

# APORTACIONES AL CONOCIMIENTO DEL BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO DE MIGJORN DE MENORCA

Sònia Estradé Niubó  
Lic. Ciencias ambientales.  
soniaestrade@yahoo.es

## ABSTRACT

*The objective of this study is to increase the knowledge about the water balance of the Migjorn aquifer in Menorca. A daily water balance in the soil has been applied to estimate the recharge. It's been calculated with the precipitation values from the meteorological stations and the evapotranspiration values, calculated applying different methods. Surface runoff is calculated with the curve number method of the Soil Conservation Service of the United States Department of Agriculture. The values of the different components of the balance depend on the evapotranspiration values applied, being the annual average runoff about 3-4% of the annual average precipitation, infiltration between 12 and 21% of the average precipitation and actual evapotranspiration between 75 and 85%, depending on the method applied to calculate ETP. About aquifer water balance outputs, the extractions for urban water consumption is calculated accurately, but we have no data of consumption for agriculture uses and submarine ground water discharge. Water available for agriculture uses and submarine ground water discharge is calculated as a result of the aquifer water balance.*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es aumentar el conocimiento del balance hídrico del acuífero de migjorn de Menorca aproximando el valor de sus diversas componentes. Para caracterizar el valor de la recarga se ha utilizado la técnica del balance hídrico en el suelo, con periodicidad diaria. Se ha calculado a partir de los datos de precipitación, obtenidos de las estaciones meteorológicas, y de evapotranspiración potencial, calculados con la aplicación de distintos métodos. La escorrentía superficial ha sido calculada mediante el método del número de curva del *Soil Conservatoin Service*. Los valores obtenidos de los distintos componentes varían en función de los valores de evapotranspiración potencial aplicados, siendo la escorrentía superficial media anual sobre el 3-4% de la precipitación media anual del periodo; la infiltración entre el 12 y el 21% de la precipitación media; y la evapotranspiración real entre el 75 y 85 % de la precipitación, todo ello dependiendo del método aplicado para el cálculo de la evapotranspiración potencial. En cuanto a las salidas del balance hídrico general del acuífero, se han determinado los valores de extracción para usos urbanos de manera muy precisa, pero no se tienen datos de los valores de extracción para usos agrícolas ni las salidas naturales hacia el mar, valores que se han delimitado conjuntamente a partir del cierre del balance.

Debido a los escasos medios con que se cuentan, el estudio se ha realizado con los datos disponibles actualmente, sin nuevas campañas de campo que amplíen la información existente sobre los parámetros hidrogeológicos y meteorológicos y sin la ayuda de modelos numéricos informatizados. En consecuencia, somos conscientes de las limitaciones de este balance, que pretende aportar nuevos datos para contrastar y debatir.

## **INTRODUCCIÓN**

En la isla de Menorca, un recurso escaso como es el agua, se combina con el elevado desarrollo turístico de las últimas décadas y con una extensa agricultura, que, aunque se encuentra en retroceso puesto que disminuye el número de explotaciones, ha ido evolucionando poco a poco hacia una agricultura intensiva y un aumento de la superficie de regadíos.

Los recursos hídricos utilizados proceden de los acuíferos, no existiendo en la actualidad recursos hídricos superficiales explotables y habiéndose dado un abandono masivo de la utilización de aljibes con agua de lluvia que antiguamente se utilizaban. Así pues, encontramos gran cantidad de pozos por toda la superficie de la isla, pero con una mayor concentración en la zona sur, sobre el acuífero de Migjorn. Este acuífero es el de mayor importancia de la isla, situado, a grandes rasgos, al sur de una línea que uniría el fondo del puerto de Mahon hasta cala Morell al norte de Ciutadella, extendiéndose sobre una superficie de unos 365 km<sup>2</sup>. Es un acuífero carbonatado formado materiales terciarios del mioceno, calcarenitas bioclásticas. Se trata pues, de un acuífero libre con una doble porosidad, la intergranular y la debida al conjunto de discontinuidades, con un desarrollo cárstico que aumenta hacia el mar.

Debido a lo anteriormente expuesto, es de gran importancia el conocimiento del funcionamiento de los acuíferos de la isla, caracterizar el valor de la recarga y definir la cantidad que se extrae para los distintos usos con el fin de poder gestionar los recursos hídricos de manera sostenible.

## **BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO DE MIGJORN**

### **1. Esquema de cálculo utilizado.**

La recarga sería el volumen de agua que entra al acuífero y las salidas de agua de éste corresponden a las extracciones para usos urbanos y agrícolas, así como las salidas naturales a fuentes y descarga subterránea hacia el mar. La recarga difusa procedente de la precipitación se ha caracterizado mediante un balance hídrico diario en el suelo o zona no saturada, el cual tiene como entrada la precipitación y como salidas la evapotranspiración real, la escorrentía superficial y la infiltración eficaz. Este último valor pasa a ser variable de entrada del balance en el acuífero. Es decir, nos encontraríamos con un balance de agua en el suelo y posteriormente el balance de agua en el acuífero.

Los distintos balances se han realizado para tres zonas diferenciadas del acuífero: plataforma oriental, que incluye Mahón, St. Lluís y es Castell; la central, con los municipios de Alaior, Es Mercadal, Es Migjorn Gran y Ferreries; y, por último, la plataforma occidental, ocupada por el municipio de Ciutadella.

