

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Jordi MAZÓN BUESO y María del Carmen LLASAT BOTIJA
Grupo de Análisis de Situaciones Meteorológicas Adversas
Dpt. d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona

RESUMEN

A partir de los datos horarios de la serie de 10 años de la estación agrometeorológica de Raïmat, se ha calculado la evolución temporal de la evapotranspiración de referencia, así como su tendencia acumulada a diferentes escalas temporales. Se observa una ligera tendencia positiva a nivel mensual.

Palabras clave: Evapotranspiración, tendencia acumulada, radiación neta.

ABSTRACT

Using the hourly data from a 10 years series from the agrometeorological station of Raïmat, the temporal evolution of reference evapotranspiration and the accumulate tendency from different temporal scaling has been calculated. A light positive tendency in a monthly scaling can be observed.

Key words: Evapotranspiration, accumulate tendency, net radiation.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la evolución temporal de la evapotranspiración de referencia (en adelante ETo) presenta, frente a otras variables, las desventajas de que ni se trata de una medida directa ni se dispone de largas series. Sin embargo su conocimiento es fundamental si se quiere analizar la posible evolución futura de los recursos hídricos en un entorno climático variable (DOODGE y KUUSISTO, 1998). Además, a diferencia de la precipitación, la cual es una variable discreta en el tiempo, la ETo es una variable continua e integradora que puede aportar una importante y valiosa información climática. La evolución temporal de la ETo está condicionada por la evolución temporal de las variables meteorológicas que la afectan, principalmente la temperatura, la velocidad del viento, la humedad y la radiación neta. La combinación de las variaciones de estas variables puede provocar diversas respuestas en la variación de la ETo. Así por ejemplo, un incremento en la temperatura y el viento provocarían un aumento de la ETo, y por el contrario, un aumento de la humedad provocaría una disminución. Esta hipotética variación de la ETo tiene un especial interés en la agricultura, pues cambios de la ETo significarían cambios en las necesidades hídricas de los cultivos, e, incluso, en la decisión de la conveniencia de un tipo de cultivo u otro.

La estima de la ETo requiere la disponibilidad de todas las variables meteorológicas que intervienen en su cálculo, ya sea a nivel horario o diario, lo que implica el uso de estaciones meteorológicas automáticas. En el caso español no existen apenas series de más de 10 años que dispongan de todos los datos necesarios. Entre ellas, se encuentran las procedentes de las primeras estaciones agrometeorológicas instaladas por el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya (DARP) dentro de la red denominada Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC) (LLASAT y LLETJÓS, 1989). Estas estaciones miden temperatura del aire, humedad, velocidad y dirección del viento, lluvia, radiación solar y radiación neta. Entre las primeras estaciones instaladas en 1988 se encuentra la situada en Raïmat (el Segrià), que se ha seleccionado para este estudio tanto por su correcta situación como por la notable calidad de sus datos.

Ciertamente una longitud de 10 años representa tan solo una tercera parte del tiempo requerido por la OMM para poder definir climáticamente una zona, y por tanto los resultados que se obtengan del presente trabajo tienen tan sólo un carácter estimativo. Sin embargo, el trabajar a paso horario permite disponer de más de 80.000 datos, lo que representa una buena muestra para proceder al análisis temporal. Asimismo, permite analizar la serie a diferentes escalas temporales (para poder aplicar técnicas de upscaling y downscaling temporal).

2 CÁLCULO DE LA ETO HORARIA

2.1 La ecuación de Pruitt y Doorenbos

La evapotranspiración de referencia depende fundamentalmente de la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación. La ecuación adoptada para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en las estaciones de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (DARP, Generalitat de Catalunya), entre las que se encuentra la estación de Raïmat, es la que desarrollaron en 1977 Doorenbos y Pruitt, inspirada en la ecuación de Penman, y discutida y desarrollada en el artículo de LLASAT (1996) y de LLASAT y SNYDER (1998). Según esta ecuación, la ETo horaria viene dada por la siguiente expresión:

$$ETo = WR_n + (1 - W)f(u)(e_s - e) \quad (1)$$

donde R_n es la radiación neta, e_s es la presión de vapor saturante, en hPa, e es la presión de vapor, en hPa, $f(u)$, es la llamada función de viento, dependiente de la velocidad del viento medida a 2 m del suelo y condicionada por el signo de la radiación neta, R_n . El factor W es una función de peso, adimensional, que depende de la constante psicrométrica (la cual depende de la temperatura y presión atmosférica) y de la pendiente de la curva de la presión de vapor saturante (la cual depende de la temperatura, la presión de vapor y el calor latente).

