/84	1	107.8	885.7	995	568.1 57.7%	239.4 24.3%	24 2.4%	153.3 15.6%	158.71 16%

Obs.: % respecto a Precipitación + Dotación

Tabla T18. Resultados de los modelos: Balances Hídricos medios anuales

Modelo	Intervalo modelado	Nº de celdas	Espesor de suelo (mm)	α_{int}	Reserva Útil (mm)	k_{suelo} (mm/d)	CIM ₀ (mm/d)	CIM ₁ (mm/d)	k_{percol} (m/d)	Tiempo de Semilogotamiento (días)			S
										Flujo hipod.	Percol.	Flujo Subte.	
Mbh360002 H = 100 m	1980/81-1983/84	1	500	0.4	19.4	102.5	5.62	9.3	1	102.3	78.5	770	0.0121
		5	500	0.4	19.	80.9	5.65	10.2	1	130.7	275.6	T=101.6 m ² /d	0.0025
	1985/86-1989/90	1	500	0.4	14	5.1	3.45	14.78	1	0.73	2.1	96.8	0.0037
Mbh320001 H = 240 m	1980/81-1991/92	1	500	0.4	30.	20.3	1.9	9	1	35.2	87.4	1000	0.0105
Mbh340008 h = 51 m	1984/85-1990/91	1	750	0.3	22	10	2	18.87	1	0.775	30	768.5	0.0271
Mbh370008 h = 51 m	1980/81-1991/92	1	750	0.3	52	1000	3.4	18.9	0.019	50.3	21	229.75	0.0471

Obs.: CIM₀ capacidad de infiltración del suelo en Capacidad de Campo; CIM₁ capacidad de infiltración del suelo en el Punto de Marchites

Tabla T19. Resultados de los modelos: parámetros calibrados

La ETP fue calculada en todos los casos con el método de Thornthwaite, debido al tipo de datos disponibles. Se puede apreciar como la ETP va decreciendo desde la costa -donde sus valores se

encuentran en torno a los 1000 mm/año- hacia el interior en la medida que va aumentando la cota topográfica, tal como lo hace la temperatura que es la variable básica en el método de Thornthwaite. En las cuencas interiores –Barrancos Hondo y de la Palma- la ETP media se estima del orden de 850 mm/año. La precipitación tiene un comportamiento espacial inverso, decrece desde el interior hacia la costa - en la medida que disminuye la cota- y de Norte a Sur. Así las cuencas interiores tienen valores medios entre los 200 y 300 mm/año y en la costa se alcanzan los 100 y 150 mm/año. La relación ETP/Precipitación varía entre 2.81 en la cuenca interior situado más al Norte –Barranco de las Palmas- y 9.23 en el punto de la costa situado más al Sur.

La ETR y la escorrentía superficial son las salidas del ciclo hidrológico preponderantes, casi hegemónicas, pues suelen concentrar en torno al 90% de las salidas y en algún caso, Mbh340008 - Montañas de Agüimes-Los Velez-, casi alcanzan al 99%. Entre ellas, suele ser la ETR la que destaca, con valores entre los 90 mm/año y los 100 mm/año, si no existe aportación de retornos de regadíos. En los casos en que existe riego, las evaluaciones que se realizaron en modelos con cultivos de huerta, cuyos emplazamientos nunca superan la cota de 150 m, y que dieron retornos medios entre los 820 y 890 mm/año, en estos casos la ETR se valoró en torno a los 565 mm/año, independientemente de la entidad del retorno.

La escorrentía superficial alta es una característica del balance hídrico que se corresponde con el régimen de precipitaciones imperante, en el que las lluvias se suelen producir de forma tormentosa, con altas intensidades, y con la orografía con fuertes pendientes existente en la isla. Ambos rasgos, **dificultan** la formación de suelos y el arraigo de una cubierta vegetal que produzcan un efecto retardatorio de la escorrentía superficial que favorezca la infiltración.

El flujo hipodérmico suele ser preponderante sobre la escorrentía superficial, valorándose en un rango relativamente amplio, 5 a 33.8 mm/año, el primero y, usualmente, por debajo de los 10 mm/año **la valoración de la segunda. En el modelo Mbh370008 –El Doctoral- se realiza una estimación alta, 153 m/año, de la escorrentía subterránea, pero el pobre ajuste alcanzado por dicho modelo resta credibilidad a este resultado. La valoración de la recarga se halla en estrecha correspondencia con la estimación de la escorrentía subterránea. Así, si bien se observa una cierta dispersión en la valoración de la recarga, esta nunca supera los 10 mm/año. Este resultado es coherente con estimaciones realizadas en anteriores trabajos.**

Los modelos valoran la potencia del suelo edáfico en 50 cm en las cuencas interiores, aunque este sería un valor medio y representaría también al material de alteración de la roca madre que actúa a la **mancera de suelo. En el sector costero el espesor medio se valora en 75 cm.** La porosidad total en las cuencas interiores se estima en 0.04 y en el sector costero 0.03.

