

# ESTADO ACTUAL DE LOS METODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN. APLICACIÓN A LA CUENCA DEL RIO QUIPAR (MURCIA)\*

M. I. Sánchez Toribio\*\* y A. Romero Díaz\*\*\*

## RESUMEN

En la Cuenca del río Quipar, afluente del río Segura en su cuenca alta, se realiza un estudio comparativo de métodos de estimación de la evapotranspiración, a partir de una revisión puesta al día, de los procedimientos estándar y normalizados desarrollados en la última década, para precisar el concepto de evapotranspiración de referencia que, de este modo, se convierte en una variable característica del clima.

**Palabras clave:** evapotranspiración y evapotranspiración de referencia, cuenca del río Quipar, Región de Murcia

## SUMMARY

In the Basin of the river Quipar, affluent of the river Segura in its High basin, a study has been made of several estimation models of the evapotranspiration, based on an up to date review of the standard and normalized procedures developed in the last decade, so as to specify the concept of reference evapotranspiration that, in this way, becomes a characteristic variable of the climate.

**Keywords:** evapotranspiration and reference evapotranspiration, river Quipar basin, Region of Murcia.

## 1. INTRODUCCION

Como parte de un proyecto de investigación más ambicioso que estudia el comportamiento de los diques de retención de sedimentos y su utilidad en el control de la erosión y en la recarga de acuíferos, en la cuenca del río Quipar, se ha incorporado la evapotranspiración del cultivo de referencia, como una de las variables que contribuyen a la caracterización climática. El objeto del presente trabajo es comparar, en el estado actual de conocimiento, algunos de los modelos de estimación de la ET del cultivo de

\* Fecha de recepción: 1 de septiembre de 2005

Fecha de aceptación y versión final: 14 de octubre de 2005.

\*\* Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). Campus Universitario de Espinardo. Apartado de Correos 164. 30100 Espinardo. MURCIA. (España). E-mail: [toribio@cebas.csic.es](mailto:toribio@cebas.csic.es)

\*\*\* Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. Campus de la Merced. 30001 MURCIA (España). E-mail: [arodi@um.es](mailto:arodi@um.es)

referencia y especialmente los modelos estandar normalizados avalados por FAO, ASAE, ICID o ASCE.

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera (Burman et al. 1983). Incluye tanto la evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo, láminas de agua o superficies vegetales, como las pérdidas de agua producidas por la transpiración de las plantas. Para muchas aplicaciones, bien sea en hidrología, ecología o agricultura, resulta difícil la medida directa de la evapotranspiración, bien sea por razones prácticas, teóricas o económicas. Para obviar la falta de medidas directas, se han seguido dos estrategias alternativas: la medida de la evaporación de una cubeta o tanque, como índice de la evaporación de la superficie de interes y la estimación mediante formulas de base física o empírica.

Los avances en la estimación de la evapotranspiración, derivaron de la introducción, independientemente, por Penman (1948) y Thornthwaite (1948) del concepto de evapotranspiración potencial (ETP), como la tasa máxima de evaporación de una superficie completamente sombreada por un cultivo verde, sin limitación en el suministro hídrico. Thornthwaite consideró que ETP estaba controlada fundamentalmente por los factores meteorológicos, siendo secundaria la influencia de los factores del suelo y la planta. El método de calculo de Thornthwaite, ha sido ampliamente utilizado por su sencillez, así como por requerir datos disponibles de manera rutinaria en las estaciones meteorológicas convencionales. En general, la ecuación de Thornthwaite, que se estableció como parte de una metodología de balance hídrico, a partir de medidas realizadas en latitudes medias, con precipitaciones abundantes en verano, suele dar resultados muy por defecto en climas áridos y semiáridos, en los que la pluviometría suele centrarse en los meses de otoño e invierno (Sanchez-Toribio, 1990).

Penman (1948) combinó el balance de energía con el método de la transferencia de masa, para obtener una ecuación de calculo de la evaporación de una superficie de agua libre, a partir de registros climatológicos estándar de horas de sol, temperatura, humedad y velocidad del viento. El método Penman, también denominado método de combinación, constituyó la primera expresión de base física para el cálculo de la evapotranspiración potencial.

El concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia fue desarrollado en los años setenta, para sustituir, de manera práctica y definible, al término evapotranspiración potencial (ETP). La evapotranspiración de referencia es una función del tiempo local, representa la ET de una superficie cubierta de vegetación definida y sirve como un índice evaporativo mediante el cual agrónomos, hidrólogos, gestores del agua y otros técnicos profesionales, pueden predecir la ET para condiciones de vegetación y superficie determinadas, a través de la aplicación de unos coeficientes de cultivo. La ecuación de Penman dio lugar tras la modificación de Doorenbos y Pruitt (1976) a la denominada Penman-FAO, contenida en el Manual FAO-24 para la estimación de la evapotranspiración de referencia gramíneas (Eto).

