

MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONOCIMIENTO SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO APOYO A LA GESTIÓN HIDROLÓGICA DE LA CIUDAD DE MELILLA (2018-2020) FASE 2ª.

## **ACTIVIDAD 9: AVANCE SOBRE LA EVOLUCIÓN ACTUALIZADA DE LA RECARGA EN CADA UNO DE LOS ACUÍFEROS (VOLCÁNICO, CALIZO Y ALUVIAL) DE MELILLA**

**Noviembre de 2018**

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	4
2	MARCO FÍSICO.....	4
2.1	Localización geográfica .....	4
2.2	Contexto geológico .....	5
2.3	Marco hidrológico e hidrogeológico .....	5
2.3.1	Acuífero Volcánico.....	5
2.3.2	Acuífero Calizo.....	6
2.3.3	Acuífero Aluvial .....	6
3	TRABAJOS REALIZADOS.....	8
4	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN .....	8
5	ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA .....	12
6	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O DE REFERENCIA.....	13
7	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL Y LLUVIA ÚTIL.....	14
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	16
9	REFERENCIAS .....	17

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de Melilla en su contexto geográfico .....	4
Figura 2: Mapa geológico con los acuíferos asociados del entorno de Melilla y su Demarcación.....	7
Figura 3: Localización geográfica de la estación meteorológica 6000A-MELILLA. ....	8
Figura 4: Distribución temporal de las precipitaciones anuales (mm/año) y de la media anual para en la estación 6000A-MELILLA durante el periodo comprendido entre 1970 y 2018. ....	10
Figura 5: Desviación acumulada de la precipitación diaria respecto a la media (mm/día) en la estación 6000A-MELILLA durante el periodo comprendido entre 1970 y 2018. ....	10
Figura 6: Evolución de las temperaturas medias diarias.....	13
Figura 7: Precipitación, ETP, ETR y LLU obtenidas para la estación de Melilla (periodo 1970-2018) ____	16

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Identificación de la estación meteorológica 6000 <sup>a</sup> -MELILLA.....	8
Tabla 2: Series pluviométricas anuales (mm/año) y algunos estadísticos descriptivos.....	9
Tabla 3: Periodos húmedos y secos .....	11
Tabla 4: Estadísticos descriptivos de la serie de precipitación diaria tratada .....	11
Tabla 5: Series de temperatura media anual (°C) y estadísticos descriptivos .....	12
Tabla 6: Estadísticos descriptivos de temperatura máxima, media y mínima diaria (°C) de la estación de Melilla.....	12
Tabla 7: Estadísticos descriptivos de la evapotranspiración de referencia anual (mm/años) y diaria (mm/día).....	14
Tabla 8: Estadísticos descriptivos de la Lluvia Útil y de la evapotranspiración real anual (mm/año) de la estación de Melilla, calculados para el periodo 1970-2018. ....	15

## 1 INTRODUCCIÓN

La recarga natural de los acuíferos es un parámetro de gran importancia a la hora de llevar a cabo el balance hidrogeológico. Por esta razón, dentro del “*Convenio Específico de colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente de la Ciudad Autónoma de Melilla y el Instituto Geológico y Minero de España, para la investigación de aguas subterráneas como apoyo a gestión hidrológica Ciudad Autónoma de Melilla. Periodo 2017-2020*”, se ha planteado la evaluación actualizada de la recarga natural de cada uno de los acuíferos definidos en la Demarcación (Volcánico, Calizo y Aluvial) dentro de la Actividad 9 del mencionado Convenio.

El presente informe se presenta el tratamiento de los datos meteorológicos de la zona de trabajo. Dicho tratamiento constituirá la base de partida para el cálculo de la recarga natural de los acuíferos implicados en el abastecimiento a Melilla.

Este documento ha sido redactado por los técnicos del Instituto Geológico y Minero de España Crisanto Martín Montañés y Juan Carlos Rubio Campos de la Unidad Territorial de Granada y se ha contado con la colaboración de la empresa GEO S.C.A. en la persona de su hidrogeólogo senior José Alberto Moreno Martínez.

## 2 MARCO FÍSICO

### 2.1 Localización geográfica

La Demarcación Hidrográfica de Melilla está situada al sur del Mar de Alborán, en la península de Tres Forcas, en su cara oriental, junto a la albufera de la Mar Chica y al pie del Monte Gurugú, situado al SW del territorio. Tiene una superficie de 24 km<sup>2</sup> y su máxima altura apenas sobrepasa el centenar de metros. Toda el área presenta un relieve de escasa altitud, sin fuertes pendientes, lo que proporcionará una escasa resistencia a los vientos del Atlántico y del Mediterráneo.



Figura 1: Localización de Melilla en su contexto geográfico

La Demarcación presenta un clima mediterráneo con temperaturas cálidas (algo inferiores a 19º de media anual) y escasas precipitaciones que se reducen a poco más de trescientos cincuenta milímetros anuales. Presentan una significativa irregularidad interanual.

## **2.2 Contexto geológico**

La ciudad de Melilla se encuentra, desde el punto de vista geológico, dentro de la cuenca neógena de Melilla (o Melilla-Nador), que es una de las cuencas post-orogénicas del noreste de la región del Rif, en la que la sedimentación marina comenzó durante el Tortoniense o incluso el Serravalliense. Los afloramientos de estos materiales del Mioceno superior fosilizan los principales eventos orogénicos alpinos y son fácilmente identificables a lo largo del Corredor Rifeño. En esta zona del noreste del Rif donde se ubica geográficamente Melilla, aflora un complejo carbonático marino somero, de edad entre Tortoniense y Messiniense, que se dispone sobre la vertiente sur de un alto estructural (Cabo de Tres Forcas) compuesto por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias estructuralmente basculadas.