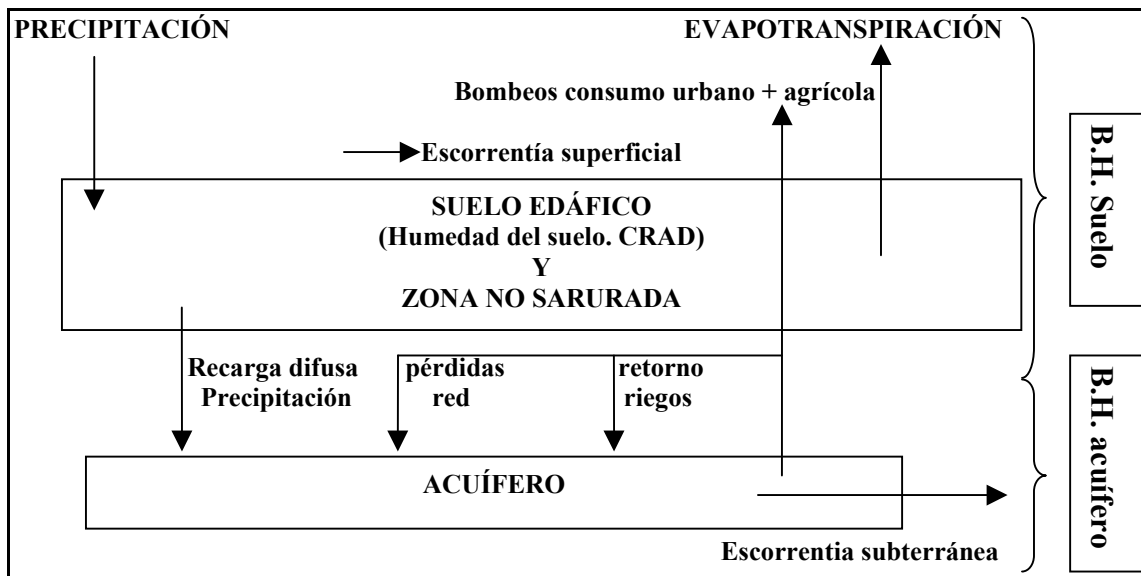


Figura 1. Esquema del balance hídrico en el suelo y acuífero

## 2. El balance de agua en el suelo. Parámetros y variables internas utilizadas.

### a) La precipitación.

Para el cálculo del balance hídrico diario en el suelo se han utilizado las series diarias de precipitación de tres estaciones de la isla: aeropuerto de Menorca, en Mahón; estación de Mercadal-s'Arada, en la zona centro; y, por último, la estación del Puerto de Ciutadella. Las series diarias corresponden al período 1984-2002 facilitadas por el Instituto Nacional de Meteorología. La precipitación media anual para la isla, para el período 1972-2002, calculada con datos mensuales procedentes de 9 estaciones de la isla y mediante el método de polígonos de Thiessen, es de 565 mm anuales, pero en el período de estudio (1984-2002) la precipitación es inferior (555 mm). Hay que tener en cuenta que el período de estudio es inferior a 30 años y no pueden compararse estrictamente ambas medias debido a que la última es una serie más corta, pero nos muestra que nos encontramos en un período con una pluviometría media inferior a la habitual, que incluye varios períodos de sequías (1981-1984, 1992-1995, 1999-2001). Por otro lado, se ha constatado que la precipitación ha ido disminuyendo a lo largo del siglo XX.

La distribución de las lluvias durante el año sigue el típico esquema mediterráneo. Se trata de un clima xerotérico de tipo marítimo, con períodos de aridez que pueden durar de tres a cinco meses, con una precipitación mínima en el mes de julio (5-6 mm mensuales) y una precipitación máxima en otoño, el mes de noviembre, único mes húmedo con 80-90 mm mensuales, siendo el resto el año semihúmedo.

### b) Capacidad de retención de agua en el suelo o reserva útil.

Un término importante en el cálculo del balance hídrico en el suelo es la cantidad de agua que puede quedar retenida en éste. Debido a la falta de medios para realizar campañas de campo, la capacidad de retención ha sido calculada mediante los datos disponibles. El único estudio de suelos existente presenta una serie de puntos de muestreo en los que se evalúa la granulometría, porcentaje de materia orgánica y espesor de cada horizonte entre otros datos. Los puntos de muestreo son escasos y no

muy completos pero son los únicos disponibles. Así pues, se ha calculado el punto de marchitez permanente, la capacidad de campo, y la máxima retención del suelo calculada como diferencia de los valores anteriores, obteniendo valores muy dispersos, entre los 20 y 300 mm, aunque la mayoría de puntos de muestreo se encuentran entre los 65 y 120 mm, dándose una media de 78 mm.

**c) Evapotranspiración.**

La evapotranspiración real (ETR) se obtiene en el balance hídrico diario a partir de los valores de evapotranspiración potencial (ETP) y dependiendo del agua disponible debido a la precipitación y la acumulada en el suelo, siguiendo el esquema del balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957), Sánchez y blanco (1985) y Gandullo (1985,1994).

La ETP ha sido calculada mediante los métodos de Thornthwaite y Turc para datos mensuales y los métodos de Hargreaves y Penman-Monteith para datos diarios. Se ha realizado una comparativa de los resultados obteniendo valores entre los 800 y 1200 mm anuales de media, siendo los menores calculados con el método de Thornthwaite y los mayores con el método de Penman-Monteith. Diversos estudios comparativos realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje (ICID), a partir de la evaluación de veinte ecuaciones d'ETo para once localidades con condiciones climáticas y geográficas distintas (Jensen et al. 1990), recomiendan el método de Penman-Monteith como el que mejores resultados ofrece (Allen et al.1998). Parece interesante pues, calcular la ETP mediante este método pero nos encontramos con la problemática de la cantidad de datos de partida necesarios, que sólo han podido obtenerse de la estación meteorológica del aeropuerto de Menorca y para un periodo muy corto, del 1997 a la actualidad. A partir de los cálculos realizados para este periodo se ha intentado aproximar los valores de ETP de Penman-Monteith a través de los otros métodos de cálculo para el periodo completo, obteniendo buenas aproximaciones. Para datos mensuales a partir del método de Turc que era el que mejor se aproxima y para datos diarios con el método de Hargreaves. El problema que observamos con la aproximación de Hargreaves, es que, aunque los valores aproximados son muy cercanos a los valores reales calculados con Penman-Monteith, se da una sobrevaloración de los valores de ETP en la época de invierno y mitad de primavera y otoño, con lo cual, justamente en los meses que se da infiltración al acuífero estamos sobre valorando ligeramente la ETP, lo que puede producir infravaloraciones de la infiltración al cabo del año.

Para el cálculo del balance hídrico diario en el suelo se han diferenciado dos hipótesis o modelos, el primero con los valores aproximados de Penman-Monteith a través del método de Hargreaves, y el segundo modelo con la ETP calculada directamente con el método de Hargreaves, la cual cosa nos permite definir el rango, es decir, los valores máximos y mínimos entre los que encontramos los distintos parámetros del balance.

Con el método de Penman aproximado obtenemos unos valores de ETR sobre los 476 mm anuales de media y con la ETP de Hargreaves de unos 417 mm, lo que representa un 85 y un 75% de la precipitación media anual del periodo respectivamente.

---

El cálculo de la ETr por el método de Turc-Coutagne da unos valores de 500 mm anuales.

#### **d) Escorrentía superficial**

Debido a que nos encontramos con una falta de estaciones de aforo en la zona de estudio, la escorrentía superficial ha estado calculada mediante el método del número de curva del Soil Conservation Service, que trata de determinar la escorrentía superficial directa que genera un aguacero o lluvia aislada de intensidad conocida en cuencas no aforadas. Se basa en unos coeficientes tabulados (numero de curva) que determinan la capacidad que posee la cuenca vertiente de producir escorrentía para un aguacero determinado. Dicha capacidad depende de varios factores inherentes a la cuenca, como son el tipo de vegetación o cultivo, las practicas agrícolas, los usos del suelo, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, etc. Así pues, mediante sistemas de información geográfica se ha realizado un trabajo de superposición y reclasificación de las diversas capas de información obteniendo mediante las tablas del Soil Conservatrion Service un mapa de número de curva para la isla. Los valores medios de CN para cada zona son: 75 para el levante, 70 para la zona centro y 73 para la zona de poniente. Estos números de curva son tabulados para las condiciones previas de humedad medias, que se refieren a un suelo parcialmente húmedo (AMC II) pero existen tablas que relacionan los valores de CN para condiciones intermedias y sus correspondencias para condiciones de humedad AMC I (suelo seco) y AMC III (suelo saturado). En el balance diario se usa un valor de CN u otro teniendo en cuenta las condiciones de humedad del suelo cada día.