La reserva útil, RU, oscila entre los 30 y los 15 mm, ello exceptuando el caso de caracterización dudosa del modelo Mbh370008 –El Doctoral-. Sobre la RU existe una gran dispersión de valoraciones en los trabajos previos, sin exponer ninguno las bases de su estimación. Se considera que el rango de estimado para la RU –30mm a 15mm- que se realiza en este estudio es consistente y coherente. Una observación análoga se puede realizar sobre la permeabilidad del suelo, las estimaciones mas fiables que brindan los modelos presentan una dispersión mayor que para la RU y oscila entre los 100 y los 5 mm/d.

Las Capacidades Máximas de Infiltración del Suelo para condiciones de Capacidad de Campo, CC, y Punto de Marchites, PM, son propias de un medio en el que se produce una alta escorrentía. Las primeras varían entre 2 y 5 mm/d y los segundos entre 10 y 20 mm/d.

La permeabilidad de percolación es un parámetro que prácticamente, no ha incidido en la calibración de los modelos. En contraste con él, los coeficientes de agotamiento, o de descarga, se revelaron como parámetros claves en la calibración de los modelos. Los tiempos de semiagotamiento son inversamente proporcionales a los coeficientes de descarga. En el caso del flujo hipodérmico, o subsuperficial, existe una gran dispersión para estos tiempos y los valores oscilan entre menos de un día y los cuatro meses; para el flujo de percolación existe una dispersión análoga, entre 2 días y los nueve meses. Estos tiempos de semiagotamiento están indicando tránsitos del flujo mensuales, a lo sumo, interestacionales. Los tiempos de semiagotamiento de la escorrentía subterránea estimados presentan valores más homogéneos y en general todos ponen en evidencia tiempos de circulación plurianuales.

El único valor de transmisividad calibrado –101.6 m²/d- fue en el modelo Mbh360002a -Barranco Hondo, periodo 1980/81-1983/84- de 5 celdas y es un valor coherente con estimaciones previas realizadas en la zona y se mostró consistente al contrastarlo mediante la difusividad hidráulica con el tiempo de semiagotamiento calculado por la variante de una sola celda del modelo Mbh360002a. Los coeficientes de almacenamiento calibrados oscilan entre 0,0025 y 0.0271, todos ellos son valores verosímiles acorde al conocimiento que se posee del medio.

8 CONCLUSIONES

El presente proyecto ha tenido como objetivo la caracterización de la recarga en el sector Sureste de la isla de Gran Canaria. La consecución de este objetivo se realizó mediante técnicas numéricas, aplicando el programa Visual BALAN, VB, que permite la calibración automática de modelos de balance hídrico. VB establece los balances en el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero, igualmente cuenta con una variedad de métodos numéricos a aplicar para describir los distintos

componentes del balance. Los mecanismos de recarga de un acuífero suelen ser múltiples y complejos, por lo que demandan un buen conocimiento del medio, una herramienta técnica fiable, un conjunto de datos extenso y, en la medida de lo posible, un cierto acotamiento de la incertidumbre que le es inherente a este proceso.

Los conjuntos de datos meteorológicos y piezométricos si bien son extensos, poseen una distribución temporal y espacial sumamente heterogénea. A partir del análisis de los datos de nivel se definieron y calibraron 7 modelos de Balance Hídrico asociados a cinco piezómetros. Un punto fue modelizado en dos intervalos de tiempo distintos con el fin de poder contrastar y, eventualmente, validar los resultados que se hubieren alcanzados por los modelos. La heterogeneidad en la distribución espacial y temporal de los datos limita notoriamente los resultados alcanzados y es, en si misma, una característica que le resta potencialidad a la información. Así sería mucho más útil un conjunto de datos con series más extensas y, fundamentalmente, con una mayor densidad de registros. Este requerimiento debe ser atendido particularmente por la información piezométrica.