2.2 Estima de la radiación neta

La radiación neta es la variable meteorológica que más influye sobre la ETo, y por tanto conviene una buena medida de ésta. Sin embargo, el sensor que mide la radiación neta es el más delicado y frágil de los que componen una estación agrometeorológica. Si este sensor mide por exceso o por defecto introducirá unos valores erróneos en la ETo (LLASAT y SNYDER, 1998). A pesar de la

calibración del sensor, un vez al año, y el mantenimiento, una o dos veces cada dos meses, es frecuente encontrar diferencias del 10 % entre los valores medidos y los calibrados, o lagunas de datos. Además, para obtener la radiación neta y sustituirla en la ecuación para el cálculo de la ETo, el sensor ha de estar situado sobre una superficie cubierta de césped con sus necesidades hídricas satisfechas. Esto es un problema, pues en las zonas agrícolas de secano es difícil mantener estas condiciones. La solución a estos problemas pasa por estimar la radiación neta a partir de parámetros meteorológicos tal como se propone en DONG *et al.* (1992) y en LLASAT y SNYDER (1998).

La estima se realiza considerando que la radiación neta es el resultado del balance entre dos radiaciones, la de onda corta y la de onda larga. Partiendo de esta idea se puede llegar a la ecuación:

$$R_n = 0.89[(1 - \alpha)R_s + \varepsilon_s(\varepsilon_a(0)(1 - c)\sigma T^4 + c\sigma T^4 - \sigma T_s^4)] \quad (2)$$

donde R_s es la radiación solar, c la fracción de cielo cubierto, T la temperatura del aire, T_s la temperatura del suelo, α es el albedo de la superficie, ε_s la emisividad de la superficie, $\varepsilon_a(0)$ la emisividad de la atmósfera, y σ la constante de Stefan-Boltzmann.

Esta expresión permite estimar la radiación neta a partir de variables meteorológicas que mide la propia estación. Éstas son: temperatura del aire, humedad, y la radiación solar. A partir de esta estimación, y con los parámetros de humedad, velocidad del viento y presión barométrica puede estimarse la ETo horaria.