A partir de los valores medios de número de curva para cada zona, y para cada día, se calcula la escorrentía directa. Obtenemos unos valores anuales medios de 15 mm (3% de la precipitación anual media) para el cálculo con valores de ETP de Penman - Monteith aproximado, y de 20 mm (4%) para el cálculo con valores de ETP de Hargreaves. Aunque la escorrentía superficial no depende directamente de la evapotranspiración, se encuentran estas ligeras diferencias entre ambos modelos debido a que los balances muestran pequeñas diferencias en los valores diarios de agua retenida en el suelo, es decir, en las condiciones previas de humedad.

En cuanto a la distribución de la escorrentía durante el año, encontramos los valores máximos el mes de noviembre, diferenciándose mucho del resto del año. La escorrentía mínima se da los meses de mayo, junio y julio.

#### **e) Infiltración difusa procedente de la precipitación**

A partir del cierre del balance hídrico diario obtenemos los valores de infiltración, que se encuentran entre los 64 mm anuales de media del periodo de estudio, calculados con la ETP de Penman-Monteith aproximada (12% de la precipitación anual media); y los 118 mm calculados con valores de partida de ETP de Hargreaves (21% de la precipitación anual media). Vemos que la infiltración se concentra en los meses de otoño, con un máximo el mes de noviembre, siendo inferior en invierno y primavera y casi nula durante los meses de verano, exceptuando septiembre, en que empieza a darse infiltración.

Si nos fijamos en la distribución de la infiltración a lo largo del periodo de estudio, vemos como ésta es muy pequeña durante los periodos de sequía, encontrando mínimos

en los años especialmente secos dentro de estos periodos, como son el 1989 o el 1992. En estos años el balance es claramente deficitario, con infiltraciones inferiores a 25 y 60 mm anuales respectivamente y, por tanto, se producen disminuciones importantes de las reservas. Otros años con pluviometría elevada como el 1987, con infiltraciones anuales de más de 250 mm anuales o el 1996 con infiltraciones de alrededor de los 230 mm, o más recientemente el 2001, con más de 200 mm permiten una recuperación de las reservas o mantener los niveles.

Expresión final del balance hídrico en el suelo.

La tabla siguiente muestra el balance hídrico anual medio en el suelo tomando valores de ETP de Penman-Monteith aproximado.

	<i>pluviometría</i>	<i>ETR</i>	<i>escorrentía</i>	<i>infiltración</i>	<i>unidades</i>
Migjorn	558.0	474.2	15.1	<b>64.4</b>	mm
	100	85	3	12	% de precipitación
	214.0	181.8	5.7	<b>24.9</b>	hm <sup>3</sup>
Levante CRAD=45 CN=75	536.9	445.4	13.6	74.9	mm
	48.7	40.4	1.2	6.8	hm <sup>3</sup>
Centro CRAD=76 CN=71	571.8	513.5	22.6	29.3	mm
	74.6	67.0	3.0	3.8	hm <sup>3</sup>
Poniente CRAD=50 CN=73	565.3	463.8	9.2	88.9	mm
	90.6	74.4	1.5	14.3	hm <sup>3</sup>

Tabla 1. Balance hídrico a partir de los valores de ETP de Penman-Monteith aproximado

A continuación el balance hídrico anual medio en el suelo tomando valores de ETP de Hargreaves.

	<i>pluviometría</i>	<i>ETR</i>	<i>escorrentía</i>	<i>infiltración</i>	<i>unidades</i>
Migjorn	558.0	413.7	20.0	<b>117.7</b>	mm
	100	75	4	21	% de precipitación
	213.9	159.0	7.6	<b>44.8</b>	hm <sup>3</sup>
Levante CRAD=45 CN=75	536.9	376.1	14.6	141.7	mm
	48.7	34.1	1.3	12.8	hm <sup>3</sup>
Centro CRAD=76 CN=71	571.8	462.9	33.8	64.8	mm
	74.6	60.4	4.4	8.5	hm <sup>3</sup>
Poniente CRAD=50 CN=73	565.3	402.1	11.8	146.7	mm
	90.6	64.5	1.9	23.5	hm <sup>3</sup>

Tabla 2. Balance hídrico a partir de los valores de ETP de Hargreaves

Las tablas y gráficos siguientes muestran los valores medios mensuales para el año medio del periodo 1984-2002. Se presentan ambos balances: modelo a partir de ETP de Penman-Monteith aproximado (tabla 3 y gráfico 1) y modelo a partir de ETP de Hargreaves (tabla 4 y gráfico 2). Estos valores mensuales se han extraído de sumar los valores de los 30 o 31 días del mes y, posteriormente, calcular la media del periodo para cada mes. En un balance hídrico mensual para el año medio, calculado con los valores medios mensuales, encontraríamos que la ETR es igual a la pluviometría en los meses en que la ETP es superior a la pluviometría, y en los meses en que la pluviometría

supera a la ETP, la ETR sería igual a la ETP y, por tanto inferior a la pluviometría, dándose excedentes que corresponderían a la infiltración y escorrentía superficial. En nuestro caso, podemos comprobar en los gráficos que no se dan estas condiciones de manera exacta, debido a que son valores extraídos del balance hídrico diario y por tanto minimizamos errores a la hora de caracterizar los excedentes. En climas áridos y semiáridos, como el caso expuesto, deben tratarse con periodicidades diarias si es posible, ya que las precipitaciones se concentran en unos pocos días, no son repartidas de manera homogénea en el año. Podemos comprobar que tratando con valores medios mensuales, en casi la totalidad del año la ETP supera la precipitación, exceptuando el mes de noviembre, pero tratando con valores diarios, hay días a lo largo del año, sobretodo centrados en otoño y primavera, en que la pluviometría supera la ETP, y por tanto, al sumar estos valores diarios obtenemos excedentes al cabo del mes, la cual cosa no ocurre tratando valores medios mensuales.

<b>Modelo 1. B.H. con valores de ETP Penman-Monteith aproximado. Unidades: mm</b>												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem	octubre	noviem	diciemb
pluvio	61	42	34	49	35	14	7	26	65	72	100	52
ETR	49	41	40	44	41	18	6	19	45	61	55	55
escorr	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	7	1
infiltra	9	5	1	0	1	0	0	2	6	12	20	7

Tabla 3. balance hídrico en el suelo. Modelo de Penman – Monteith aproximado

<b>Modelo 2. B.H. con valores de ETP Hargreaves. Unidades: mm</b>												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem	octubre	noviem	diciemb
pluvio	61	42	34	49	35	14	7	26	65	72	100	52
ETR	31	39	47	50	45	18	6	18	42	51	36	30
escorr	3	2	0	0	0	0	0	1	1	2	8	3
infiltra	25	13	3	1	1	0	0	2	7	16	31	19