## **2.3 Marco hidrológico e hidrogeológico**

Los ríos de la zona, teniendo su nacimiento en el sistema orográfico del Rif, muy cercanos a la costa, no pueden alcanzar el caudal, ni mucho menos la longitud necesaria para poder considerarse propiamente río, la mayoría de ellos son arroyos, casi siempre de curso intermitente, alimentados principalmente por aguas pluviales. La red fluvial de Melilla tiene como eje fundamental el Río de Oro.

En la Demarcación Hidrográfica de Melilla se han definido tres masas de agua subterránea en función de los conjuntos litológicos aflorantes:

### **2.3.1 Acuífero Volcánico**

Se sitúa al sur de la Demarcación y limita al norte con el río de Oro y al oeste con los límites administrativos. Las rocas volcánicas se encuentran bien representadas en el Monte Gurugú desde donde se proyectaron diferentes coladas volcánicas. En Melilla destaca la presencia de afloramientos muy notables en Sidi Guariach y en el barranco Mezquita. En profundidad existen niveles volcánicos más extensos que los de superficie.

Se trata de un conjunto de coladas subaéreas, niveles piroclásticos de caída y niveles volcanoclásticos tobáceos intercalados secuencialmente en la secuencia sedimentaria neógena de la Cuenca de Melilla-Nador. Así, entre los sedimentos neógenos que se extienden al sur del Río de Oro, se constata la presencia de materiales volcánicos, por los sondeos existentes, lo que demuestra una intensa actividad volcánica. En definitiva, los materiales volcánicos se extenderían bajo el recubrimiento cuaternario/neógeno, al menos en la mitad meridional de la Demarcación.

Su alimentación se produce principalmente por infiltración de la precipitación y a través de la infiltración desde los cauces que lo atraviesan desde el oeste por los estratos permeables, tanto dentro de la Demarcación como desde territorio extracomunitario.

### 2.3.2 Acuífero Calizo

Se encuentra al norte de la Demarcación, limitado por la frontera al oeste y con el mar Mediterráneo al este. Su límite sur en superficie lo marca el contacto entre las arenas, arenas calcareníticas y limos blanco-grises del Messiniense con las arenas volcánicas en el arroyo de Sidi Guariach y las proximidades del aeropuerto.

Fundamentalmente está formado por conglomerados, calcarenitas, calizas de algas, brechas, arenas y limos del Mioceno superior (Messiniense). A techo se sitúan caliches y costras carbonáticas del Holoceno. Se extiende al norte del aluvial del río de Oro; si bien existen afloramientos al sur, en la margen derecha del cauce.

A modo de resumen, el Acuífero Calizo se puede subdividir en una Unidad Inferior (UCI) de calcarenitas, una Unidad Intermedia (UDI) formada principalmente por limos amarillentos y arenas y una Unidad Superior (UCS) compuesta por calcarenitas y calizas oolíticas.

Este acuífero se alimenta, además de por la infiltración de la precipitación, por la infiltración superficial, a través de los cauces que lo atraviesan, principalmente el Río Nano y por el oeste a favor de las capas permeables que comunican con el Acuífero Norte de Tigorfaten, que se encuentra en territorio extra comunitario dentro de la cuenca hidrográfica.

### 2.3.3 Acuífero Aluvial

Entre los dos acuíferos definidos anteriormente, que constituyen las MASb del mismo nombre, se encuentra el Acuífero Aluvial, conformado genéricamente por los sedimentos cuaternarios permeables del Río de Oro.

Las formaciones cuaternarias más características están representadas por una costra calcárea, responsable de la morfología tabular de la serie terciaria, y por glaciares y abanicos aluviales antiguos procedentes de la esorrentía superficial desde el Monte Gurugú. Afloran también formaciones fluviales del Río de Oro, así como aluviales-coluviales, coluviones, deslizamientos y desprendimientos, marismas, playas y depósitos antrópicos, cuya extensión superficial es más que significativa.

Este acuífero se alimenta a través de las infiltraciones del mismo río y de sus tributarios (arroyos de Farhana y Alfonso XII, principalmente), desde el acuífero aluvial extracomunitario, situado al oeste, y del drenaje de los acuíferos limítrofes situados a mayor cota. El espesor debe ser menor de 12 m.

En la figura 2 se presenta el mapa geológico con los acuíferos asociados del entorno de la Ciudad Autónoma y de la Demarcación de Melilla. Se resaltan las áreas estimadas de infiltración de los acuíferos calizo (amarillos), aluvial (grises) y volcánico (verde, azul, rojo y magenta).