No obstante, el avance en la investigación fue revelando las debilidades de las metodologías contenidas en el Manual FAO-24 (Jensen et al., 1990). Penman-FAO tiene

tendencia a sobreestimar  $E_{t_0}$ , mientras que las otras ecuaciones recomendadas en FAO-24, adiación-FAO, Blaney-Criddle-FAO y la cubeta de Clase A-FAO, muestran correspondencias variables con la evapotranspiración de gramíneas en lisímetros. Adicionalmente se cuestionaron los problemas e inconsistencias bajo diferentes condiciones climáticas, que tiene el uso de gramíneas (Smith et al., ASAE 1996).

Para ajustar las estimadas de los métodos FAO, surgieron numerosos métodos de estimación de  $E_{t_0}$  con varios parámetros adaptados o modificados para condiciones locales específicas y posteriormente la necesidad de comprobar la validez de algunas de estas expresiones, bajo condiciones climáticas diferentes. La American Society of Civil Engineers (ASCE) auspició el análisis de 20 métodos diferentes, frente a medidas lisimétricas, algunos de estos métodos, de amplia difusión en EE.UU., utilizaban alfalfa como cultivo de referencia (Jensen et al., 1990) Un estudio paralelo de un consorcio de Institutos europeos, evaluó el comportamiento de varios métodos de evapotranspiración a partir de datos y lisímetros en Europa (Choisnel, E. et al, 1992). Ambos estudios pusieron en evidencia el excelente comportamiento del modelo Penman-Monteith tanto en climas húmedos como áridos.

Una consulta de expertos organizada por FAO en 1990, en colaboración con la Internacional Comisión on Irrigation and Drainage (ICID) y la World Meteorological Organization (WMO), revisó las metodologías contenidas en el Manual FAO-24 y recomendó la adopción del método Penman-Monteith (Smith et al., 1991), como un nuevo estándar para la evapotranspiración de referencia, incluyéndose procedimientos revisados y normalizados de cálculo en el Manual FAO Irrigation and Drainaje Paper nº 56, que establece el estandar normalizado de la ecuación FAO Penman-Monteith, para estimar la evapotranspiración de referencia gramíneas ( $E_{t_0}$  PM FAO) y sus procedimientos de cálculo (Smith et al., 1996).

$$E_{T0} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

La superficie de referencia es un cultivo hipotético de gramíneas, al que se le asume una altura de 0,12 m, una resistencia de la superficie fija de 70 sm-1 y un albedo de 0,23. La superficie de referencia recuerda estrechamente a una superficie de gramíneas verdes bien provista de agua, con altura uniforme, desarrollo activo y cubriendo completamente el terreno. La resistencia fijada de 70 sm-1 implica una superficie de suelo moderadamente seca, resultante de una frecuencia semanal de riego. (Smith et al., 1991; Allen et al., 1994; Allen et al., 1998).

Finalmente, en 1999 el Comité de Evapotranspiración en Riego e Hidrología del Environmental and Water Resources Institute (EWRI-ASCE) inició el estudio, a requerimiento de la Irrigation Association (IA), de una ecuación estandar normalizada para la evapotranspiración de referencia y para mejorar la transferibilidad de los coeficientes de cultivo, susceptible de ser aceptada por la comunidad científica, técnicos y especialistas, organismos públicos y usuarios finales (Allen et al., 2000; ASCE-EWRI, 2005).

ASCE-EWRI (2005) concluye que se necesitan dos superficies  $Et_{ref}$ , con procedimientos computacionales estandar. Un cultivo bajo similar a gramíneas segadas ( $Et_{os}$ ) y otro alto, similar a alfalfa a plena cobertura ( $Et_{rs}$ ). La ecuación única resultante es:

$$Et_{ref} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)}$$

donde:

$Et_{ref}$  es la ET del cultivo de referencia para superficie baja ( $Et_{os}$ ) o alta ( $Et_{rs}$ ) en  $mmd^{-1}$ .  $R_n$  es la radiación neta calculada ( $MJm^{-2}d^{-1}$ ).  $G$  es el flujo de calor al suelo ( $MJm^{-2}d^{-1}$ ).  $T$  es la temperatura media del periodo a una altura de entre 1,5 y 2,5 m, ( $^{\circ}C$ ).  $U_2$  es la velocidad media del viento ( $ms^{-1}$ ).  $e_s$  es la presión de vapor a saturación ( $kPa$ ), a una altura de 1,5 a 25 m, calculada como promedio de las presiones de vapor a las temperaturas máxima y mínima.  $e_a$  es la presión de vapor actual a 1,5-2,5 m de altura ( $kPa$ ).  $D$  es la pendiente de la curva presión de vapor a saturación-temperatura ( $kPa^{\circ}C^{-1}$ ).  $g$  es la constante psicrométrica ( $kPa^{\circ}C^{-1}$ ).  $C_n$  es la constante del numerador, 900 para gramíneas, 1600 para alfalfa.  $C_d$  es la constante del denominador, 0,34 para gramíneas y 0,38 para alfalfa. Se supone un albedo de 0,23 y alturas de canopia de 0,12 y 0,50 m para gramíneas y alfalfa respectivamente. Naturalmente la formulación estandar para gramíneas ( $Et_{os}$  PM ASCE) se corresponde con la formulación estandar de  $Et_o$  PM FAO.