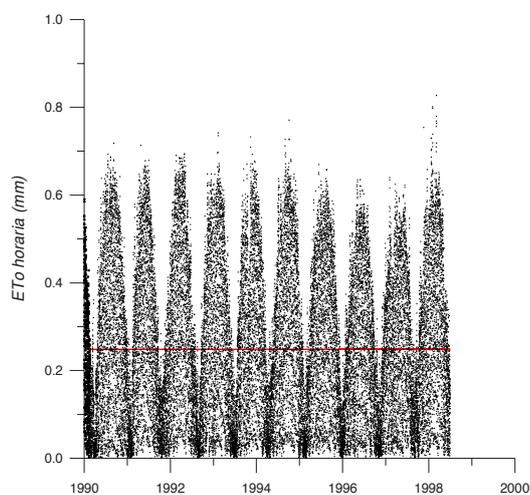


Figura 1a. Evolución anual de la ETo horaria

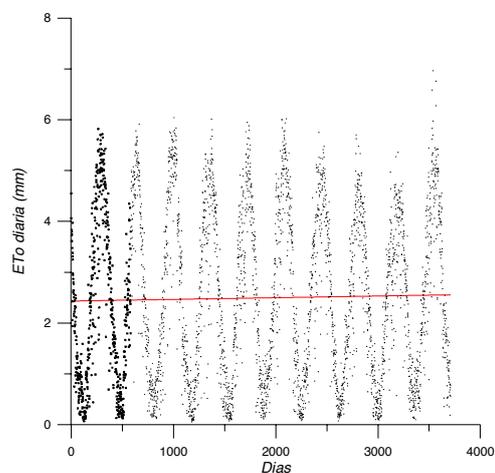


Figura 1b. Evolución anual de la ETo diaria

3. METODOLOGÍA

Se ha elaborado una serie de 10 años con valores de ETo horarios obtenidos utilizando en (1) la radiación neta estimada a partir de los restantes parámetros meteorológicos que mide la estación, (ecuación 2), en vez de la radiación neta medida por el sensor, lo que permite trabajar con una serie continua. La bondad de la sustitución ha sido analizada previamente en LLASAT y MAZON (1999),

donde se muestra que la correlación de ambas radiaciones para los periodos en que se dispone de datos es de 0.97. Los datos meteorológicos de partida han sido sujetos a un estricto control de calidad, eliminando todos aquellos datos erróneos y dudosos. Mediante las ecuaciones 1 y 2 se ha calculado la ETo horaria, y a partir de aquí la diaria, la mensual y la anual.

Una vez confeccionadas las series se han calculado sus estadísticos principales. Posteriormente se ha efectuado un ajuste por mínimos cuadrados lo que da una primera aproximación de la tendencia de la serie. De la misma forma se ha procedido con la media móvil para una ventana de 12 horas y paso de 1 hora (serie horaria) y una ventana de 15 días y paso de 1 día (serie diaria). En segundo lugar se ha procedido al cálculo de las tendencias acumuladas a diferentes escalas temporales.

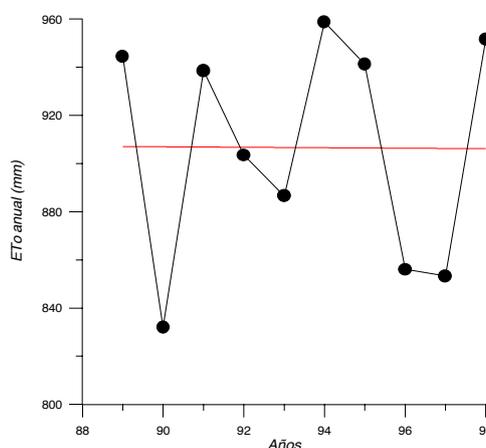
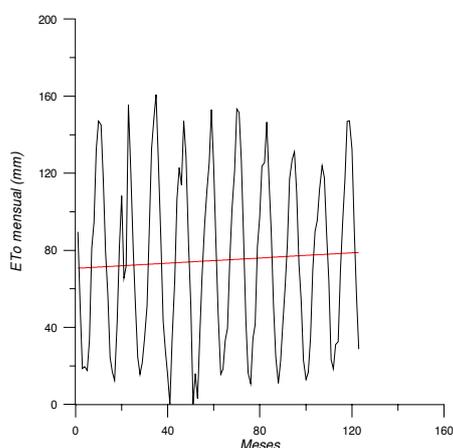


Figura 1c. Evolución temporal de la ETo mensual Figura 1d. Evolución temporal de la ETo anual

La importancia de la ETo en la agricultura y en el diseño de los programas de riego, ha motivado evaluar su variación en los meses en que aparece el máximo, concretamente en junio, julio y agosto. Para ello se ha tomado el valor de la ETo a escala diaria durante estos meses y se han construido tres nuevas series con 310 datos cada una de ellas. Para colocar todos los valores en un mismo nivel y eliminar variaciones propias de la estación del año, se ha tipificado la serie. Posteriormente se ha calculado la media móvil, las anomalías (considerando como tales valores cuya distancia al valor medio sea superior a dos desviaciones cuadráticas medias) y la tendencia.

Una vez analizada la tendencia de la ETo se ha calculado la tendencia acumulada a nivel mensual de las principales variables meteorológicas que la afectan, concretamente la radiación solar y la temperatura.