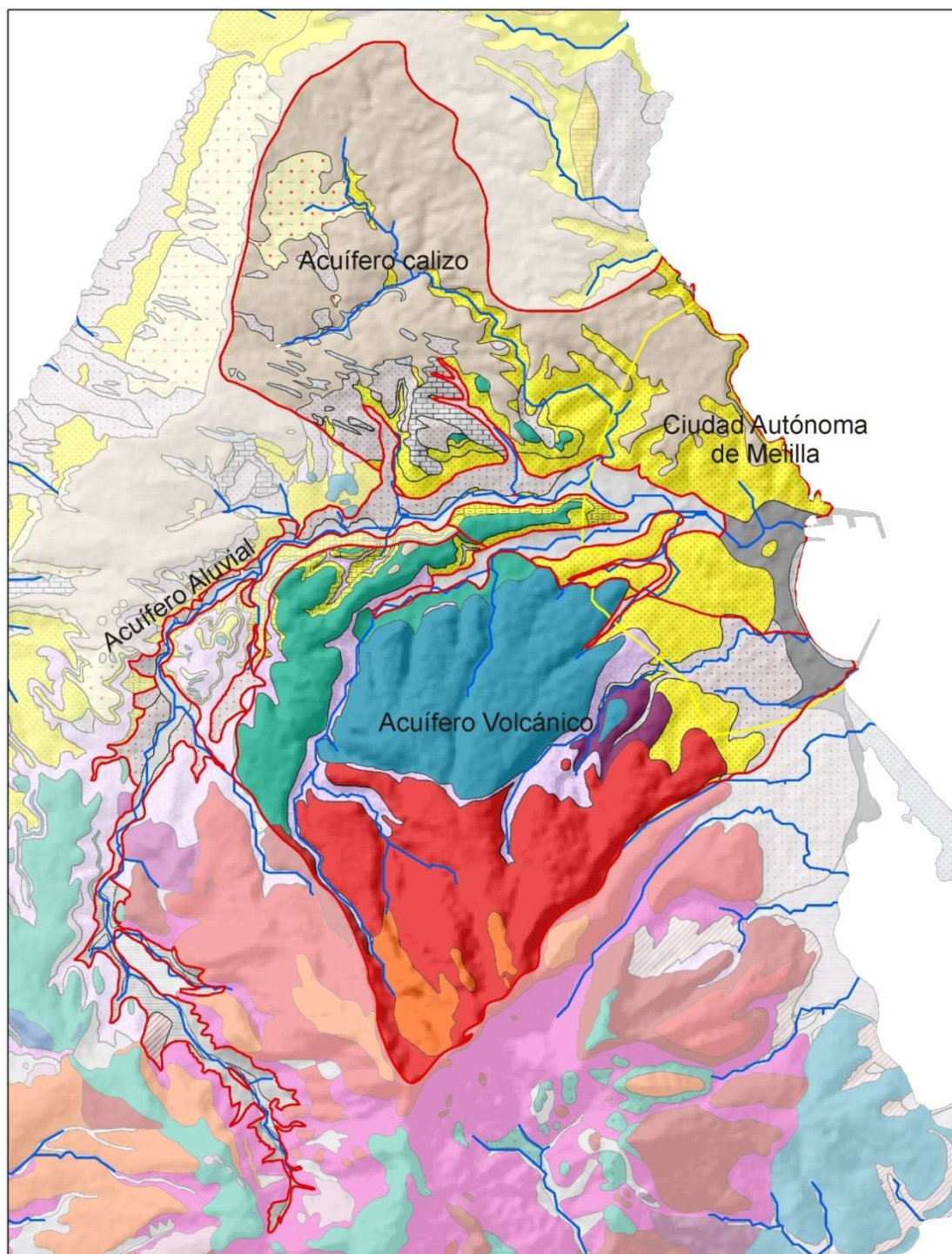


Figura 2: Mapa geológico con los acuíferos asociados del entorno de Melilla y su Demarcación.

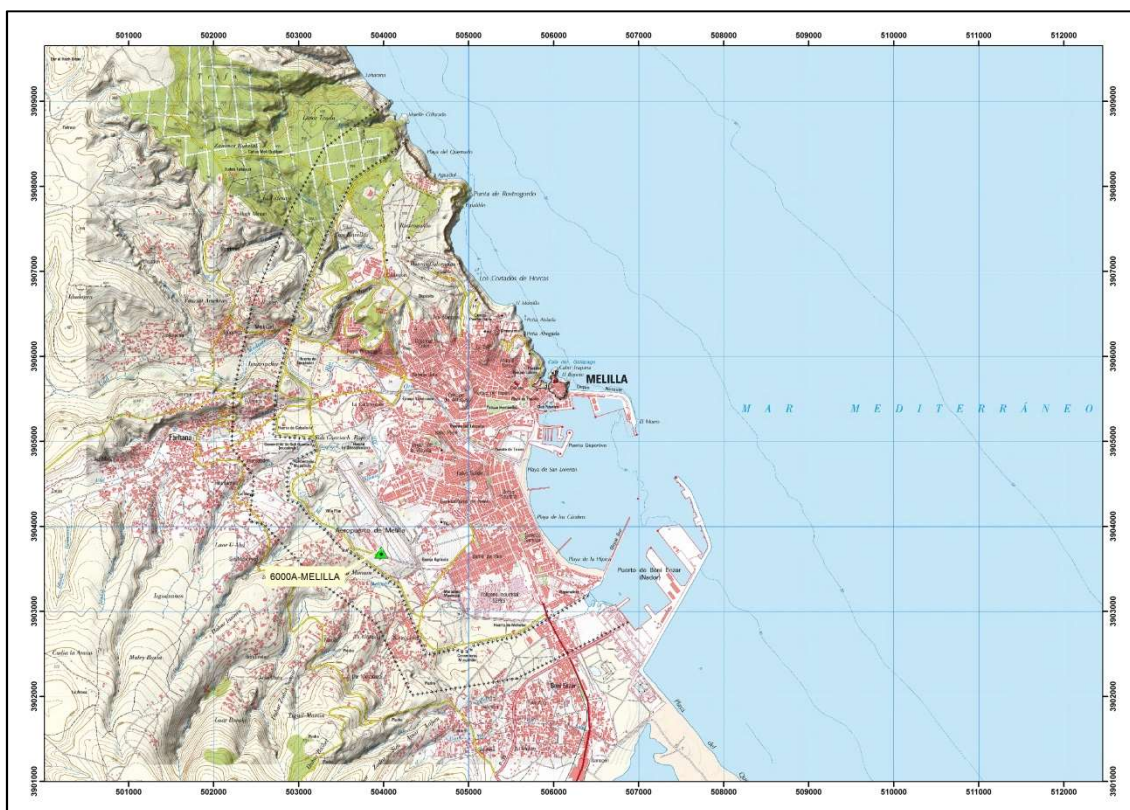
### 3 TRABAJOS REALIZADOS

En este trabajo se han tratado las cuestiones climatológicas que son de aplicación en hidrogeología y que influyen sobre los componentes del ciclo hidrológico: precipitación y evapotranspiración.