Desde el punto de vista de las variables meteorológicas, deben medirse preferentemente en estaciones abiertas, con cubierta vegetal, preferentemente gramíneas, bien provista de agua, de al menos 50 m de anchura situada dentro de parcelas con vegetación húmeda de varios centenares de m de ancho.

## 2. AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Quipar, afluente del río Segura por su margen derecha, tiene una superficie de 826  $km^2$  y se sitúa en el centro occidental de la Región de Murcia (Figura 1). De relieve accidentado, el área va desde el extremo Noroeste de la región, en los límites de Murcia con Granada y Almería, hasta el río Segura aguas abajo de Calasparra. En su cabecera se encuentran algunos de los picos de mayor altitud de la región, por el Norte, Revolvadores (2065 m), Los Odres (1877 m), El Calar Blanco (1678 m) y por el Sur, en la divisoria con Andalucía, la Sierra de la Zarza (1500 m) y la Sierra Áspera (1200 m). La altitud media es de 825 m, aunque es bastante irregular desde el punto de vista orográfico, superando los 1900 m en la cabecera, con pendientes del 16% y descendiendo hasta los 200 m en la confluencia con el Segura (Romero-Díaz, et al., 2003)

Las calizas y dolomías dominan la parte alta de la cuenca, mientras que la parte media y baja están caracterizadas por una gran variedad litológica en donde aparecen calizas, margas, margocalizas, margas yesíferas, yesos, arenas, areniscas y formaciones cuaternarias. Los suelos predominantes, desarrollados sobre estas litologías son diferentes tipos de regosoles, leptosoles, calcisoles y fluvisoles.

La vegetación contiene repoblaciones forestales de pino carrasco (*Pinus halepensis*) con ejemplares dispersos de encinas (*Quercus rotundifolia*) y un sotobosque de arbustos típicos del matorral mediterráneo entre diversas gramíneas. En la cuenca se encuentran cultivos de secano herbáceo, cultivos de secano arbóreo y arbustivo, cultivos de secano herbáceo con arbolado, regadíos y campos temporalmente abandonados. El albaricoquero es el cultivo dominante del regadío.

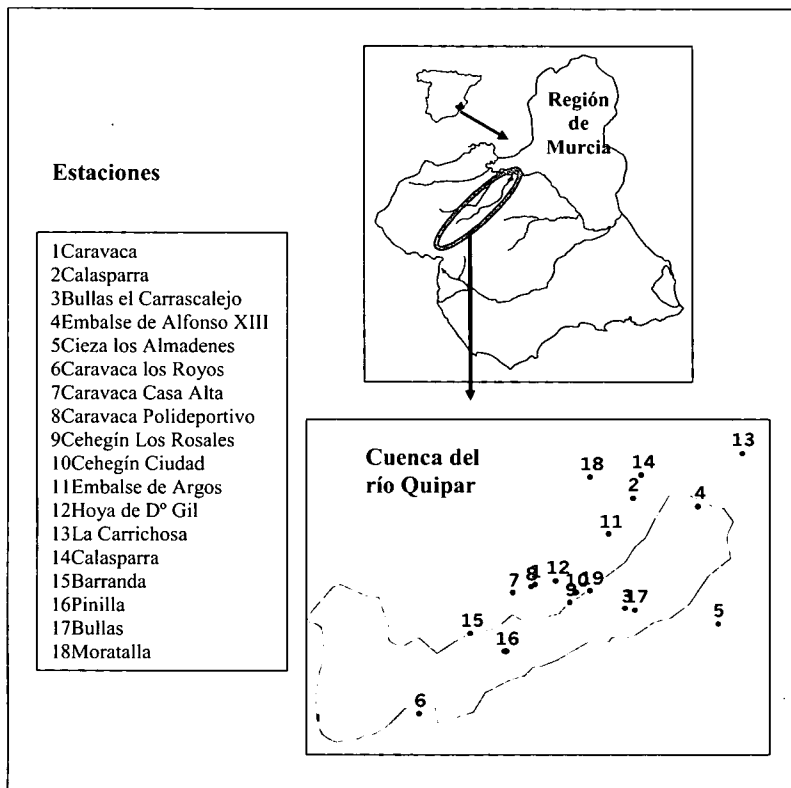


Figura 1. Localización del área de estudio y de las estaciones climáticas utilizadas.

### 3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La caracterización del régimen climático se ha realizado con los datos de seis estaciones de la Red de Estaciones Agroclimáticas de la Región de Murcia, para un periodo 1987 – 2005, repartidas a lo largo de la cuenca del río Quipar y con altitud decreciente en dirección Suroeste – Noreste: Barranda, Moratalla, El Chaparral (Bullas), Cehégín, Calasparra y la Carrichosa (en el término de Cieza). Todas ellas cubren debidamente la zona y disponen de los datos climáticos necesarios: Precipitación en mm, Temperatura y Humedad Relativa Máxima y Mínima en °C y % respectivamente. Radiación Solar en W/m<sup>2</sup> y Velocidad del Viento expresado en Km/día.