4. RESULTADOS

Las figuras 1a a 1d muestran la evolución temporal de la ETo a diferentes escalas. En todas ellas se ha representado la tendencia, y puede verse cómo es nula a nivel horario, diario y anual, en que la pendiente de la recta que ajusta por mínimos cuadrados a los datos de la serie es casi nula. A nivel

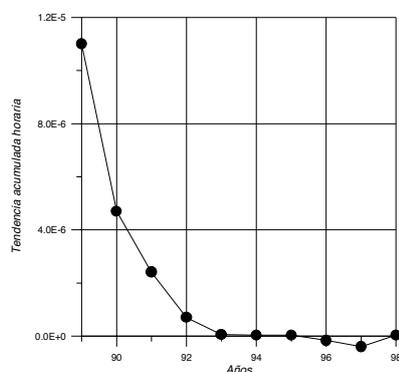


Figura 2a. Evolución de la tendencia acumulada horaria

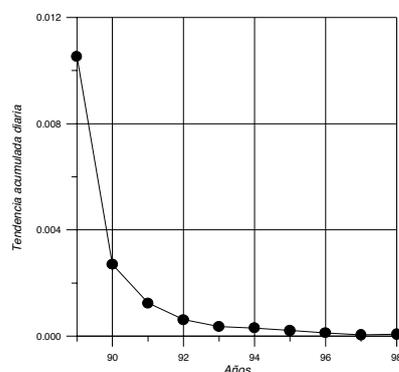


Figura 2b. Evolución de la tendencia acumulada diaria

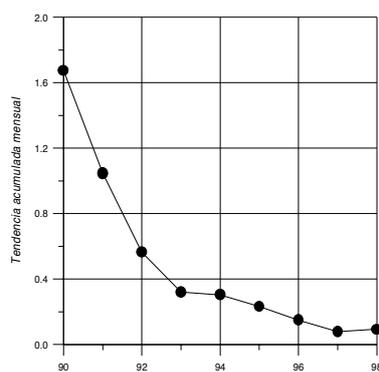


Figura 2c. Evolución de la tendencia acumulada mensual

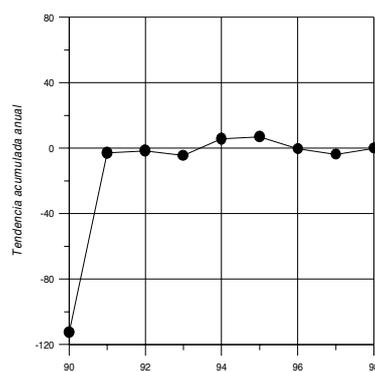


Figura 2d. Evolución de la tendencia acumulada anual.

mensual en cambio, aparece una cierta tendencia positiva (0.0017 mm/mes), no despreciable, a pesar de la baja ETo de los meses de julio de los años 1996 y 1997. Para conocer mejor dichas tendencias se han realizado las tendencias acumuladas (figuras 2a a 2d). A nivel horario (figura 2a) y diario (figura 2b) se observa cómo la tendencia acumulada se acerca a cero rápidamente, alcanzándose dicho valor al final de la serie. En cambio a nivel mensual (figura 2c) se ve cómo la tendencia acumulada se acerca a cero pero de una manera más suave, sin llegar en ningún momento a este valor. El valor de la tendencia acumulada al final de la serie es muy próximo a 0.1 mm/mes. Finalmente, a nivel anual la tendencia acumulada se acerca rápidamente a cero, oscilando alrededor de este valor. Esto es de esperar, pues son pocos los datos de que se disponen para realizar la tendencia acumulada, y es típico en este método una inestabilidad inicial antes de llegar a la situación en que la tendencia acumulada se estabiliza. En el análisis de la tendencia de la ETo de los meses de julio y agosto se ha observado cómo el mes de agosto tiene una tendencia acumulada nula, todo lo contrario de lo que pasa en el mes de julio. Si la tendencia a nivel mensual de la serie (figura 1c) tiene una cierta tendencia positiva, es de esperar que el mes con mayor ETo también posea una tendencia positiva. En cambio ocurre lo contrario, posee una tendencia claramente negativa. La explicación a