Se analizan los datos de la estación meteorológica 6000A-MELILLA de la Agencia Estatal de Meteorología, la única disponible en el territorio (ver figura 3), para obtener los valores de precipitación y temperatura y a partir de éstos, calcular la evapotranspiración potencial y real para finalmente obtener la Lluvia Útil, esencial para la estimación de sus componentes escorrentía superficial e infiltración, factor fundamental del balance hidrogeológico. En la tabla 1 se presentan las coordenadas geográficas para la localización de la estación meteorológica junto con otros datos de interés.

**Tabla 1: Identificación de la estación meteorológica 6000A-MELILLA**

Indic.	Nombre	Latitud	Longitud	Serie	UTM X	UTM Y
6000A	MELILLA	35°16'35"	2°57'23"	1970- 2018	503966	3903695



**Figura 3: Localización geográfica de la estación meteorológica 6000A-MELILLA.**

### 4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

La duración y calidad de la serie de datos pluviométricos es muy homogénea por lo que no ha sido necesario un tratamiento ya que solamente se ha completado un valor. De esta forma, el cálculo de los valores medios anuales y el análisis de la evolución temporal de la pluviometría se han realizado con la información pluviométrica correspondiente a la estación estudiada.



Mediante la agrupación de los datos diarios, se han generado las series de datos anuales. Estos valores se muestran en la tabla 2, junto con algunos datos estadísticos significativos. El valor medio de precipitación anual es de 377,6 mm y coincide aproximadamente con el del año 2017-18. El año más seco es 2015-16 con tan solo 186,3 mm y el más húmedo 2008-09 con una precipitación de 654,7 mm.

**Tabla 2: Series pluviométricas anuales (mm/año) y algunos estadísticos descriptivos**

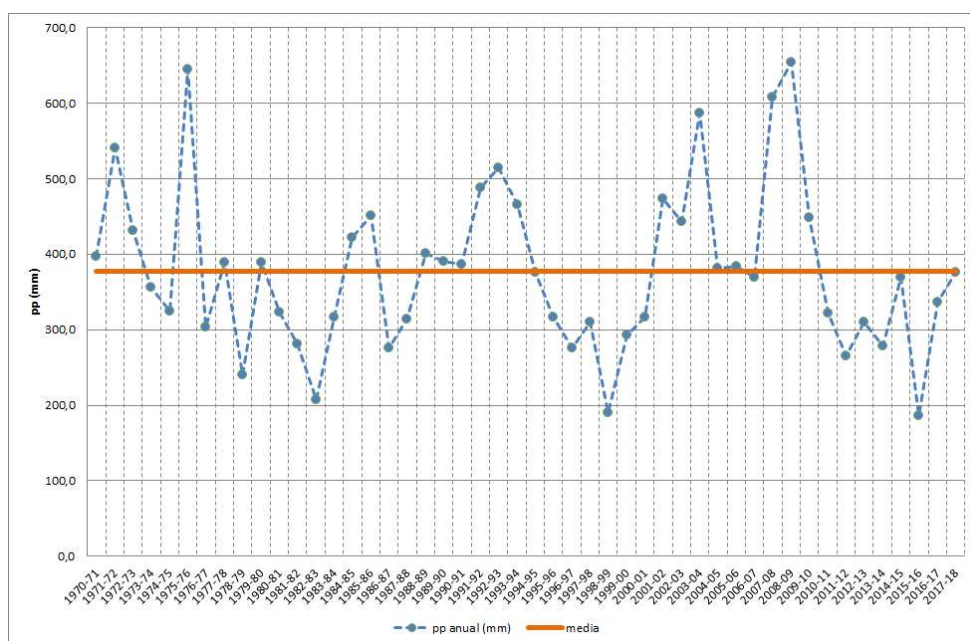
Año hidr.	pp anual (mm)	Año hidr.	pp anual (mm)	Año hidr.	pp anual (mm)
1970-71	396,9	<b>1986-87</b>	275,7	<b>2002-03</b>	443,1
1971-72	540,3	<b>1987-88</b>	314,0	<b>2003-04</b>	586,9
1972-73	431,2	<b>1988-89</b>	400,9	<b>2004-05</b>	381,2
1973-74	356,9	<b>1989-90</b>	390,9	<b>2005-06</b>	384,3
1974-75	324,1	<b>1990-91</b>	387,0	<b>2006-07</b>	369,9
1975-76	644,7	<b>1991-92</b>	488,4	<b>2007-08</b>	607,7
1976-77	304,0	<b>1992-93</b>	514,3	<b>2008-09</b>	654,7
1977-78	388,7	<b>1993-94</b>	466,2	<b>2009-10</b>	448,7
1978-79	240,0	<b>1994-95</b>	375,8	<b>2010-11</b>	321,8
1979-80	389,6	<b>1995-96</b>	317,0	<b>2011-12</b>	264,8
1980-81	323,7	<b>1996-97</b>	275,2	<b>2012-13</b>	310,7
1981-82	280,6	<b>1997-98</b>	309,6	<b>2013-14</b>	278,5
1982-83	207,0	<b>1998-99</b>	189,7	<b>2014-15</b>	369,0
1983-84	316,5	<b>1999-00</b>	292,5	<b>2015-16</b>	186,3
1984-85	422,1	<b>2000-01</b>	316,2	<b>2016-17</b>	337,0
1985-86	450,6	<b>2001-02</b>	474,0	<b>2017-18</b>	376,1

<b>Media</b>	377,6
<b>Máximo</b>	654,7
<b>Mínimo</b>	186,3
<b>Desviación estándar</b>	109,3
<b>Coeficiente de variación</b>	0,3
<b>Mediana</b>	372,9
<b>Coeficiente de asimetría</b>	0,7

En cuanto a los estadísticos descriptivos, se observa como al tratarse de una variable como la precipitación se obtienen valores de desviación estándar, coeficientes de variación y coeficientes de asimetría altos.