Tabla 4. Balance hídrico en el suelo. Modelo de Hargreaves

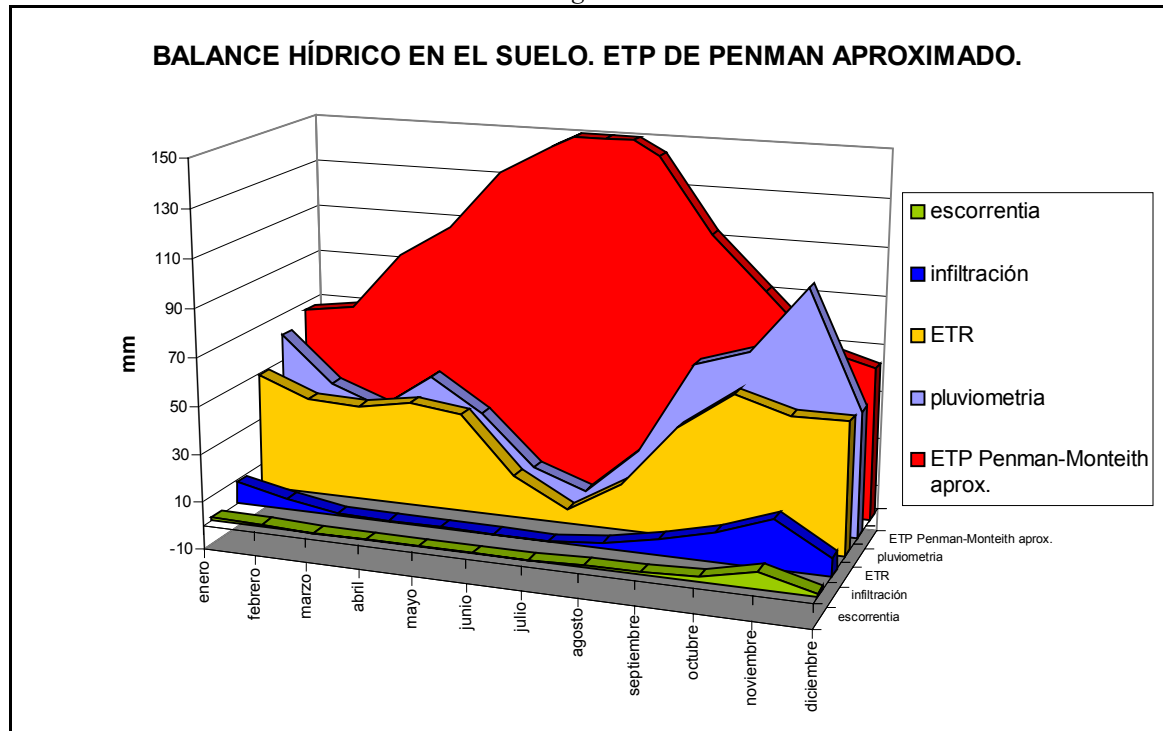


Gráfico 1. balance hídrico en el suelo. Modelo de Penman – Monteith aproximado

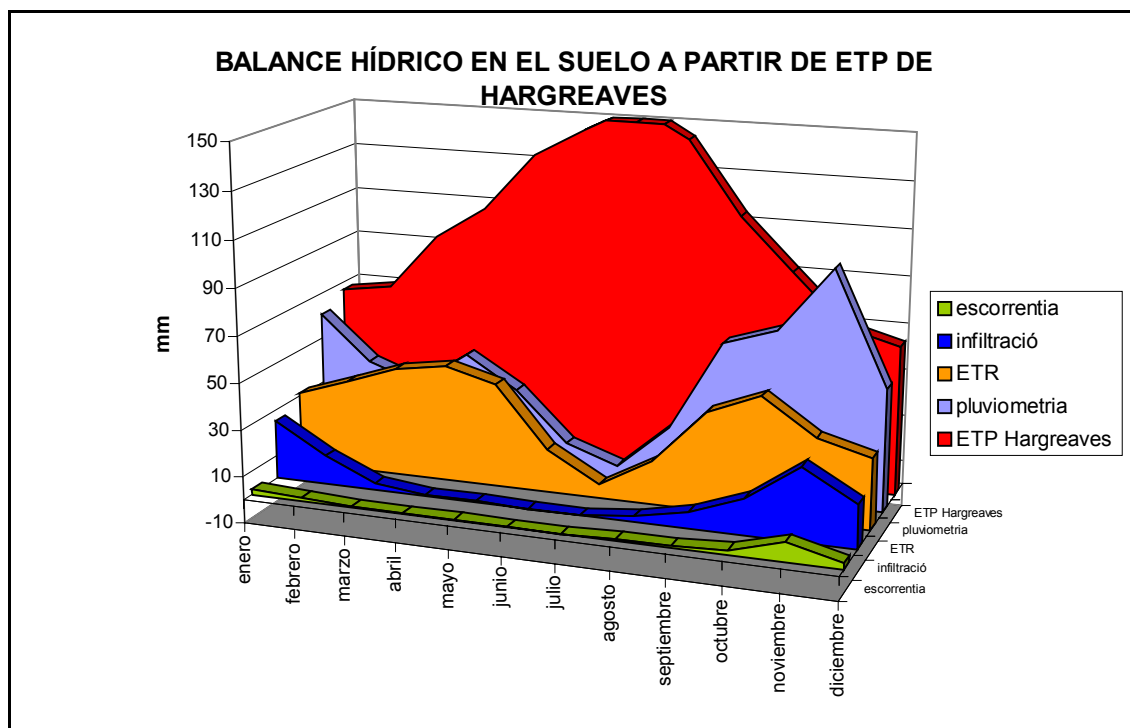


Gráfico 2. Balance hídrico en el suelo. Modelo de Hargreaves

### 3. Balance de agua en el acuífero. Parámetros y variables internas utilizadas.

#### 3.1. Entradas al acuífero

##### a) Infiltración difusa de la precipitación.

A partir del cálculo del balance de agua en la zona no saturada obtenemos como componente de salida el valor de la infiltración difusa procedente de la precipitación para el periodo 1984-2002, que utilizaremos ahora como componente de entrada en el balance del acuífero o zona saturada. Recordamos que los valores se encuentran entre el 12 y 21% de la precipitación media anual, dependiendo del método de cálculo de la ETP utilizado.

##### b) Retornos de riego y pérdidas de las redes de abastecimiento y saneamiento.

No se tienen datos precisos de los retornos de riego ya que no se ha realizado un estudio pormenorizado de las extracciones para usos agrarios, los métodos de riego y las necesidades hídricas de los cultivos, por tanto, no se ha tenido en cuenta este término en el balance. Quedan como componentes a delimitar con el cierre del balance las extracciones netas para agricultura.

Referente a la reinfiltración procedente de las pérdidas de agua en las redes de abastecimiento y saneamiento, las hemos valorado en un 35% de las extracciones para usos urbanos. Hemos calculado que la pérdida en redes media en la isla se encuentra alrededor del 30%, cifra a la que hay que añadir las pérdidas en redes de saneamiento, y teniendo en cuenta que las pérdidas no vuelven íntegras al acuífero.

