

1. INTRODUCCION

La evaporación del tanque es frecuentemente utilizada en vez de la evaporación potencial, la cual es usualmente computada aplicando la ecuación de Penman. Mahrt y Ek (1984), plantean la necesidad de corregir la ecuación de Penman para condiciones de estabilidad atmosférica, no obteniendo resultados satisfactorios. La poca practicidad de su propuesta se basa en no poder conocer la temperatura de superficie para estimar el número de Richardson. En el presente trabajo se discute la validez de la ecuación de Penman para zonas áridas, sus limitaciones y se presenta la posibilidad de corrección para condiciones advectivas.

2. MATERIAL Y METODOS

Se dispone de datos horarios de la estación automática ubicada en Sede Boqer a 31°41'N - 34°41'E, Israel. Es una zona de extrema aridez cuyas características para el año 1997 fueron: evaporación anual 2023 mm, precipitación anual 124 mm, temperatura media máxima anual 24.3°C y temperatura media mínima anual 11.7°C (Israel Meteorological Service, 1998).

Desde los datos de la estación automática se obtuvieron valores medios diarios de: temperatura, tensión de vapor, velocidad del viento, radiación global correspondiente al período 1996, 1997 y desde 1/1/98 al 1/9/98. Adicionalmente se utilizaron datos diarios de evaporación del tanque tipo A, correspondientes al período 1997 y 1998 se trabajo sobre 499 días para evaluar la ecuación de Penman y 160 días del año 1998 para la verificación de la modificación propuesta. Fueron eliminados los días con precipitación y aquellos para los que faltaban algunos de los datos.

2.1. - Evaluación de la Ecuación de Penman

La evaporación del tanque fue estimada según la ecuación de Penman, siguiendo la definición de Brutsaert (1982), utilizándose un valor de 0.98 para la emisividad del agua. Figuerola y Berliner (2001) indicaron que los valores así calculados subestimaron los valores observados del tanque con una pendiente de 0.7 y una ordenada al origen de 1.4 mm, concluyeron que para valores mayores a 8 mm la ecuación de Penman no es un buen estimador. Sugirieron que estos casos correspondan probablemente a condiciones de máxima advección.

La Temperatura de superficie, T_s , (o "skin temperatura") fue obtenida al resolver las ecuaciones de balance de energía para el tanque y utilizando el valor medido de la evaporación del mismo.

Condiciones advectivas son esperadas cuando la evaporación es mayor que la radiación neta, o sea cuando el calor sensible es negativo. En estos casos la temperatura de superficie sería menor que el valor de temperatura del aire, en consecuencia se esta en presencia de condiciones estables. La condición de estabilidad fue obtenida utilizando el número de Richardson definido para la superficie del tanque.

El trabajo de Figuerola y Berliner (2001) concluye que la relación entre la evaporación del tanque y la evaporación de equilibrio, E_{eq} (Slatyer y McIlroy, 1967), es para casos estables $\alpha=1.83$, mientras que en casos inestables $\alpha=1.26$, coincidiendo este último con la ecuación de Priestley y Taylor (1972) de mínima advección.

2.2. - Temperatura de enfriamiento por evaporación

Monteith (1981), presenta una clara deducción del enfriamiento por evaporación. Nuestro caso más cercano al de por él citado, corresponde a un enfriamiento no muy acentuado debido a la rápida transferencia de calor por el aumento de la humedad específica, cuya expresión puede asimilarse a:

$$T_s = T_a - (T_a - T_w) \left(\frac{\gamma}{\gamma + s(T_w)} \right) \tag{1}$$

donde T_s es la definida temperatura de superficie del agua. T_a es la temperatura del aire, T_w es la temperatura del bulbo húmedo, g constante psicrometrica y s pendiente de la curva de tensión de vapor y temperatura aplicada en T_w . La Figura 1 presenta la buena relación que existe en los casos estables entre la "skin" temperatura observada (obtenida desde la ecuación de balance) y la temperatura estimada según la ecuación (1).

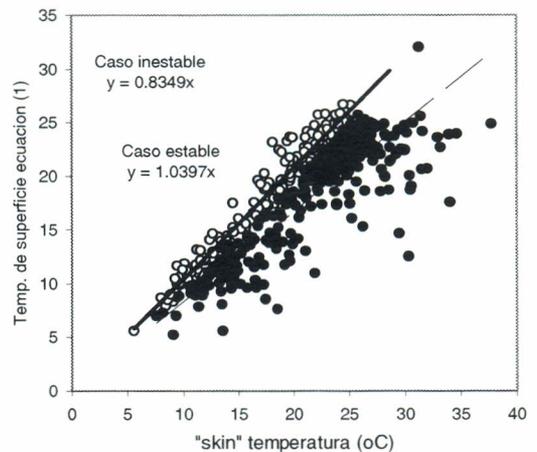


Figura 1: Comparación entre la temperatura de superficie observada o "skin" temperatura y la temperatura computada con la ec. (1), en blanco los casos estables, en negro los casos inestables (datos 1997 y 1998)

2.3. - Modificación de la Ecuación de Penman para casos advectivos y su verificación

La ecuación de Penman puede ser re-escrita de la siguiente forma

$$E_{estimado} = \frac{s}{s + \gamma} R_N + \frac{\rho C_p}{s + \gamma} \frac{(e_s(T_a) - e)}{r_t} \tag{2}$$

donde r_t es la resistencia del tanque de agua a la

¹ Dpto. de Ciencias de la Atmósfera, FCEyN, UBA, Pabellón 2, 2^{do}. Piso, Ciudad Universitaria Buenos Aires, Argentina. Email: figuerola@at.fcen.uba.ar

² Wyler Department of Dryland Agriculture, Blaustein Institute for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Israel

evaporación. Thom y Oliver (1977), deducen desde la ecuación de Penman que,

$$r_t = \frac{250}{(1 + 0.54u)} \quad (3)$$

donde u es la velocidad del viento.