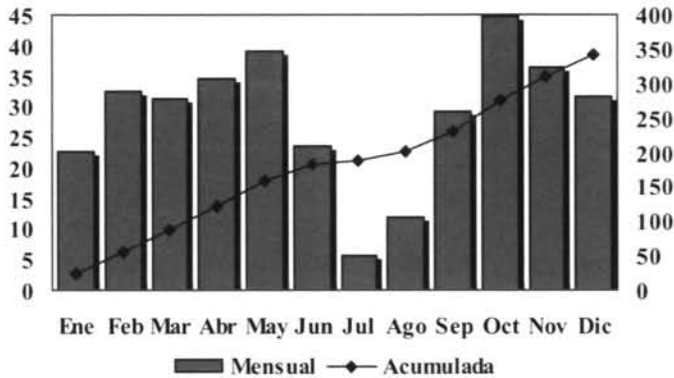


Figura 2. Precipitaciones medias y acumuladas mensuales del periodo 1970 – 2004. Cuenca del río Quipar.

Para el estudio de las precipitaciones se ha contado, además con 15 estaciones pluviométricas del INM, centro zonal de Guadalupe (Murcia) y que disponen de un amplio registro histórico aunque desigual; nosotros hemos seleccionado los datos de 1970 – 2005, muy homogéneos para todas ellas y que muestra un periodo de 35 años que resulta muy representativo.

La figura 2 muestra un gráfico de precipitaciones con los valores medios mensuales y acumulados. El total anual medio de todas las estaciones es de 325,9 mm, siendo mayo con 43 mm el mes de mayores lluvias seguido de octubre y febrero con 38,4 y 34,8 mm respectivamente. Los meses más secos son agosto con 11,8 y sobre todo julio que apenas sobrepasa los 3 mm.

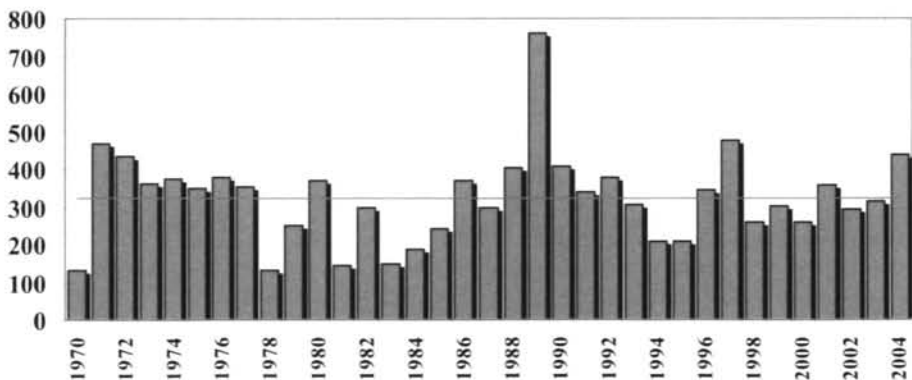


Figura 3. Precipitaciones medias anuales y valor medio del periodo 1970 – 2004. Cuenca del río Quipar.

La figura 3, representa las precipitaciones totales de cada uno de los años del periodo 1970 – 2004, mostrando una gran variabilidad interanual, alternándose los años muy secos con los medios y alguno más lluvioso, sin observarse ninguna tendencia significativa. El año 1989 fue el más lluvioso con 761 mm, valor absolutamente atípico; fueron también lluviosos los años 1997 y 1971, con 478,7 y 466,8, y 1972 y 2004 que superaron los 400 mm (434 y 439). Quedan también reflejados en el gráfico los dos periodos de sequías, la de la del 1978 – 1985, solo salvada por el año 80 con 370 mm donde destaca sobre todo los años 84 – 85 con solo 94 y 95 mm/año y la del bienio 1994 – 95 con 208 y 209 mm.

Para el estudio de las temperaturas, así como de las otras variables climáticas, se han utilizado los datos de las seis estaciones agroclimáticas completas, dividiéndose en tres zonas en función de su altitud: Zona 1, Calasparra y Carrichosa, 250 – 290 m de altitud, su temperatura media es de 16,9 °C (22,4 max y 11,4 min), solamente 79 horas bajo cero), es la más cálida; Zona 2, Moratalla, Bullas y Cehegín, entre 450 y 600 m, temperatura media de 15,4 (20,8max y 10 min). Zona 3, Barranda (Caravaca) 880 m, su temperatura media es de 12,7 °C (18,8 max y 6,7 min), el número de horas bajo cero es el más elevado (Figura 4 y tablas 1, 2 y 3).