---

### **3.2. Salidas**

#### **a) Extracciones para usos urbanos**

Hemos recopilado los datos de volúmenes de agua extraídos con periodicidad mensual de pozos para usos urbanos, incluyendo usos domésticos, industriales y turísticos. La totalidad de los datos solo ha podido reunirse para el periodo 1999-2002 con lo cual, el resto del periodo de estudio (1984-1998) ha tenido que ser estimado. El volumen extraído ha seguido una tendencia al aumento durante todo el periodo estudiado, atenuándose ligeramente del año 2001 al 2002, debido a una ligera disminución de la presión humana sobre la isla, dándose una elevada correlación entre la población que se encuentra sobre la isla y el consumo de agua. La extracción para usos urbanos del acuífero de Migjorn es de unos 11,5 Hm<sup>3</sup> en el 2002, con un comportamiento claramente estacional, dándose puntas de consumo en julio y agosto (1,5 Hm<sup>3</sup>/mes) mientras que los meses de invierno se encuentra alrededor de los 0,6-0,7 Hm<sup>3</sup>. La extracción distribuida en las distintas zonas del acuífero es de 5,6 Hm<sup>3</sup> en la zona de poniente, seguida de la zona de levante con 4,1 Hm<sup>3</sup> y, finalmente, la zona centro con un consumo de unos 1,7 Hm<sup>3</sup>.

#### **b) Extracciones para usos agrícolas**

Tal como hemos comentado anteriormente, las extracciones para usos agrícolas no han sido objeto de estudio por el momento, debido a la dificultad que comporta una buena estimación, ya que existen gran cantidad de pozos repartidos por toda la isla sin haber un estricto control de los pozos existentes ni de las extracciones. Así pues, es necesario un estudio completo sobre esta temática. Quedará pues como término a delimitar con el cierre del balance.

#### **c) Salidas difusas al mar y barrancos**

Estudios anteriores sitúan las salidas al mar entre los 27 y 82 Hm<sup>3</sup>, calculado a partir de los valores de transmisividad y gradientes piezométricos (Fayas, 1972). Vemos que se trata de unos valores muy dispersos y los balances hídricos realizados anteriormente aproximan estas salidas naturales a partir del cierre del balance. En nuestro caso, tenemos dos términos a delimitar con el cierre del balance: las extracciones agrarias, comentado anteriormente, y las salidas naturales del acuífero. Como resultado del cierre del balance obtendremos el volumen de agua disponible neto para la agricultura más salidas difusas al mar y barrancos.

### **3.3. Evolución de las reservas. Niveles piezométricos**

Existe una extensa red de piezómetros repartidos sobre la isla. Se realizan medidas mensuales desde el año 1984 hasta la actualidad, razón por la cual se ha escogido este periodo de estudio para realizar el balance. Analizando los datos observamos un continuo y generalizado descenso de los niveles. En la plataforma oriental del acuífero encontramos unos descensos medios acumulados de los piezómetros no influenciados por extracciones, de 15 metros en el total del periodo, con una pendiente máxima de descenso entre 1989 y 1997. El inicio y final del periodo tienen un descenso de menor pendiente. Encontramos problemas de intrusión marina en la zona de las urbanizaciones del sur de esta plataforma. La zona centro no ha sufrido descensos acumulados tan

importantes en algunos de sus piezómetros, de unos 7 metros, mientras que otros experimentan descensos en verano y ciertas recuperaciones en invierno pero sin volver a recuperar los niveles anteriores, acumulando descensos de entre 20 y 30 metros en el total del periodo. Los piezómetros costeros en esta zona no experimentan descensos acumulados importantes pero se manifiesta una gran estacionalidad de los niveles. No se encuentran problemas de intrusión debido a la hidrogeología de la zona, que presenta un flujo subterráneo hacia los barrancos y poca permeabilidad hacia la costa (Fayas,1972). La plataforma occidental ha experimentado descensos acumulados de pocos metros, incluso solo de centímetros, debido a que los niveles piezométricos se encuentran muy cercanos al nivel del mar y la cercanía de las extracciones a la costa. Normalmente las extracciones cercanas a la costa no suelen afectar a los niveles piezométricos debido a que aprovechan los excedentes que van al mar, pero una mala gestión del recurso puede fácilmente provocar problemas de salinización del acuífero. A causa de esta cercanía de las extracciones a la costa y la concentración de pozos en la zona costera, con poca distancia entre los principales pozos de abastecimiento, y la gran permeabilidad del terreno en esta zona, se producen problemas de intrusión marina siguiendo esta franja costera, con mayor importancia en las urbanizaciones de la costa sur del municipio y en la zona del núcleo urbano de Ciudadela, donde la interfase agua dulce - agua salada puede encontrarse varios kilómetros tierra adentro (Fayas, 1972)

**Expresión final del balance hídrico en el acuífero.**

La tabla 5 muestra los valores finales de los parámetros del balance en el acuífero calculado con los valores de ETP de Penman-Monteith aproximado.

Hm <sup>3</sup>		LEVANTE	CENTRO	PONIENTE	MIGJORN
ENTRADAS	INFILTRACIÓN DE PRECIPITACIONES	6.8	3.8	14.3	24.9
	PERDIDAS DE RED	1.4	0.7	1.9	4.1
	TOTAL	8.2	4.5	16.2	29
SALIDAS	CONSUMO URBANO	4.1	2.0	5.5	11.6
	<b>DISPONIBLE NETO</b>				
	<b>CONSUMO AGRÍCOLA + SALIDAS MAR</b>	<b>4.1</b>	<b>2.5</b>	<b>10.7</b>	<b>17.4</b>
	TOTAL	8.2	4.5	16.2	29

Tabla 5. balance en el acuífero calculado con los valores de ETP de Penman-Monteith aproximado

En la tabla 6 observamos los valores de los diversos componentes del balance calculado con los valores de ETP de Hargreaves

Hm <sup>3</sup>		LEVANTE	CENTRO	PONIENTE	MIGJORN
ENTRADAS	INFILTRACIÓN DE PRECIPITACIONES	12.8	8.5	23.5	44.8
	PERDIDAS DE RED	1.4	0.7	1.9	4.1
	TOTAL	14.2	9.2	25.4	48.9
SALIDAS	CONSUMO URBANO	4.1	2.0	5.5	11.6
	<b>DISPONIBLE NETO</b>				
	<b>CONSUMO AGRÍCOLA + SALIDAS MAR</b>	<b>10.1</b>	<b>7.2</b>	<b>19.9</b>	<b>37.3</b>
	TOTAL	14.2	9.2	25.4	48.9

Tabla 6. balance calculado con los valores de ETP de Hargreaves

---

#### 4. Análisis de los resultados

Las diferencias clave entre los dos balances se encuentran en la ETR, más elevada en el modelo de Penman-Monteith que en Hargreaves, lo que comporta diferencias en los valores de infiltración, que en el primer modelo, el más pesimista, son de 25 Hm<sup>3</sup>; y en el segundo, el más optimista, de 45 Hm<sup>3</sup>. Con el cierre del balance obtenemos en el primer modelo un volumen disponible neto para la agricultura más las salidas naturales de 17 Hm<sup>3</sup>, mientras que en el modelo más optimista obtenemos unas disponibilidades de 38 Hm<sup>3</sup> para un año medio teniendo en cuenta los niveles actuales de extracción.