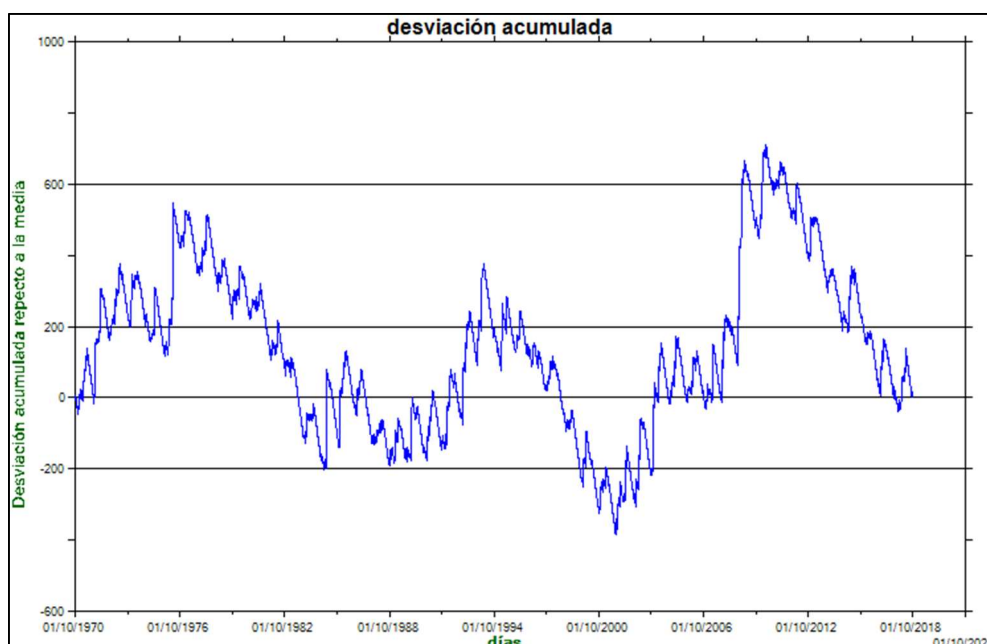
La evolución de la precipitación anual registrada en la zona de investigación está representada en la figura 4. Se ha incluido también la línea que marca la media anual de la serie.

Destacan los años hidrológicos 1982-83, 1998-99 y 2015-16 como muy secos y los periodos entre 1988-95 y 2002-10 como de altas precipitaciones.



**Figura 4: Distribución temporal de las precipitaciones anuales (mm/año) y de la media anual para en la estación 6000A-MELILLA durante el periodo comprendido entre 1970 y 2018.**

Las desviaciones acumuladas de la precipitación diaria respecto a la media se han representado en la figura 3. El análisis de este tipo de gráficas es de especial interés, debido a la marcada relación entre la desviación de la precipitación con respecto a la media y la evolución piezométrica en acuíferos calcareníticos de no muy grandes dimensiones (Martín Montañés et al., 2018) y en carbonatados (Lambán, 1998; Martos-Rosillo, 2005). Esta representación pone de manifiesto los periodos secos (pendiente negativa) y húmedos (pendiente positiva).



**Figura 5: Desviación acumulada de la precipitación diaria respecto a la media (mm/día) en la estación 6000A-MELILLA durante el periodo comprendido entre 1970 y 2018.**

Como se puede observar, en el periodo estudiado se diferencian varios periodos húmedos y secos que se indican en la tabla 2.

**Tabla 3: Periodos húmedos y secos**

DESDE	HASTA	PERIODO
Oct-70	May-76	Húmedo
May-76	Sep-88	Seco
Sep-88	Feb-94	Húmedo
Feb-94	Sep-01	Seco
Sep-01	May-10	Húmedo
May-10	Sep-18	Seco

En la tabla 4 se presentan algunos estadísticos descriptivos en relación con la intensidad diaria de la precipitación. Asimismo, se presentan los resultados del tratamiento de los datos de precipitación diaria, del periodo considerado. La serie completa de ese periodo dispone de 17.532 registros.

**Tabla 4: Estadísticos descriptivos de la serie de precipitación diaria tratada**

<b>6000A-MELILLA</b>	
<b>N (número de datos)</b>	17532
<b>Media (mm/día)</b>	1,0
<b>Desviación estándar (mm/día)</b>	5,04
<b>Máx. (mm/día)</b>	180,1
<b>Media en los días de lluvia (mm/año)</b>	5,8
<b>Nº días lluvia por año</b>	65,1
<b>Intensidad media diaria (mm/día)</b>	5,9
<b>Nº Días con <math>P &gt; 2</math> mm/día por año</b>	33,3
<b>Nº Días con <math>P &gt; 10</math> mm/día por año</b>	10,6
<b>Nº Días con <math>P &gt; 20</math> mm/día por año</b>	3,9

De la tabla 4 se puede comentar lo siguiente:

- La pluviometría total anual se registra en menos del 18% de días del año, es decir, un número muy reducido de días. Éste número es de 65,1 días.
- La intensidad media de las precipitaciones diarias, resultante de dividir la precipitación total por el número total de días de lluvia, es 5,9 mm/día.
- El número medio de días al año, en que la intensidad de la precipitación es mayor de 2 mm/año, es de 33,3.
- Este número medio de días se reduce al considerar precipitaciones diarias más intensas, siendo los valores medios de 10,6 y 3,9 días para intensidades de precipitación mayor a 10 y 20 mm, respectivamente.
- La intensidad de precipitación máxima diaria en el periodo considerado fue de 180,1 mm/día el 24/02/1985.
- Estos resultados indican que son poco numerosos los eventos lluviosos de relativa importancia a lo largo del año, cuestión de especial importancia en el proceso de recarga de los acuíferos en el ámbito mediterráneo.