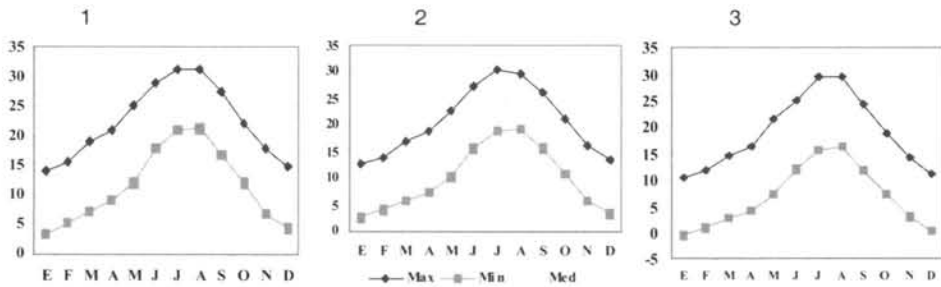


Figura 4. Temperaturas medias mensuales, máxima, mínima y media, °C, de las tres zonas: 1, 2 y 3, según altitudes, para el periodo 1987 – 2004

La Humedad Relativa, situada en valores medios y los Vientos, débiles o débiles - moderados, no difieren demasiado, dando la Humedad una media de 61,7 %, con máximos en octubre, noviembre y diciembre y mínimos en julio seguidos de junio y agosto y el viento 112,2 Km/día de media, con máximos en mayo y junio y mínimos en diciembre. La temperatura media es de 15,5 °C. El mes más cálido es julio y los más fríos enero y diciembre.

Si tenemos en cuenta las precipitaciones y los valores obtenidos al calcular la evaporación de Thornthwaite, el balance hídrico es prácticamente negativo casi todo el año, incluso aplicando algún valor de reserva de agua en el suelo, resultando por tanto un clima árido.

1)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
H max	86,4	86,2	84,3	81,9	83,6	75,1	72,2	76,6	83,3	88,1	90,4	90,6	83,2
H min	47,2	42,7	43,5	39,5	40,8	38,5	36,7	39,1	44,1	44,9	45,7	48,5	42,6
H med	66,8	64,4	63,9	60,7	62,2	56,8	54,5	57,8	63,7	66,5	68,1	69,6	62,9
Rs	112,1	132,8	156,7	230,1	248	308,1	304,7	265	201	149,2	111,8	81,9	191,8
Rv	103,9	107,6	111,9	131,1	112,7	116,7	115,3	99,4	92,8	73,6	89,9	96,2	104,3
Hb0	37,4	12,3	2,3	0	0	0	0	0	0	0,1	4,1	23,2	79,4

2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
H max	84	84,4	82,5	81,8	82,5	74	70	75,8	80,7	85,7	87,7	90,6	81,6
H min	45,6	41,3	41,6	38	39,6	34,1	32,8	33,4	38,1	42,6	43,7	47,3	39,8
H med	64,8	62,8	62	59,9	61,1	54	51,4	54,6	59,4	64,1	65,7	68,9	60,7
Rs	110,6	158,6	187,2	245,2	260,7	325,9	323	278,1	223,3	154,6	114	85,1	205,5
Rv	114,2	117,1	124,6	139,1	120,6	127,7	135,4	120	107	98,6	96,4	102,8	116,9
Hb0	57,4	24,2	5,6	1,9	0	0,1	0	0	0	0,3	6,5	46,1	142,1

3)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
H max	89,6	90,9	91,9	84,9	89	81,2	78,1	79,9	86	85,8	94,2	94,8	87,2
H min	40	36,9	41,2	36,4	39,8	28	26,8	28,5	34,7	48	42,9	45,2	37,4
H med	64,8	63,9	66,5	60,6	64,4	54,6	52,5	54,2	60,4	66,9	68,6	70	62,3
Rs	95,9	133,6	170,3	235,3	248,9	308,9	304,2	262,5	196,6	131,9	95,8	73,2	188,1
Rv	120,2	119,6	126,7	131,9	104,3	119,4	110,6	109,4	95,8	104,9	107,3	124,3	114,5
Hb0	56,4	28,4	4,9	0,5	0	0	0	0	0	0,2	10,6	53,5	154,6

Tablas 1, 2 y 3: Distribución de las variables meteorológicas: H max, Humedad relativa máxima, H min, Humedad Relativa Mínima, H med, Humedad Relativa Media en %. Rs, Radiación solar en  $\text{Wattios/m}^2$ . Rv, Recorrido del Viento en  $\text{Km/día}$ . Hb0, número de horas en que la temperatura registró valores por debajo de  $0^\circ\text{C}$ .

Si aplicamos algunos de los índices de aridez que requieren datos de Precipitación y Temperaturas obtenemos también un clima árido, tales como:

Índice de Martonne = 12,9 – Estepas y países secos mediterráneos

Índice de Lang = 21,2 – Zona árida

Índice de Dantín Revenga = 4,72 – Zona árida

Otra clasificación climática, entre las muchas que podrían aplicarse, la de Köppen, que tiene en cuenta tanto las variaciones de temperatura y humedad como las medias de los meses más cálidos o fríos, revisada en 1953 por Geiger y Pohl, divide el clima en grupos, subgrupos y subdivisiones. Con los datos climáticos de que disponemos, la Cuenca del Quipar sería: Grupo **B**, subgrupo **W**, subdivisión **k**. De esta combinación se deduce también un clima árido **BW**.