Estudios realizados por la Dirección General de Recursos Hídricos del Gobierno Balear estiman unos valores de flujo de salidas naturales al mar de sostenibilidad de 35 Hm<sup>3</sup>, es decir, que consideran necesario un flujo de 35 Hm<sup>3</sup> para mantener los ecosistemas y el buen estado del acuífero. Suponiendo este valor como el flujo de sostenibilidad, obtenemos que, en el caso más pesimista, tenemos un déficit de 17,6 Hm<sup>3</sup> de agua que es necesario que salga hacia el mar y actualmente ya no lo hace, y en consecuencia, no tenemos agua disponible para la agricultura sin sobreexplotar el acuífero. En el modelo más optimista, obtenemos un volumen disponible neto para la agricultura de 3 Hm<sup>3</sup> anuales en un año medio para mantener una gestión sostenible del recurso, teniendo en cuenta los niveles actuales de extracción para usos urbanos. El Plan Hidrológico de Baleares, estima unos valores de extracción para usos agrarios de 11,1 Hm<sup>3</sup>, con unos retornos de riego del 15% lo que supone un volumen consumido neto para agricultura de 9,4 Hm<sup>3</sup> (se trata de una de las estimaciones más a la baja de las existentes). Así pues, en ambos casos, suponiendo como valor de salidas naturales de sostenibilidad estos 35 Hm<sup>3</sup>, el balance hídrico realizado nos indicaría una sobreexplotación del acuífero. Hay que tener en cuenta que no tenemos datos de cómo ha estado calculado el valor de salidas naturales de sostenibilidad ni de si éste es aplicable a nuestro balance, por lo que se hace imprescindible delimitar las salidas naturales al mar y cuál es el volumen de sostenibilidad, así como un estudio concreto del consumo agrario.

El gráfico 3 muestra la evolución del balance calculado a partir de la ETP de Penman-Monteith a lo largo del periodo. Tenemos, por un lado, la infiltración anual procedente de las precipitaciones y las reinfiltraciones por pérdidas de redes y, por otro lado, las extracciones para usos urbanos. Como resultado podemos observar las disponibilidades netas para la agricultura más salidas naturales del acuífero a lo largo del periodo, variando, como era de esperar de manera proporcional a las entradas. Lógicamente, la gestión debería tener en cuenta el año medio.

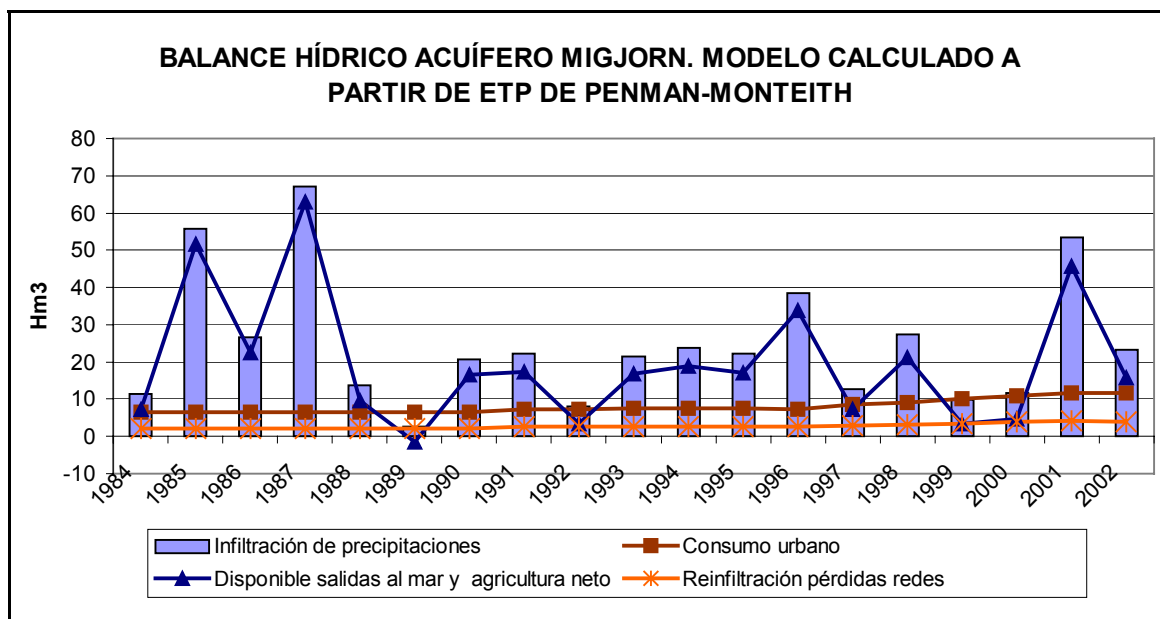


Gráfico 3. Balance hídrico en el acuífero. Modelo Penman-Monteith.

El gráfico 4 muestra la evolución del balance calculado con la ETP de Hargreaves a lo largo del periodo. Como en el caso anterior se muestran las infiltraciones anuales a lo largo del periodo, las extracciones para usos urbanos y las reinfiltraciones procedentes de las pérdidas de redes. Como resultado del cierre del balance obtenemos las disponibilidades netas para agricultura más las salidas naturales del acuífero.

Si suponemos el volumen de salidas naturales de sostenibilidad en  $35 \text{ Hm}^3$  (valores de la DGRRH), podemos distinguir el volumen disponible neto para agricultura a lo largo del periodo. Se comprueba que en los periodos de sequía se da un déficit, con volúmenes disponibles negativos, pero los años 1985, 1986, 1987, 1990, 1991, 1996, 1998 y 2001 presentan excedentes, con volúmenes disponibles para agricultura. Como hemos comentado anteriormente, para el año medio, las disponibilidades netas para agricultura son de  $3 \text{ Hm}^3$ , en este modelo (modelo más optimista) y suponiendo el valor de salidas al mar en  $35 \text{ Hm}^3$ .