## 5 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

Al igual que en el caso de los datos pluviométricos, la duración y calidad de la serie de datos de temperatura es muy homogénea por lo que no ha sido necesario un tratamiento significativo ya que solamente se han completado nueve valores utilizando el método de la tendencia. De esta forma, el cálculo de los valores medios anuales y el análisis de la evolución temporal de la temperatura se han realizado con la información registrada en la estación estudiada.

Asimismo, se han generado las series de datos anuales mediante la agrupación de los datos diarios. Los valores se muestran en la tabla 5, junto con algunos datos estadísticos significativos. La temperatura media anual de la estación de Melilla es de 18,8 °C, con un máximo de 20,1 °C en 1989-90 y un mínimo de 17,5 °C, en 1971-72.

**Tabla 5: Series de temperatura media anual (°C) y estadísticos descriptivos**

Año hidr.	Tª med. anual (°C)	Año hidr.	Tª med. anual (°C)	Año hidr.	Tª med. anual (°C)
1970-71	17,6	<b>1986-87</b>	19,2	<b>2002-03</b>	19,5
1971-72	17,5	<b>1987-88</b>	19,3	<b>2003-04</b>	19,0
1972-73	18,0	<b>1988-89</b>	19,5	<b>2004-05</b>	18,5
1973-74	18,1	<b>1989-90</b>	20,1	<b>2005-06</b>	18,7
1974-75	18,1	<b>1990-91</b>	19,0	<b>2006-07</b>	19,0
1975-76	17,9	<b>1991-92</b>	18,6	<b>2007-08</b>	19,4
1976-77	17,9	<b>1992-93</b>	18,6	<b>2008-09</b>	18,9
1977-78	18,3	<b>1993-94</b>	19,1	<b>2009-10</b>	20,0
1978-79	18,8	<b>1994-95</b>	19,0	<b>2010-11</b>	19,4
1979-80	18,5	<b>1995-96</b>	19,1	<b>2011-12</b>	19,0
1980-81	17,8	<b>1996-97</b>	18,9	<b>2012-13</b>	19,0
1981-82	18,9	<b>1997-98</b>	19,4	<b>2013-14</b>	19,5
1982-83	18,1	<b>1998-99</b>	18,9	<b>2014-15</b>	19,6
1983-84	18,3	<b>1999-00</b>	18,8	<b>2015-16</b>	19,7
1984-85	18,6	<b>2000-01</b>	19,2	<b>2016-17</b>	19,6
1985-86	18,8	<b>2001-02</b>	18,7	<b>2017-18</b>	19,1

<b>Media</b>	18,8
<b>Máximo</b>	20,1
<b>Mínimo</b>	17,5
<b>Desviación estándar</b>	0,6
<b>Coefficiente de variación</b>	0,03
<b>Mediana</b>	18,9
<b>Coefficiente de asimetría</b>	-0,2

Los principales estadísticos descriptivos de los datos de temperatura máxima, media y mínima diaria de la estación de Melilla se resumen en la tabla 6, en la que se comprueba que las medias de las temperaturas máxima, media y mínima diarias son de 22,2 °C, 18,8 °C y 15,5 °C, respectivamente.

**Tabla 6: Estadísticos descriptivos de temperatura máxima, media y mínima diaria (°C) de la estación de Melilla**

	T máx	T min	T med
Media	22,2	15,5	18,8
Máximo	41,8	30,6	36,1
Mínimo	7,2	0,4	3,8
Desviación estándar	5,1	4,8	4,8
Coeficiente de variación	0,2	0,3	0,3
Mediana	18,6	16,8	18,3
Coeficiente de asimetría	0,2	0,1	0,2

La desviación estándar de las temperaturas máximas es mayor que la de las mínimas, hecho que podría atribuirse a la mayor variabilidad térmica que se produce durante la noche, cuando se registran los valores mínimos, frente a la menor variabilidad de la radiación solar por la nubosidad, durante el día. Por otra parte, respecto a los coeficientes de asimetría, se observan valores muy bajos (igual o menores a 0,2) e indican, al ser de signo positivo, un desplazamiento preferente hacia valores superiores a su promedio.

Por último, en la figura 6 se muestra la evolución de la temperatura media diaria en la estación de Melilla. Se observa una amplitud térmica anual de las temperaturas medias diarias no muy acusada cuyo valor medio es de 21,6 °C. Los valores máximos de la amplitud térmica diaria se miden en los meses de julio, junio y noviembre, fechas en la que es frecuente que esos valores sean mayores de 14 °C.