#### 4. MATERIAL Y METODOS

Para la estimación de la evapotranspiración potencial o de referencia, se han seleccionado dos localizaciones que bordean el área de la cuenca del río Quipar. La primera, Barranda, que se encuentra al NO a una altitud de 880 m y Latitud de 38° 2' N; la segunda, Carrichosa, se encuentra un poco más allá de la confluencia con el Segura, a una altitud de 241 m. y latitud de 38° 16'. Se trata de estaciones completas semiautomáticas de la Red Regional de la Región de Murcia, situadas en áreas de regadío, en el primer caso extensivo herbáceo y en el segundo con predominio de los frutales de hueso. Las variables meteorológicas registradas son radiación solar, temperatura, humedad relativa y recorrido del viento.

Por otra parte, la comparación de modelos de estimación de evapotranspiración, ha incluido los modelos de ETP de Thorntwaite y Turc y los de evapotranspiración de referencia gramíneas Penman-FAO, Radiación-FAO, Blaney-Criddle-FAO, y los modelos Penman-Monteith para vegetación baja y alta, estandarizados por FAO y ASCE.

Se ha incluido asimismo el modelo, menos conocido de Hargreaves (Hargreaves-Samani, 1985), que solo requiere medidas de temperatura.

$$Eth = 0,408(0,0023Ra(Tm + 17,8)\sqrt{Tx - Tn})$$

donde:

Eth es la evapotranspiración de referencia en mm/día. Ra es la radiación extraterrestre (MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). Tm es la temperatura media (°C). Tx es la temperatura máxima (°C). Tn es la temperatura mínima (°C).

#### 5. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos, que se recogen en la tabla 4 y en las figuras 5 y 6, muestran claramente tres grupos de estimadas de ET. El primer grupo incluye

Thor	Thorntwaite	EtoBC	Blaney-Criddle-FAO
Turc	Turc	EtoP	Penman-FAO
Eth	Hargreaves-Samani	EtoPM	Penman-Monteith-FAO (ASCE)
EtoR	Radiación-FAO	ETrPM	ASCE referencia alfalfa

Los métodos empíricos de Thorntwaite y Turc, que subestiman ampliamente la ET, durante la mayor parte del año. Turc efectua estimadas altas en el periodo invernal y responde escasamente a los incrementos de la demanda evaporativa, del resto del año. En cuanto a Thorntwaite se ajusta en tendencia en el último tercio del año, con reducción del 25-30%, pero supera reducciones que alcanzan el 45-55% a lo largo de la primera y el verano.

Barranda h=880 m Latitud: 38° 2'

Mes	Thor	Ture	Eh	EtoR	EtoBC	EtoP	EtoPM	ETrPM
1	0,5	1,8	1,1	1,4	1,1	1,0	1,2	1,7
2	0,7	2,1	1,6	2,0	1,6	1,6	1,6	2,2
3	1,0	2,0	2,4	3,1	2,4	2,5	2,2	2,9
4	1,3	2,4	3,3	4,2	3,3	3,6	3,2	4,0
5	2,0	2,6	4,5	5,2	4,4	4,9	3,8	4,5
6	2,8	3,1	5,1	6,3	6,1	5,5	5,1	6,1
7	3,6	3,2	5,7	6,7	6,9	5,9	5,5	6,6
8	3,7	3,0	5,1	6,0	6,3	5,2	4,8	6,0
9	2,7	2,5	3,6	4,3	4,3	3,7	3,2	4,0
10	1,7	2,0	2,2	2,8	2,5	2,2	2,0	2,6
11	1,0	1,9	1,5	1,7	1,6	1,3	1,3	1,8
12	0,6	1,7	1,1	1,3	1,1	0,9	1,0	1,6
Anual	1,8	2,4	3,1	3,8	3,5	3,2	2,9	3,7

Carrichosa h=241 m Latitud: 38° 16'

Mes	Thor	Ture	Eh	EtoR	EtoBC	EtoP	EtoPM	ETrPM
1	0,6	1,9	1,3	1,6	1,4	1,1	1,2	1,7
2	0,9	2,2	1,9	2,3	2,1	1,8	1,8	2,4
3	1,3	2,2	2,9	3,5	3,1	2,9	2,5	3,3
4	1,7	2,6	3,7	4,7	4,1	4,0	3,7	4,6
5	2,3	2,7	5,0	5,7	5,1	5,2	4,2	5,1
6	3,6	3,1	5,5	6,6	6,5	5,9	5,6	6,7
7	4,4	3,0	5,7	6,7	6,9	6,0	5,9	7,1
8	4,5	2,8	5,0	5,9	6,2	5,3	5,1	6,1
9	3,3	2,5	3,8	4,5	4,6	4,0	3,5	4,3
10	2,2	2,1	2,5	3,0	3,1	2,5	2,2	2,8
11	1,2	2,0	1,7	1,9	2,1	1,5	1,4	2,0
12	0,8	1,8	1,2	1,4	1,5	1,0	1,1	1,6
Anual	2,2	2,4	3,3	4,0	3,9	3,4	3,2	4,0