Figuerola y Berliner (1999) presentan una expresión modificada de r_t , desde un ajuste estadístico de los datos utilizando los años 1997 y 1998. Para los casos estables (advección) se propone una corrección de la parte aerodinámica de la ec. (2) como:

$$r_t = \frac{122}{(1 - 5\beta_o)^{0.6} u^{0.33}} \quad (4)$$

donde β_o es el cociente de Bowen.

Para la verificación se utiliza los datos del año 1998, y se estudia los casos advectivos, estos fueron seleccionados según el criterio que el valor observado de evaporación del tanque es mayor que la radiación neta, $E/R_n > 1$, estos casos también cumplen la relación entre la ecuación de Penman y la evaporación equivalente, $ETP/E_{eq} > 1.3$ (ver Figuerola y Berliner, 2001). Del total de 160 días del año 1998, 72 días cumplen esta condición.

Para la aplicación de la ecuación (4) es necesario el conocimiento de T_s y es determinado según la ecuación (1). La Figura 2 presenta el error entre el valor observado de evaporación del tanque, E_t , y el estimado según lo propuesto, $E_{estimado}$, en función de los valores de evaporación del tanque.

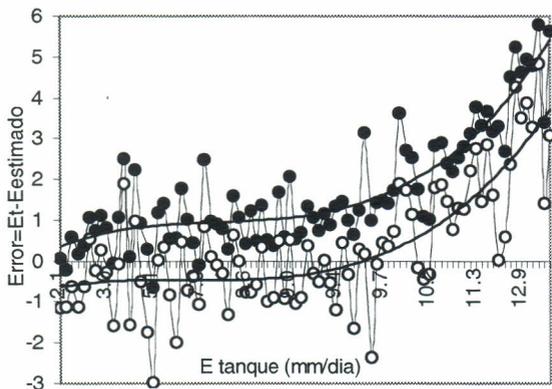


Figura 2: Error = $E_t - E_{estimado}$, caso (a) en negro, $E_{estimado}$ obtenido con r_t ec. (3), esta es la ecuación de Penman, (b) en blanco con r_t ec. (4). Se superpone la curva de tendencia

El error de la ecuación de Penman en casos advectivos aumenta a partir de los 5 mm, y aumenta significativamente después de los 9.5 mm (caso a). En el caso (b) donde fue corregido el término aerodinámico con la ecuación (4), mejora sustancialmente los valores menores a 9 mm, no así los mayores a este.

Una de las fuentes de error son las altas temperaturas más allá de los 9 mm. La ecuación (1) sobrestimaría los

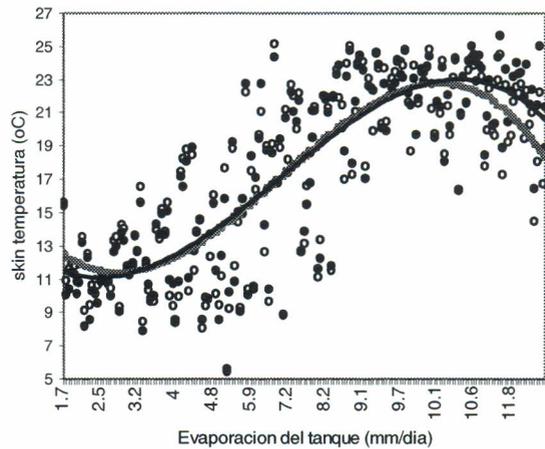


Figura 3: "Skin temperatura" observada en puntos blancos superpuesta la curva de tendencia en rojo. En puntos negros ecuación (1) con curva de tendencia en negro, en función de la evaporación del tanque, datos de 1997 y 1998, casos estables

valores de "skin temperatura" observados después de los 10 mm según la Figura 3.

3. CONCLUSIÓN

En este trabajo se presenta una excelente estimación de la temperatura de superficie del agua o «skin» temperatura a partir de conocer la temperatura del bulbo húmedo para casos estables, permitiendo estimar la corrección por estabilidad.

La corrección por estabilidad al término aerodinámico resultó ser adecuada para valores de evaporación menores de 9 mm. Para valores mayores a 9 mm, las altas temperaturas de entre 20 y 25°C, producirían uno de los errores en la estimación de la evaporación.

4. REFERENCIA

- Brutsert, W, 1982: Evaporation into the Atmosphere, Reidel Publishing Company, Holland, 299 pag.
- Figuerola, P y Berliner, P, 1999: Evaporation, model and forecast. Second Annual Conference on Active Research by Environmental Sciences CARESS'99. Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel. pp. 16.
- Figuerola, P y Berliner, P, 2001. Análisis de la evaporación del tanque en una zona árida, enviado al XI Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VIII Congreso Argentino de Meteorología, 10 pag.
- Mahrt, L y Ek, Michael, 1984. The influence of atmospheric stability on potential evaporation, J. Clim. App. Met., Vol. 23, 222-234.
- Monteith, J. L., 1981. Evaporation and surface temperature, Quart. J. Royal Met. Soc., Vol. 107, 451, 1-27
- Priestley, C. H. B. y Taylor, R. J., 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Wather Rev., 100, 81-92.
- Slatyer, R. O y McIlroy, I. C. 1967: Practical Microclimatology, CSIRO, Melbourne, Australia, pp 310.
- Thom, A.S. y Oliver, H.R., 1977: On Penman's equation for estimating regional evaporation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol 103, 436, 345-357.