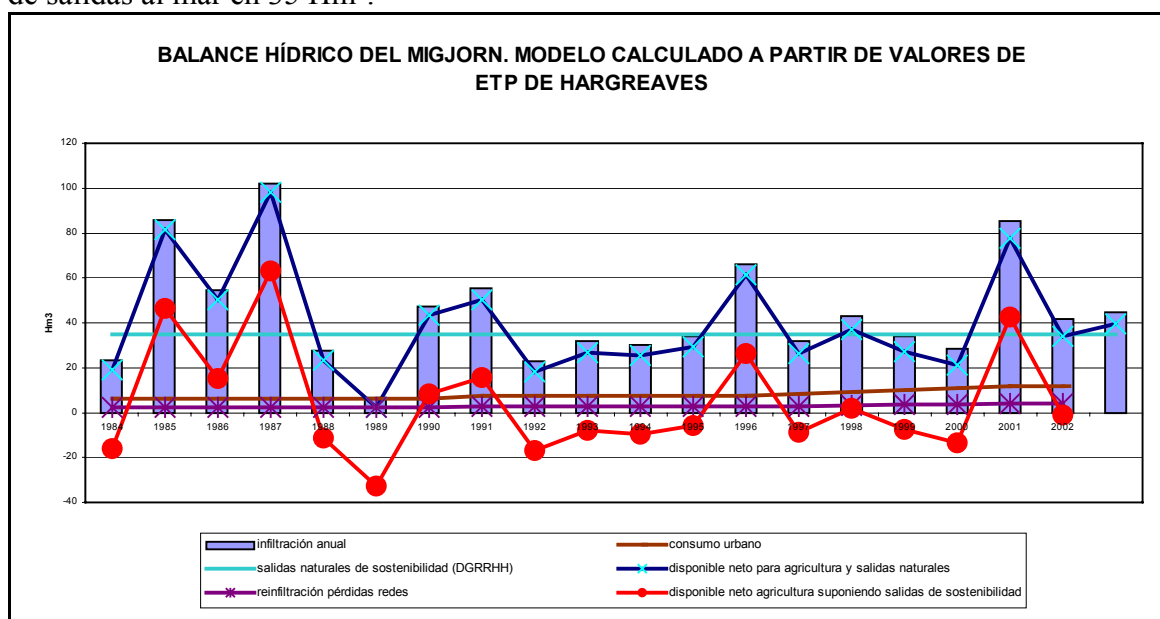


Gráfico 4. Balance hídrico en el acuífero. Modelo Hargreaves.

Como resultado se presenta el nivel piezométrico medido medio para el acuífero y el nivel piezométrico teórico calculado como cierre del balance valorando las salidas al mar de 35 Hm<sup>3</sup> y sin tener en cuenta el consumo agrario (gráfico 5). Podemos observar como los niveles medidos descienden mientras que los calculados se mantienen estables en los 35 metros sobre el nivel del mar a lo largo del periodo sin experimentar un cambio acumulado importante. Es decir, suponiendo unas salidas al mar en 35 Hm<sup>3</sup> y sin extracciones para consumo agrario los niveles piezométricos se mantendrían estables en el periodo de estudio, pero los niveles medios medidos experimentan un descenso de 35 a 25 metros sobre el nivel del mar. Esta diferencia se debe pues a las extracciones para usos agrícolas y a unas posibles salidas al mar que superen los 35 Hm<sup>3</sup> al inicio del periodo. En consecuencia, sería de esperar un continuo descenso de los niveles hasta rebajar las extracciones netas actuales alrededor de los 9 Hm<sup>3</sup> anuales para el conjunto de usos humanos (agrícola + urbano) o hasta rebajar las salidas al mar por debajo de las supuestas salidas de sostenibilidad, lo que supone una disminución de la calidad del agua en las zonas costeras por intrusión marina, así como de las disponibilidades de agua para zonas húmedas.

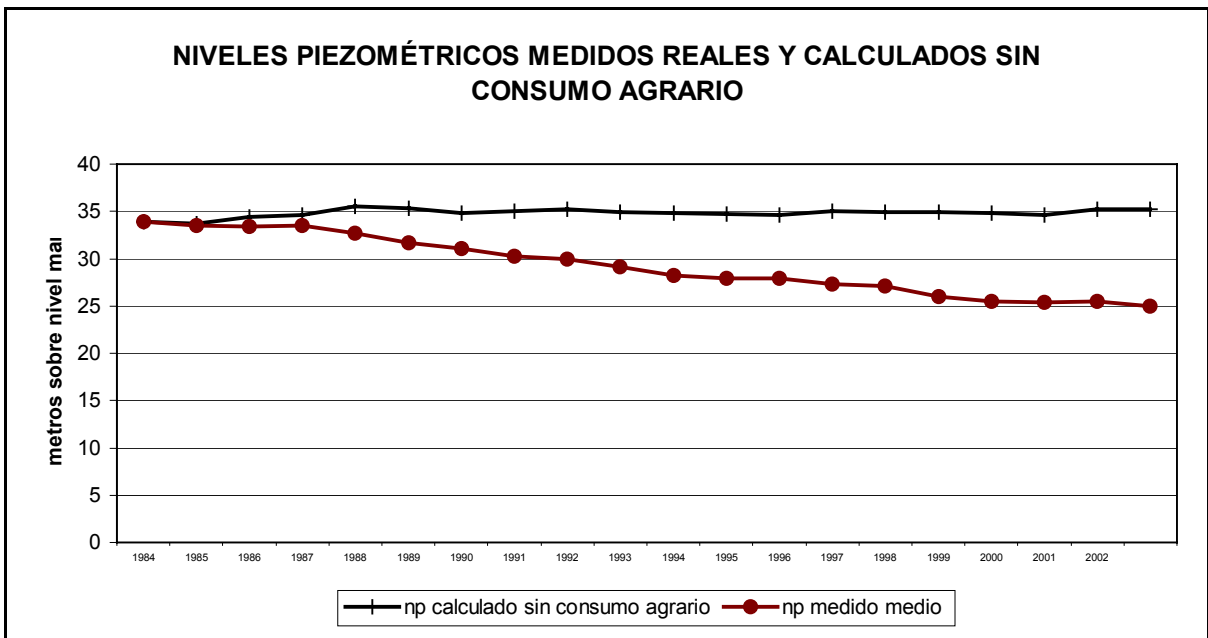


Gráfico 5. niveles piezométricos medidos y calculados suponiendo salidas al mar de 35 Hm<sup>3</sup>. Modelo de hargreaves.

## CONCLUSIONES

El presente artículo ha tenido como objetivo aportar nuevos datos en el estudio del balance hídrico del acuífero de Migjorn. Se han utilizado técnicas numéricas realizando un balance hídrico en el suelo con periodicidad diaria para la caracterización de la recarga difusa y el posterior balance hídrico en el acuífero. El balance se ha realizado para las tres zonas diferenciadas: levante, centro y poniente, así como para la media del acuífero. Se han realizado dos modelos distintos, el primero a partir de los valores de ETP de Penman-Monteith aproximado, y el segundo a partir de los valores de ETP de Hargreaves obteniendo distintos parámetros para cada caso:

- La pluviometría de Menorca ha ido disminuyendo a lo largo del siglo XX. La precipitación media del periodo 1972-2002 es de 565mm, dentro del cual, encontramos el periodo 1984-2002 con una pluviometría inferior (555 mm).
- La ETP se encuentra entre los 878 mm anuales, calculados con el método de Thornthwaite, y los 1212 mm calculados con el de Penman-Monteith.
- En el primer modelo, tomando como valores de partida la ETP de Penman-Monteith aproximado obtenemos unos valores d'ETR anual medios de 474 mm. En el segundo modelo, con ETP de Hargreaves, obtenemos unos valores medios de ETR de 414 mm anuales.
- Se han calculado los valores de capacidad de retención de agua en el suelo a partir de la granulometría, contenido en materia orgánica y espesor del suelo, extraídos de un estudio de suelos. Los puntos de muestreo son insuficientes y los datos poco precisos. Los valores obtenidos se encuentran en su mayoría entre los 65 y 120 mm, con una media de 78 mm.
- La escorrentía superficial directa ha sido determinada a partir del método del número de curva del Soil Conservatoin Service. Los valores obtenidos son de unos 6 Hm<sup>3</sup> anuales para el primer modelo y de 8 Hm<sup>3</sup> para el segundo. La máxima escorrentía se da el mes de noviembre.
- La infiltración se extrae del cierre del balance diario de agua en el suelo. Para el primer modelo obtenemos una media de 25 Hm<sup>3</sup> y para el segundo de 45 Hm<sup>3</sup>. La mayor infiltración se da en otoño y invierno, siendo el máximo el mes de noviembre.
- Las extracciones del acuífero de Migjorn para usos urbanos son de 11,6 Hm<sup>3</sup> anuales en el 2002. Calculamos en un 35% las pérdidas de redes.
- Las extracciones para usos agrícolas no están delimitadas y hace falta un estudio detallado sobre este consumo.
- No se tienen datos precisos sobre las salidas naturales al mar y zonas húmedas.
- Se han calculado a partir del cierre del balance las disponibilidades netas para usos agrarios conjuntamente con las salidas al mar. En el modelo más pesimista obtenemos unas disponibilidades netas medias de 17 Hm<sup>3</sup>, mientras que en el más optimista se valoran en 38 Hm<sup>3</sup>.
- Teniendo en cuenta los valores de salidas al mar de sostenibilidad delimitado en estudios anteriores de la DGRRHH (35 Hm<sup>3</sup>), encontramos que para un año medio tenemos un déficit de 17 Hm<sup>3</sup> de agua que tendría que salir al mar y ya no lo hace actualmente (en el caso más pesimista), mientras que en el caso más optimista tendríamos un volumen neto para agricultura de 3 Hm<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que el PHB calcula el consumo agrícola neto en 9,5 Hm<sup>3</sup>.

---

Por tanto ambos modelos nos indican una sobreexplotación del acuífero teniendo en cuenta estos valores de sostenibilidad.

- Observamos un balance negativo predominante en el periodo estudiado con excepciones de algunos años húmedos, que da como respuesta un descenso continuado de los niveles piezométricos.
- Sería de esperar un continuo descenso de los niveles hasta rebajar las extracciones netas actuales anuales para el conjunto de usos humanos (agrícola + urbano) o hasta rebajar las salidas al mar por debajo de las supuestas salidas de sostenibilidad, lo que supone una disminución de la calidad del agua en las zonas costeras por intrusión marina, así como de las disponibilidades de agua para zonas húmedas.
- Es imprescindible un estudio detallado de las salidas naturales del acuífero y delimitar los valores mínimos para garantizar la sostenibilidad del recurso. Así como un estudio detallado de las extracciones para usos agrarios.

Finalmente destacar la importancia de continuar los estudios acerca del funcionamiento y evolución de los acuíferos y de las extracciones que se realizan para mejorar la gestión de este recurso y asegurar la sostenibilidad. Para aumentar el conocimiento de estos aspectos se hacen imprescindibles campañas de campo para delimitar factores importantes como son la capacidad de retención de agua del suelo, el coeficiente de almacenamiento del acuífero, la escorrentía superficial con estaciones de aforo, piezómetros de medida continua para contrastar los balances diarios en el suelo, incluso datos recogidos por satélite para la determinación de las salidas subterráneas al mar o la evapotranspiración. También sería necesario la integración de estos datos en bases de datos y su territorialización en sistemas de información geográfica.

Sònia Estradé Niubó  
Menorca, 5 de julio de 2004

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, S.L; RAES, D.; SMITH, M.** *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Roma. FAO.1998. Irrigation and Drainage Paper nº 56
- ALMOROX, J.** *La evapotranspiración de referencia según Hargreaves y Turc*. Web etsia
- ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROGEÓLOGOS. GRUPO ESPAÑOL.** *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Textos del seminario celebrado en las Palmas de Gran Canaria. 1997
- CASTANY, G.** *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Ediciones Omega, SA. 1971.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R.** *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega,1983.
- CUSTODIO, E., LAMBAN, J.** *Caracterización de la recarga en la unidad Anoiá: Aplicación de un modelo de balance de agua en el suelo y realización de un balance de cloruros*.
- D'ELIA, M., TUJCHNEIDER, O., PARIS, M., PEREZ, M.** *Estimación de la función de entrada de un sistema de aguas subterráneas en zonas de llanura*.
- DIVERSOS AUTORS.** *Congreso en memoria de Germán Galarza. Las caras del agua subterránea*. Instituto Geológico y Minero de España. 2001.
- FAYAS, J.A.** *Estudio marco para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de Menorca*. Consell Insular de Menorca. 1982.
- FAYAS, J.A.** *Estudio de los recursos hidráulicos totales de la isla de Menorca. Primer informe*. Servicio Geológico de Obras Públicas. 1972
- GIAL, S., HERNÁNDEZ, M.** *Aproximación de la recarga en zonas medanosas*
- HEREDIA, J. Y MURILLO, J.M.** *balance hídrico y estimación de la recarga mediante modelación numérica en pequeñas cuencas del sector sudoriental de la isla de Gran Canaria*. IGME, Madrid.
- GOVERN BALEAR.** *Plan de abastecimiento y saneamiento integral de Baleares. Isla de Menorca*. 1982
- GOVERN BALEAR, D.G.RÈGIM HIDRÀULIC.** *Propuesta del Plan hidrológico de las Islas Baleares*. 1998
- JANSÀ, A.** *Climatología de Menorca*. Enciclopedia de Menorca tom I. Obra Cultural Balear. 1979.
- JANSÀ, J.M.** *Meteorología de Menorca, Balears i la Mediterrània*. IME. Maó, 2002
- LLAMAS, J.** *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 1993.
- MARTELO, M.TERESA.** *Selección de la fórmula de evapotranspiración mejor adaptada al área de Guanare-Masparro*. Venezuela, 1989.
- MENÉNDEZ GINORIO, J y CAÑAZAS, J.** *Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración de referencia*. Cuba: Instituto de Meteorología.
- OBRADOR, A.** *Els recursos hídrics. Jornades sobre conservació i desenvolupament a Menorca*. Programa MAB-UNESCO. IME.1989
- RODRIGUEZ BIOSCA, I. VALLEJO CALZADA, R.** *Mapa de sòls de Menorca*. IME. Maó, 1989.
- SAHUN ARTIGA, MARTA.** *Estudio hidrogeológico de la plataforma occidental del acuífero de Migjorn (Menorca)*. Servicio Geológico de Obras Públicas. 1993.
- SAMPER, J. HUGUET, L., ARES, J., GARCIA VERA, A.** *Modelos interactivos de balance hidrológico. Estudios de la zona no saturada del suelo*. Eds. R Muñoz-Carpena, A. Riter, c. tascon. ICIA: Tenerife, 1999