Tabla 4. Evapotranspiraciones potencial y de referencia gramíneas y alfalfa, en las estaciones de estudio. mm/día

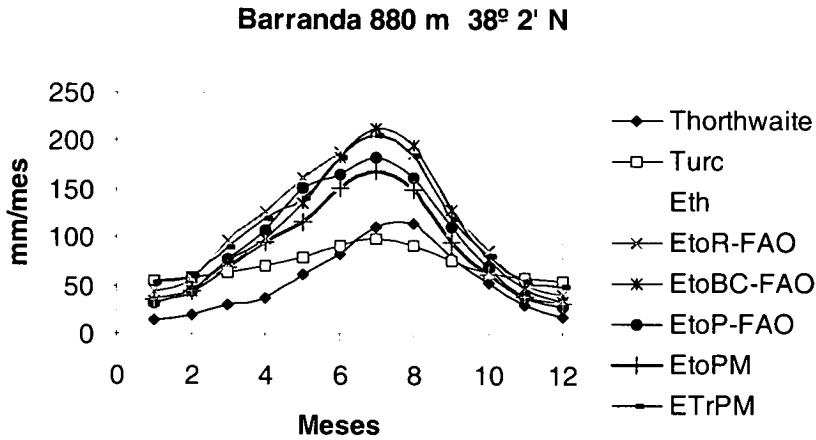


Figura 5 . Evolución de las ET acumuladas mensuales. Barranda

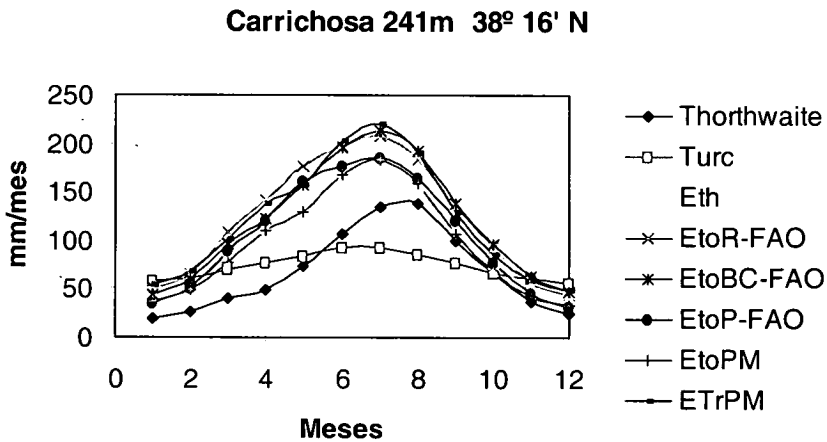


Fig 6 . Evolución de las ET acumuladas mensuales. Carrichosa.

El segundo grupo esta constituido por los modelos Penman-FAO, Penman-Monteith-FAO (modelo ASCE-PM para gramineas) y la estimada de evapotranspiración de referencia de Hargreaves-Samani, que muestran acumuladas mensuales muy próximas a lo largo de todo el año.

Llama particularmente la atención el excelente ajuste de Eth, un parámetro basado en la temperatura, frente a los otros dos métodos de base física con  $R^2$  de 0,979 y 0,998 frente a Penman-Monteith y Penman-FAO respectivamente, y pendientes de la recta de regresión muy próximas a la unidad. (Figura 7).

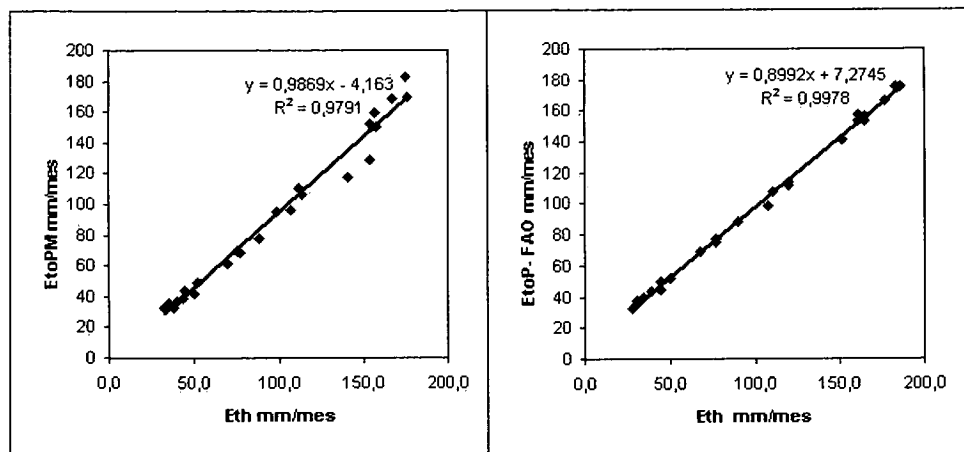


Figura 7. Correspondencia de Eth con Eto-PM y EtoP-FAO.