La valoración de las calibraciones hace que se le preste particular atención a los modelos de Balance Hídrico correspondientes a las cuencas de los barrancos Hondo -Mbh360002- y de Las Palmas -Mbh32001- y al de la cuenca de Montañas de Agüines-Los Velez -Mbh340008-. Los ajustes que alcanzan estos modelos son buenos, sin embargo la limitación en el número de datos en que se sustentan, dificulta que se asuman estos resultados como caracterizaciones rigurosas de los balances en sus respectivos ámbitos. Sin embargo, un análisis de los resultados, hecho con las debidas matizaciones, permite asumirlos como buenas aproximaciones al conocimiento del medio, en la medida que mucho de los parámetros se presentan coherentes entre sí y respecto a la información previa del medio. Así, los modelos cuantifican algunos parámetros fundamentales en el balance hídrico y, por lo tanto, de gran utilidad en la gestión del recurso, estos son:

- **La recarga media de los niveles saturados en los barrancos en este sector de la isla es ligeramente menor a 10 mm/año y, en la costa, pueden ser casi de un orden de magnitud menor si no existen retornos de riego. Los patrones de distribución temporal de la recarga son los esperados.**
- **Las principales salidas del Balance Hídrico son:**
 - la Evapotranspiración Real, ETR, que ronda las 100 mm/año-, si no existe riego, y 565 mm/año, en terrenos con cultivo de hortalizas bajo regadío.
 - la escorrentía superficial, e_s , cuya cuantificación ha resultado **menos clara que la de la ETR.** **Las características torrenciales de las lluvias y las fuertes pendientes topográficas** contribuyen a la importancia de la e_s en el ciclo hidrológico de la isla.

- La estimación de la Reserva Útil resulta bastante coherente y coincidente en un rango de variación entre los 20 y 30 mm. Este parámetro es fundamental para establecer el balance hídrico en el suelo edáfico y sobre el mismo existía una gran disparidad de valoraciones en los estudios previos
- Los coeficientes de almacenamiento medios de los niveles acuíferos de los barrancos Hondo y de Las Palmas se valoraron dentro de un rango de variación de 0.012 a 0.0025 y, en el sector costero, en torno 0.03. Estas evaluaciones resultan coherentes con las estimaciones existentes, las cuales se basaban en criterios litológicos.

Una aproximación de mayor detalle y con una visión conjunta de los resultados alcanzados se encuentra en la sección precedente.

Finalmente, se reiterará la idea expuesta en la presentación de este trabajo y en la que coinciden numerosos investigadores y técnicos en recursos hídricos: dada la complejidad y disparidad de los mecanismos que intervienen en la recarga, una adecuada caracterización de la misma sólo puede alcanzarse a partir de la aplicación de técnicas distintas. Este trabajo se inscribe en el marco de las técnicas numéricas y en él resulta una primera aproximación y, en este sentido, ofrece una base de partida para la aplicación posterior de un modelo de flujo cuyo potencial integrador en términos de información brindaría resultados aún más ricos. Ello no es óbice para que no se pierda de vista la necesidad de seguir recabando información y estructurando una base de datos adecuada, pues sin información es baldía la aplicación de cualquier herramienta numérica. Esto se debe traducir en el establecimiento de una red de observación piezométrica, cuyo control deberá ser sistemático con una periodicidad, al menos, mensual. Asimismo, no debe desdeñarse debido al régimen torrencial de los barrancos la información que pueda aportar una red foronómica debidamente controlada, antes bien puede ofrecer un interesante referente para poder caracterizar la escorrentía superficial directa en episodios tormentosos. Resulta obvio señalar, que el desarrollo espacial de las redes debe ser coherente con el ámbito geográfico que se desee caracterizar.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Interministerial de Coordinación del Estado en Materia de Aguas Canarias (1980-1981).** “*Proyecto de planificación de la explotación y uso racional del agua en las islas Canarias. MAC-2I*”
- Conserjería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas-Cabildo de Gran Canaria (1994).** “*Avance del Plan Hidrológico de Gran Canaria*”.
- Custodio, E. (1998).** “*Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre*”. Boletín Geológico y Minero. Vol. 109-4. 329:346
- Guerra, J.L., Muñoz, A. y Castaño, J.L. (1997).** “*Estudio de una cuenca piloto. Aguas subterráneas del barranco de Tirajana*”. Jornadas sobre Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias. 197:204
- ITGE (1988).** “*Estudio hidrogeológico para recarga artificial en la Isla de Gran Canaria. (Subsistema acuífero Arinaga-Tirajana)*”
- ITGE (1990,a).** “*Hoja 1109-II (84-84): Telde*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:25000. 92:95
- ITGE (1990,b).** “*Hoja 1114-I (84-85): Agüines*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:25000. 68:70
- ITGE (1990,c).** “*Hoja 1114-II (84-86): Castillo del Romeral*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:25000. 23:25
- ITGE (1990,d).** “*Hoja 1114-III (83-86, 83-87): Maspalomas*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:25000. 84:87
- ITGE (1990,e).** “*Hoja 1114-IV (83-85): Santa Lucía*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:25000. 107:110
- ITGE (1992,a).** “*Proyecto para la revisión de conocimientos hidrogeológicos en la zona costera de la isla de Gran Canaria*”
- ITGE (1992,b).** “*Definición de Unidades Hidrogeológicas en las Sistemas Acuíferos nº 81, 82, 83, 84 y 87 de Canarias*”
- ITGE (1992,c).** “*Isla de Gran Canaria*”. Mapa Geológico de España. Escala 1:100.000