esto la da la figura 1c, en la cual se ve cómo los picos correspondientes a los dos últimos años de la serie (1996 y 1997) son considerablemente inferiores a los máximos de otros años. Tras comprobar que en dichos meses no faltan datos de ningún tipo se ha recurrido a los anuarios del DARP (Estadística i Conjuntura agrària, 1989-1998). En dichos anuarios se encuentra que efectivamente, durante los meses de julio de 1996 y 1997 las temperaturas fueron inferiores a las normales así como ocurrió con la radiación solar y, en 1997, la precipitación fue extraordinariamente superior a la normal. Así pues, la presencia de estas anomalías en las variables meteorológicas utilizadas para la parametrización de la ETo provocaron notables anomalías negativas en la ETo. La tendencia positiva más marcada se observa durante los meses de junio, lo que coincide también con un aumento de la temperatura durante estos meses.

La tendencia nula de la ETo no implica que las principales variables que la afectan tengan tendencia nula, sino que puede que haya compensaciones, es decir que haya tendencias positivas en algunas variables y negativas en otras, y todas juntas provoquen un efecto nulo sobre la ETo.

5. CONCLUSIONES

Como ya se dijo, los resultados obtenidos son orientativos, no definitivos, debido a la corta longitud temporal de la serie tratada. A nivel mensual se observa una ligera tendencia positiva, cosa que certifican los análisis realizados a la tendencia acumulada de la radiación neta mensual acumulada y la tendencia acumulada de la temperatura media mensual. A nivel horario, diario y anual no se observan tendencias destacables. Este resultado concuerda con el obtenido para el SW de Inglaterra (COLIN, 1998) en el que se muestra un aumento de la ETo a escala mensual, a partir de los datos obtenidos los 11 años del periodo 1980-1995.

BIBLIOGRAFÍA

- COLING C. (1998). "Climate change, evaporation, and water resource". *The Second International Conference on Climate and Water*, Finland 1998, Vol. 1, pp. 139-147.
- DONG A., GRATTAN S.R., CARROLL J.J. y PRASHAR C.R.K. (1992). "Estimation of daytime net radiation over well-watered grass". *J. Irrig. Drainage Eng.*, **118**, 466-479.
- DOORENBOS J. y PRUITT W.O. (1977). "Empirical calibration a requisite for evapotranspiration formulae based on daily or longer mean climatic data". *Proc. Int. Round table Conference on evapotranspiration*. Budapest, Hungary, pp 20
- DOOGE J.C.I y KUUSISTO E. (1998). *Climate and water*, Finland, The Second International Conference on Climate and water.
- Estadística i Conjuntura agrària. *DARP-Generalitat de Catalunya*.(1989-1998)
- LLASAT M.C. (1996). "Acerca del cálculo de la evapotranspiración horaria". *Riegos y drenajes XXI*, **89**, 47-52.
- LLASAT M.C. y LLETJÓS R.LI. (1989). "Plan agrometeorológico de Catalunya: primeros resultados". *Revista de Agricultura*, **678**, 60-66.
- LLASAT M.C. y PALLARÈS J. (1994). "L'evapotranspiració". *Catalunya rural i agrària*, **45**, 8-9.
- LLASAT M.C. y SNYDER R.L. (1998). "Data error effects on net radiation and evapotranspiration estimation". *Agricultural and forest meteorology*, **91**, 209-221.
- LLASAT M.C. y MAZÓN J. (1999). "Estimació de l'evapotranspiració de referència a partir de l'estimació de la radiació neta: el cas de Raïmat". *Catalunya rural i agrària*.
- MONTEITH J.L. (1973). *Principles of Environmental Biology*, Edward Arnold Press, Kent, UK.
- PALTRIDGE G.W. y PLATT C.M.R. (1976). *Radiative Processes*. Meteorology and Climate, Elsevier, London, UK.