Hay que tener en cuenta que se trata de una zona con vientos flojos, del orden de 1 m/s durante casi todo el año, por lo que la evapotranspiración está fuertemente determinada por la componente energética de la ecuación de combinación.

Finalmente, un tercer grupo está constituido por las ecuaciones Radiación-FAO, Blaney-Criddle-FAO y Etrs (ASCE alfalfa). Todas ellas, muy ajustadas entre si, promueven valores mas elevados de ET, especialmente en los meses de verano. Sanchez-Toribio (1990) ya reportó un comportamiento sobrestimado de Radiación-FAO y Blaney-Criddle-FAO, con relación a medidas lisimétricas en el Bajo Guadalentín.

En resumen, los mejores resultados se obtienen con los modelos Penman-FAO, Penman-Monteith-FAO y Hargreaves. Por otra parte, no consideramos por el momento conveniente la adopción de dos estandar, uno para vegetación baja (12 cm) y otro para vegetación alta (50 cm), al menos en la Región de Murcia y en España, donde existe una fuerte implantación de los modelos de referencia gramíneas, EtoPenman-FAO y Eto Penman-Monteith.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación REN2002-03426/HID, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, y fondos FEDER. A ellos nuestro agradecimiento.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R. G., MONTEITH, J. L. PERRIER, A., PEREIRA, L.S. Y SEGEREN, A. (1991): "Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO

- guidelines for prediction of crop water requirements. Land and Water Development Division”, FAO, Roma. Italia. 54 p.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., Y SMITH, M. (1998): “Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements”. *Irr. And Drain. Paper 56*. FAO. Roma. Italia. Accesible en <http://www.fao.org/docrep/X0490E00.htm>
- ANDREU, J.M., ORTIZ DE URBINA, J.M., CHIRINO, E., BELLOT, J., BONET, A., GARCIA SÁNCHEZ, E., PULIDO BOSCH, A., SÁNCHEZ, J.R. & VALLEJOS, A. (2001): Análisis comparativo entre algunos métodos de estimación de la ETP en la Sierra del Ventós (Alicante). En A. Pulido Bosch, P. Leboeuf y A. Vallejos Izquierdo (Eds.), V Simposio sobre el agua en Andalucía. Vol I: 33-43.
- ASCE-EWRI. (2005): “The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Task Committee on standardization of Reference Evapotranspiration of the Environmental and Water Resources” Institute of the American Society of Civil Engineers. 173 pp.
- CHOISNEL, E., DE VILLELE, O. , & LACROZE, F., (1992): “Une approche uniformisé du calcul de l’evapotranspiration potentielle pour l’ensemble des pays de la Communauté Européenne”. Com. Común. Eur., EUR 14223 FR, Luxembourg, 176 pp.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O., (1977): “Guidelines for predicting crop water requirements”. *Irr. And Drain. Paper 24 (Rev)*. FAO. Roma. Italia. 156 pp.
- HARGREAVES, G. H. & SAMANI, Z. A., (1985): “Referente crop evapotranspiration from temperatura”. *Applied Eng. In Agric.*, 1(2), 96-99.
- JENSEN, M.E. (ed.) (1971): “Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep.Tech. Comm. Irr. Water Require”. *Am. Soc. Civ. Eng. Irrig. Div.*, 227 pp
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D. & ALLEN, R.G., EDS. (1990): “Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements”. Amer. Soc. Civil Eng., New York.
- MONTEITH, J.L., (1965): “Evaporation and the environment”. *Proc. Soc. Exp. Biol.* **19**, 205-234.
- PENMAN, H. L., (1948): “Natural evaporation from open water, bare soil and grass”. *Proc. R. Soc. London, Ser A.* **193**, 120-145.
- ROMERO DIAZ, A., MARTÍNEZ LLORIS, M, BELMONTE SERRATO, F. & HERNÁNDEZ LAGUNA, E., (2003): *Nimbus* nº 11-12, 89-105.
- SANCHEZ-TORIBIO, M.I. , (1990): “La evaporación en la Región de Murcia en relación a sus aplicaciones en hidrología y agricultura”. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Murcia. ISBN 84-7684-970-2. 285 pp
- SÁNCHEZ-TORIBIO, M.I., (1992): “Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración”. Geoforma Ediciones, 35 pp.

SMITH, M., ALLEN, R.G. & PEREIRA, L., (1996): "Revised FAO Methodology for Crop Water Requirements. Proc. Of ASAE International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling". San Antonio. TX

WALTER, I.A. ET AL., (2000): "ASCE's Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Proc. Watershed Management 2000 Conference". Ft. Collins, CO, American Society of Civil Engineers, St. Joseph, MI