ITGE (1993a). “*Estudio hidrogeológico Arinaga.Tirajana. Gran Canaria. Sistema 83. S.I.B*”

ITGE (1993b). “*Estudio hidrogeológico de la zona Sur de. Gran Canaria. Subsistemas acuíferos 83/S/2 y 83/S/3*”

ITGE (1995). “*Estudio hidrológico de las zonas SUR 1 Alta y Madia-Sistema 83- Subsistemas S.I.A y S.I.M*”

Martí, B. (1997). “*Métodos de evaluación de la recarga utilizados en España para la planificación hidrológica: precisión y comparabilidad*”. Seminario sobre Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológico. 287:297.

Manzano, M y Fernandez, M.L. (1997). “*Comentarios y discusiones: paneles sobre Métodos de evaluación de la recarga utilizados en España para la planificación hidrológica y Necesidades observacionales y metodológicas para la mejora del conocimiento y seguimiento de la recarga para la progresiva adecuación de la planificación hidrológica*”. Seminario sobre Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológico. 329:336

MOP-UNESCO (1975). “*Estudio científico de los recursos de aguas en las Islas Canarias. Proyecto Canarias SPA-15*”.

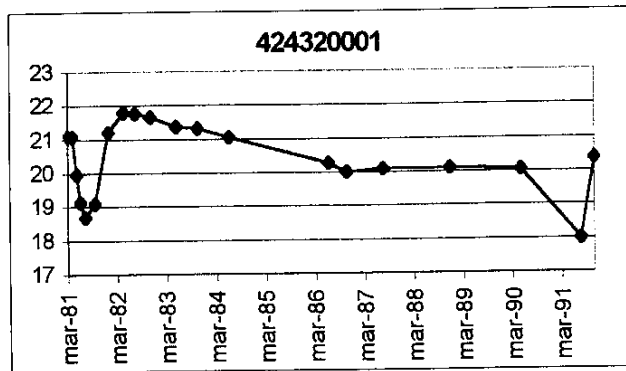
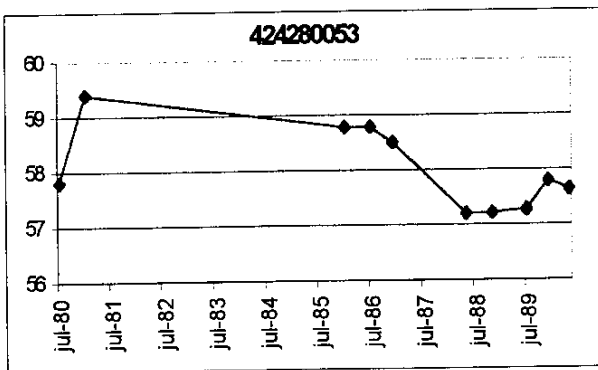
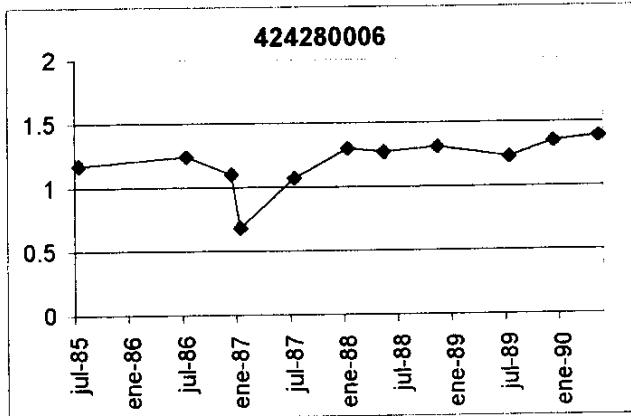
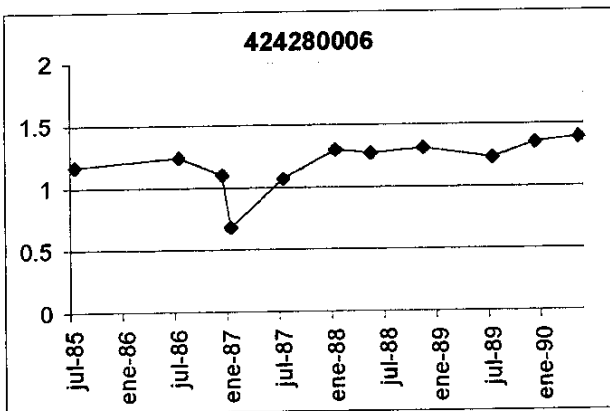
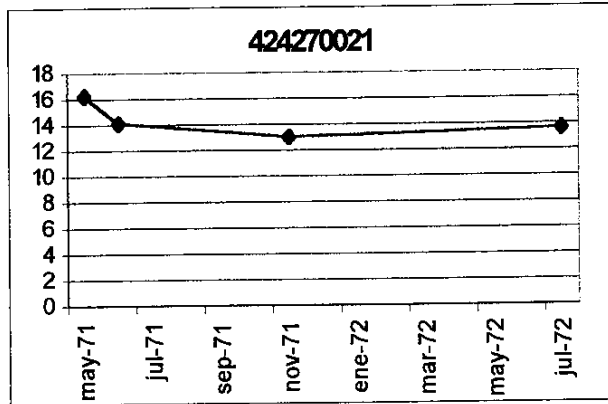
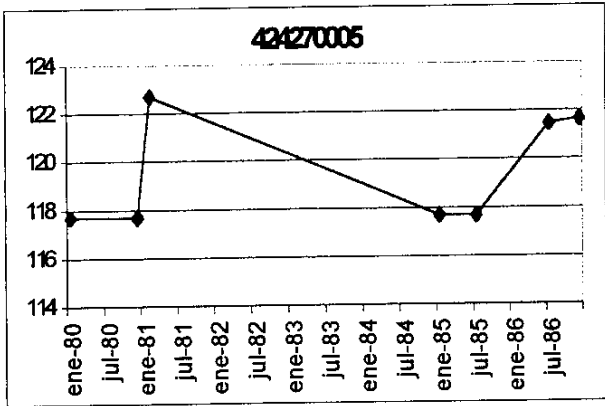
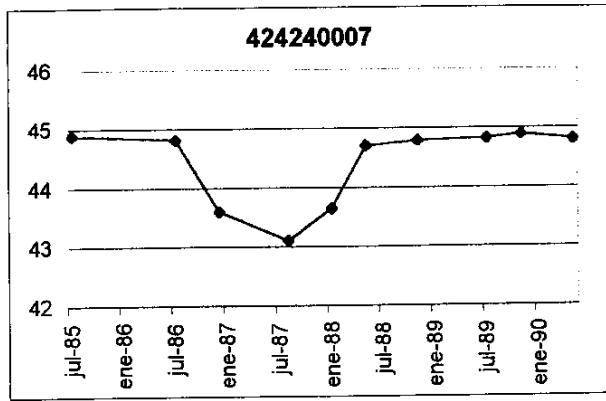
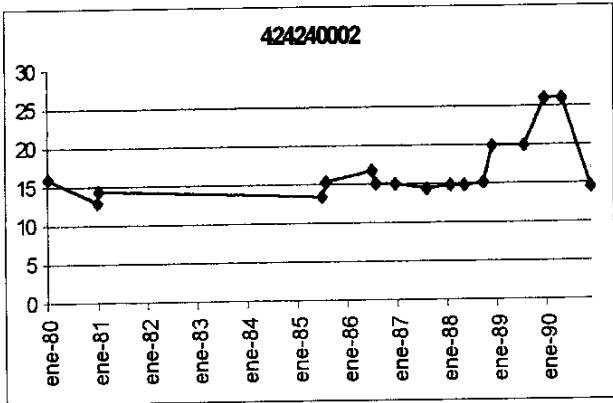
Samper Calvete, J. (1997). “*Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: utilización, calibración y errores*”. Seminario sobre Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológico. 41:81.