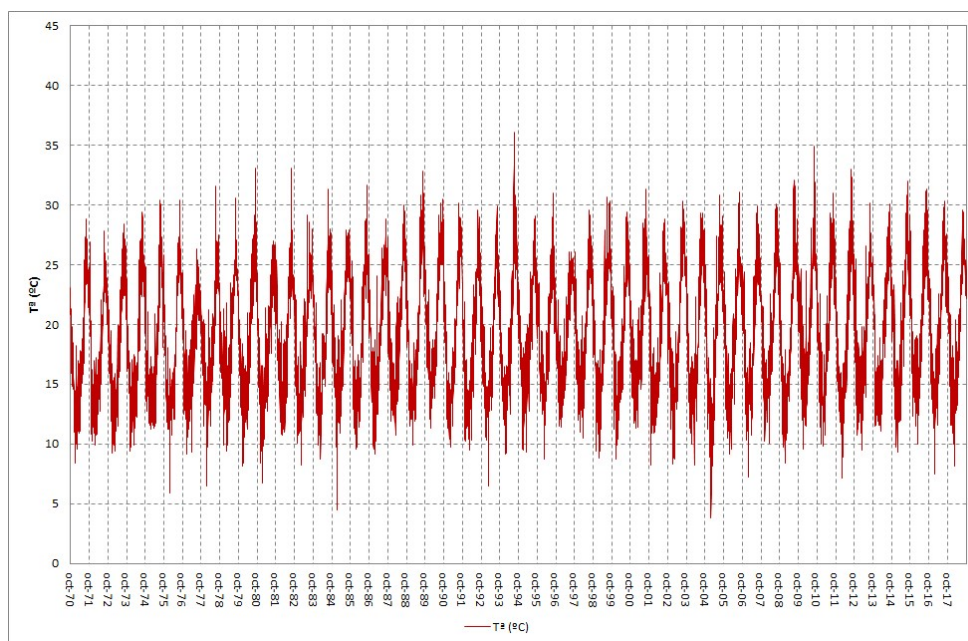


Figura 6: Evolución de las temperaturas medias diarias.

## 6 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O DE REFERENCIA

Se define la evapotranspiración potencial (ETP) como la cantidad de agua que puede volver a la atmósfera por evaporación y transpiración cuando la capacidad de agua del suelo está completa y el desarrollo vegetal es óptimo.



La estimación de la ETP en este trabajo se ha calculado utilizando el método de Thornwaite clásico mediante el código TRASERO 2.1.0 (Padilla y Delgado, 2011), desarrollado por el departamento del Ciclo Hídrico de la Excm. Diputación de Alicante.

Para estimar la evapotranspiración potencial Thornthwaite (1948) propone la siguiente fórmula:

$$e_i = 16 \left( \frac{10 t_i}{I} \right)^{\alpha}$$

donde:

$e_i$ : evapotranspiración del mes  $i$  sin ajustar (mm). Para datos diarios hay que dividir por 30

$t_i$ : temperatura media del mes ( $^{\circ}\text{C}$ ). Para valores diarios corresponde a la temperatura media diaria

$I$ : índice de calor anual:  $I = \sum_{i=1}^{12} i_i$

$i_i$ : índice de calor mensual:  $i_i = \left( \frac{t_i}{5} \right)^{1,515}$

$\alpha = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$

En la tabla 7 se muestran los principales estadísticos de posición de las series de evapotranspiración diaria y anual.

**Tabla 7: Estadísticos descriptivos de la evapotranspiración de referencia anual (mm/años) y diaria (mm/día).**

	Anual	Diaria
<b>Media</b>	927,1	2,54
<b>Máximo</b>	1009,6	7,40
<b>Mínimo</b>	848,8	0,08
<b>Desviación estándar</b>	38,50	1,46
<b>Coefficiente de variación</b>	0,04	0,57
<b>Mediana</b>	927,2	2,15
<b>Coefficiente de asimetría</b>	-0,13	0,59

La evapotranspiración potencial media diaria es de 2,54 mm. El promedio de ETP media anual es de 1.046 mm/año.

## **7 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL Y LLUVIA ÚTIL**

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera. Su valor depende de su disponibilidad bien en forma de lluvia bien de la almacenada en el suelo. El límite superior de ETR viene determinado por la ETP.

La Lluvia Útil (LLU), también denominada lluvia eficaz o excedente, corresponde a la cantidad de agua que escurre superficialmente más la que se infiltra.

Para determinar la ETR y LLU el código TRASERO aplica el método del balance del suelo desarrollado por Thornthwaite (1948) y una variante del mismo ideada por Girard et al (1981).

Thornthwaite plantea para cada periodo  $i$  un balance del suelo según la siguiente expresión:

$$P_i = ETR_i + LLU_i + \Delta R_i$$

donde:

$P_i$  es la precipitación (mm)

$\Delta R_i$ , el incremento de la reserva de agua en el suelo utilizable por las plantas (mm)

En este trabajo se ha realizado el balance tomando un valor de reserva útil (RU) o capacidad de retención de agua en el suelo (CRAS) de 25 mm.

En la tabla 8 se resumen los estadísticos descriptivos de las series de Lluvia Útil (LLU) y de evapotranspiración real (ETR) anual que resultan de aplicar el modelo.

**Tabla 8: Estadísticos descriptivos de la Lluvia Útil y de la evapotranspiración real anual (mm/año) de la estación de Melilla, calculados para el periodo 1970-2018.**

Media	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Mediana	Coefficiente de variación	Coefficiente de asimetría	Coefficiente de recarga
<b>Precipitación</b>							
378	655	186	109	373	0,30	0,70	-
<b>Evapotranspiración potencial</b>							
927	1010	849	39	927	0,04	-0,13	-
<b>Evapotranspiración real</b>							
223	304	147	41	227	0,18	-0,23	-
<b>Lluvia Útil</b>							
154	400	10	94	134	0,61	0,83	0,41

La ETR media es de 223 mm/año y la Lluvia Útil media calculada para la estación de Melilla es de 154 mm/año lo que supone un coeficiente de recarga de 0,41.

En el gráfico de la figura 7 se han representado estos mismos parámetros para el año medio del periodo considerado. Como se puede observar, la evapotranspiración potencial presenta valores altos en los meses de mayo a octubre, las precipitaciones se producen principalmente entre noviembre y abril con un máximo en enero-febrero y la Lluvia Útil es más importante entre los meses de noviembre y febrero.