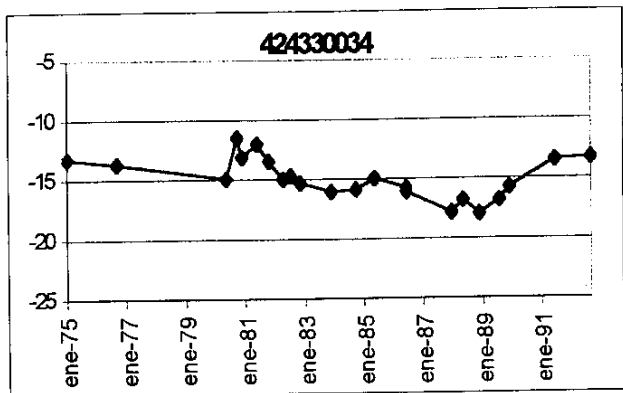
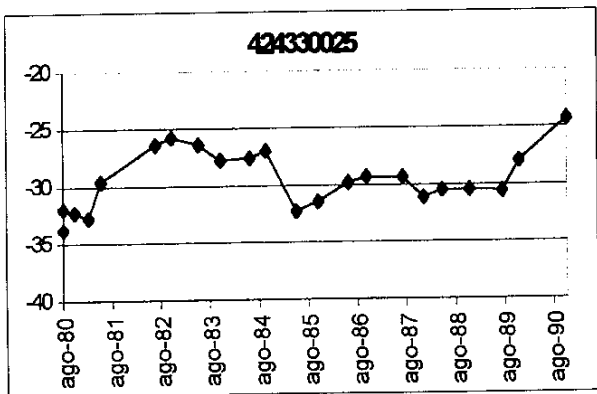
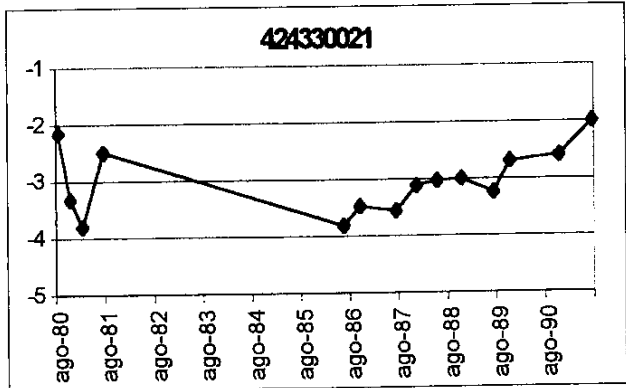
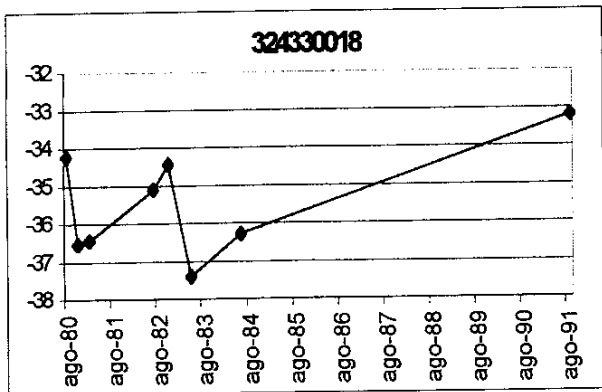
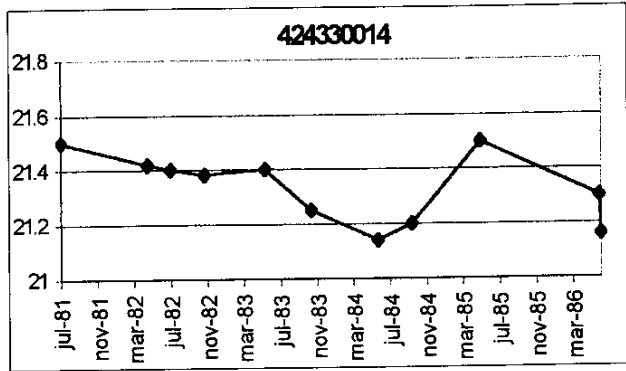
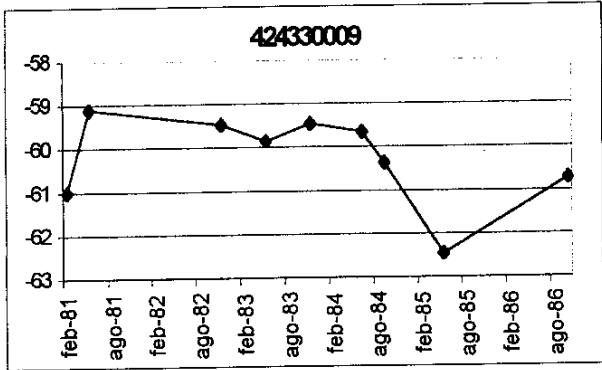
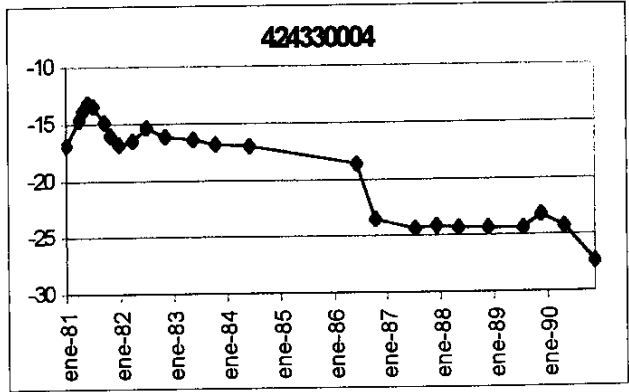
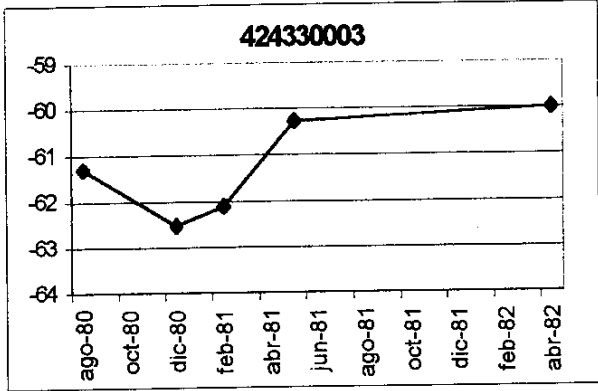
Samper Calvete, J y García Vera, M.A. (1997). “*Estimación de la recarga producida por la lluvia y los excedentes de riego mediante balances diarios de agua en el suelo: experiencias en diferentes zonas climáticas*”. Seminario sobre Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológico. 367:379.

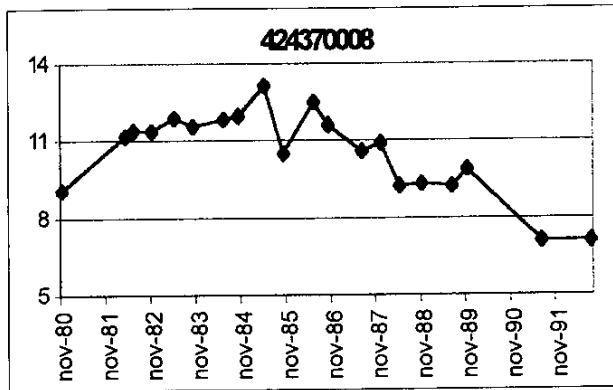
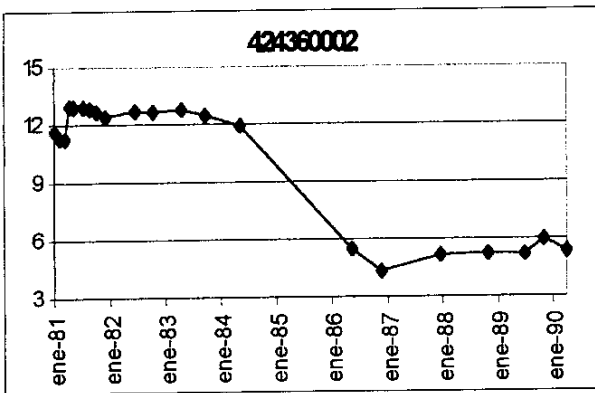
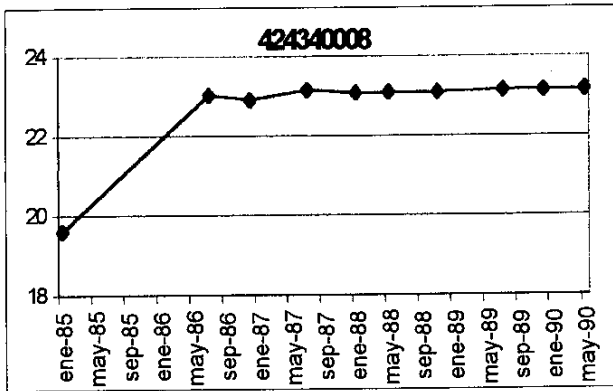
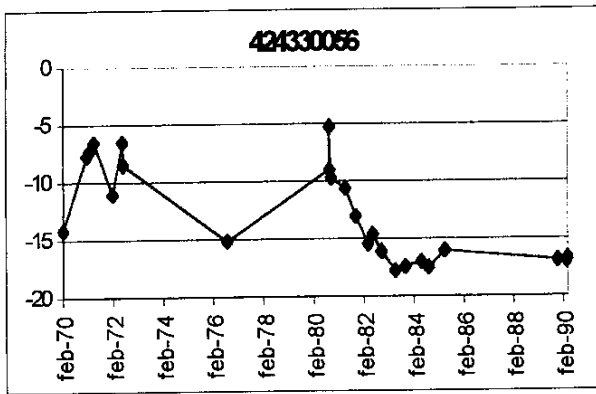
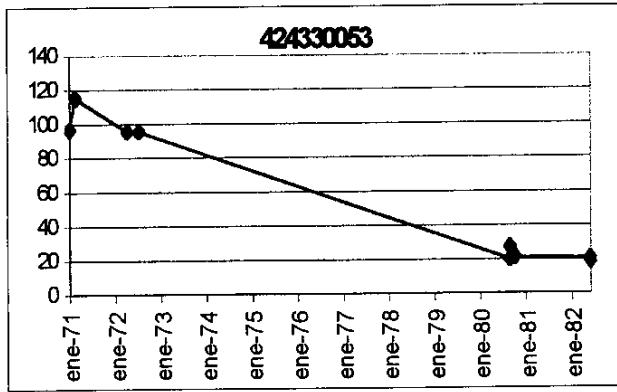
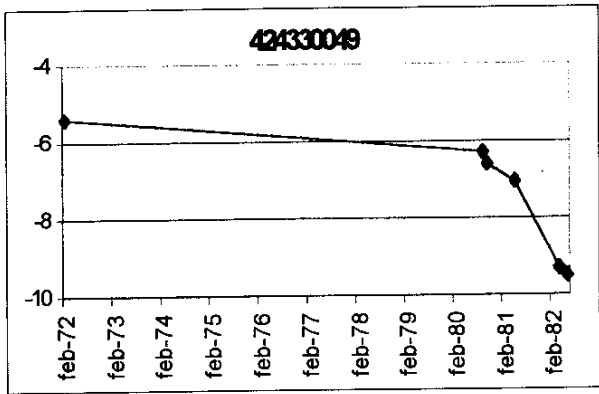
Samper, J. y Custodio, E. (1997). “*Consideraciones finales del Seminario sobre Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológico*”. 453:455.