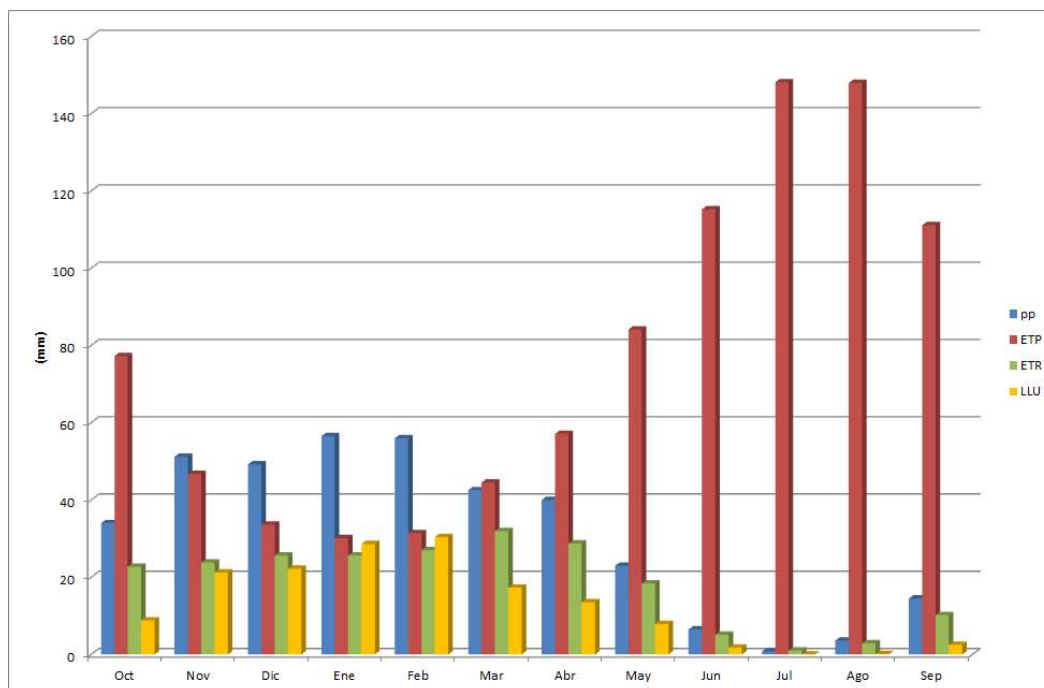


Figura 7: Precipitación, ETP, ETR y LLU obtenidas para la estación de Melilla (periodo 1970-2018)

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La duración y calidad de la serie de datos pluviométricos y de temperatura de la serie estudiada de la estación 6000A-MELILLA es muy homogénea.
- Mediante la agrupación de los datos diarios, se han generado las series de datos anuales. El valor medio de precipitación anual es de 377,6 mm. El año más seco es 2015-16 con tan solo 186,3 mm y el más húmedo 2008-09 con una precipitación de 654,7 mm.
- Las desviaciones acumuladas de la precipitación diaria respecto a la media ponen de manifiesto los periodos secos y húmedos. De estos últimos, el más reciente es el transcurrido desde mayo de 2010 hasta septiembre de 2018.
- La pluviometría total anual se registra en menos del 18% de días del año (65,1 días).
- La intensidad media de las precipitaciones diarias, resultante de dividir la precipitación total por el número total de días de lluvia, es 5,9 mm/día.
- La intensidad de precipitación máxima diaria en el periodo considerado fue de 180,1 mm/día.
- La temperatura media anual de la estación de Melilla es de 18,8 °C, con un máximo de 20,1 °C en 1989-90 y un mínimo de 17,5 °C, en 1971-72.
- Las medias de las temperaturas máxima, media y mínima diarias son de 22,2 °C, 18,8 °C y 15,5 °C, respectivamente.
- La desviación estándar de las temperaturas máximas es mayor que la de las mínimas y se observa una amplitud térmica anual de las temperaturas medias diarias no muy acusada.
- La evapotranspiración potencial media diaria es de 2,54 mm. El promedio de ETP media anual es de 1.046 mm/año.

- La ETR media es de 223 mm/año y la Lluvia Útil media calculada para la estación de Melilla es de 154 mm/año lo que supone un coeficiente de recarga de 0,41.
- La evapotranspiración potencial presenta valores altos en los meses de mayo a octubre, las precipitaciones se producen principalmente entre noviembre y abril con un máximo en enero-febrero y la Lluvia Útil es más importante entre los meses de noviembre y febrero.

A la vista de los cálculos realizados en este trabajo y de los objetivos que se pretenden alcanzar al respecto del cálculo de la recarga natural de los acuíferos de Melilla, se plantea la idoneidad de calcular la ETP en trabajos posteriores mediante las ecuaciones de Hargreaves y Penman para su comparación con las obtenidas con las de Thornthwaite. Asimismo, también sería adecuado, descomponer la LLU en sus componentes de escorrentía (ESC) e infiltración (INF) según el método del Soil Conservation Service de los EE.UU (Témez, 1978).

## 9 **REFERENCIAS**

Girard, G., Ledoux, E., and Villeneuve, J. P. (1981). Le modèle couplé: simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique. Cahiers ORSTOM, série hydrologie, XVIII (4). 1981.

Lambán, L. J. (1998). Estudio de la recarga y del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad de Anoia (Cordillera Prelitoral Catalana). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 300 pp.

Martos-Rosillo, S. (2005). Contribución al conocimiento hidrogeológico del acuífero carbonático de la Sierra de Estepa (Sevilla). Trabajo de Investigación Tutelada. Universidad de Granada, Granada, 166 pp.

Martín Montañés, C., Rubio Campos, J.C., Puche Castilla, J., Gay Torres, J.J. y Medina Vernalte, A. (2018). Contribución al conocimiento hidrogeológico para una gestión sostenible del acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana. X Simposio del Agua en Andalucía. Club del Agua Subterránea. Madrid. pp 995-1004. ISBN.978-84-09-05536-4

Padilla A. y Delgado J. (2011). Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Diputación Provincial de Alicante, Alicante.

Témez Peláez, J. R. (1978). Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU. 1978.

Thornthwaite, C.W., and Mather, J.R. (1955). The water balance. Publications in climatology, The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology 9: 59-117.