Samper, J., Huguet, Ll., Ares, J. y Garcia Vera, M.A. (1999). “*Manual del usuario del programa Visual BALAN v.1.0*”. ENRESA, Publicación Técnica nº 05/99. 132 pgs.

ANEXO I. HIDROGRAMAS DE PUNTOS SELECCIONADOS







ANEXO II. COEFICIENTES DE AGOTAMIENTO

Visual BALAN considera en el modelo de balance hídrico a los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , de percolación en zona vadosa, α_{per} , y del acuífero, α_{acf} . Los dos primeros, α_{hip} y α_{per} , gobiernan la descarga de la zona no saturada a través de los caudales de salida horizontal del flujo hipodérmico $-Q_h$ y vertical por percolación $-Q_p$, respectivamente, y cuyas expresiones algorítmicas son:

$$Q_h = \alpha_{hip} V_h \quad (1)$$

$$Q_p = K_v + \alpha_{per} V_h \quad (2)$$

donde: V_h es el volumen de agua -por unidad de superficie- almacenada en la zona no saturada; K_v es la conductividad vertical del medio no saturado y los coeficientes de agotamiento del flujo hipodérmico, α_{hip} , de percolación en zona vadosa, α_{per} , se definen como,

$$\alpha_{hip} = (2 K_h i) / (L m_{ns}) \quad (3)$$

$$\alpha_{per} = K_v / (p m_{ns}) \quad (4)$$

donde: K_h es la conductividad horizontal del medio no saturado; i es la pendiente media del terreno; L es la distancia entre la cumbre y el fondo de la ladera; m_{ns} es la porosidad drenable de la zona no saturada y p es la distancia entre la base del acuífero colgado desde donde se produce la percolación hasta el nivel freático regional.

En caso de representar al acuífero mediante celda única, Visual BALAN realiza el balance en el acuífero teniendo en cuenta la entrada por percolación, Q_p , y la salida por descarga del flujo subterráneo, Q_{acf} , cuya expresión es:

$$Q_{acf} = \alpha_{acf} \Delta V_{acf} \quad (5)$$

donde: ΔV_{acf} es la variación del volumen de agua almacenada por encima del nivel de referencia o de base, h_0 , y se calcula mediante,

$$\Delta V_{acf} = S \Delta h_{acf} \quad (6)$$

donde: $\Delta h_{acf} = (h - h_0)$ es la variación de nivel en el acuífero y S la porosidad drenable del mismo.

El coeficiente de agotamiento del flujo subterráneo, α_{acf} , se define como

$$\alpha_{hip} = (a T) / (S \lambda^2) \quad (7)$$

donde: $T = k b$ es la transmisividad del acuífero, k y b su permeabilidad y su espesor saturado, respectivamente; a es una constante de proporcionalidad y λ es la distancia al punto de descarga.

Por otro lado, la curva de agotamiento o descarga de un hidrograma puede ser descrita funcionalmente mediante la expresión:

$$Q = Q_0 e^{-(\alpha \Delta t)} \quad (8)$$

donde: Q_0 y Q son los caudales de descarga en los tiempos t_0 y t , respectivamente; α es el coeficiente de agotamiento del hidrograma y $\Delta t = (t-t_0)$ es el intervalo de tiempo entre los tiempos t_0 y t .

Se define como “tiempo de semiagotamiento”, Δt_2 , al intervalo que transcurre para que el caudal de descarga, Q_0 , correspondiente a un tiempo t_0 , se reduzca a la mitad y se puede calcular a partir de (8):

$$\Rightarrow Q_0 / Q = 2 = e^{(\alpha \Delta t_2)} \Rightarrow$$

$$\Delta t_2 = (\ln 2) / \alpha \quad (9)$$

Parte del contenido de este Anexo se basa en las Secciones 3.2 y 3.3 de Samper (1999).