

# Estimación de la evapotranspiración y su relación con variables biométricas en el cultivo de maíz amarillo variedad S<sub>5</sub>, ciclo 2009

**Karianny Moreno<sup>1</sup>**  
**Pedro Monasterio<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pasante. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana. Núcleo Yaracuy

<sup>2</sup>Investigador. INIA –Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Yaracuy  
Correos electrónicos: mkarianny@gmail.com; pmonasterio@inia.gob.ve

**E**l maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales rubros a nivel nacional, debido a su importancia en la dieta alimentaria humana y de animal. El clima constituye el factor de producción más importante en el cultivo de esta planta, su distribución geográfica depende, entre otros factores climatológicos, de la cantidad y distribución de las lluvias.

La producción de maíz presenta múltiples problemas derivados del uso de la zona agroecológica, con marcadas diferencias en cuanto a las características físicas y químicas de los suelos, regímenes pluviométricos y altitud (Cabrera y García, 1999). Este cultivo es exigente en cuanto a la disponibilidad de agua presente durante su desarrollo, la falta de agua en una de sus etapas críticas, deriva en mermas importantes en cuanto a la producción, afectando los rendimientos económicos (Monasterio et al, 2008); por lo que la efectividad en el uso del recurso agua, constituye uno de los factores claves para un buen rendimiento agronómico del cultivo.

La evapotranspiración aumenta la eficiencia del riego, a través de la determinación de sus valores y frecuencias, referidas a la capacidad de retención de agua del suelo, lo que permite un mejor aprovechamiento de las potencialidades edafoclimáticas. Se destaca que la evapotranspiración es un componente fundamental del balance hidrológico y un factor clave en la interacción entre el suelo y la atmósfera, es necesario la cuantificación en la producción vegetal para la planificación y uso de los recursos hídricos. El objetivo de este trabajo se basó en la determinación de la evapotranspiración, por tres métodos empíricos: Hargreaves,

Thorntwaite y Turc, para establecer cuál de las fórmulas se adapta al campo experimental del INIA Yaracuy y relacionarla con el desarrollo del maíz amarillo variedad S<sub>5</sub> a través de los parámetros biométrico en el ciclo 2009.

## Conceptos básicos sobre evapotranspiración

La evapotranspiración constituye el proceso combinado entre la evaporación, cuando el agua pasa a su forma gaseosa, y el proceso de la transpiración, donde la planta usa el agua en sus procesos fisiológicos que luego fluye a la atmósfera a través de sus tejidos. Ésta condiciona la actividad vegetal y por ende, la actividad agropecuaria y su distribución territorial. La estimación del proceso de evapotranspiración es de gran utilidad en la agricultura ya que contribuye con el aumento de la efectividad en lo que se refiere a la planificación y programación de sistemas de riego.

La evapotranspiración se ve afectada por ciertos factores diversos, variables en el tiempo y en el espacio, los cuales se pueden agrupar en los de orden climático, relativos a la planta y los asociados al suelo. Entre los factores climáticos se encuentran: la radiación solar, temperatura, brillo solar, humedad atmosférica, precipitación y velocidad del viento. Mientras que entre los factores del suelo están: contenido de humedad, profundidad del manto foliar y salinidad. El conocimiento de la evapotranspiración es la base para elaborar calendarios teóricos de riego de cultivos y estimar el volumen de agua para riego suplementario, en caso de que la lluvia sea insuficiente. También existen otros métodos directos para calcular la evapotranspiración potencial (ETP), los mismos proveen

información directa del total de agua requerida por los cultivos, utilizando para ello instrumentos para la determinación, igualmente proporcionan valores muy apegados a la realidad, entre éstos, el método gravimétrico, lisimétrico y el evapotranspirómetro de Thornthwaite. Las técnicas indirectas para calcular la evapotranspiración proporcionan una estimación del requerimiento de agua a través de todo el ciclo vegetativo mediante la utilización de fórmulas empíricas; estas técnicas se han clasificado en climatológicas y micrometeorológicas. Las climatológicas estiman la evapotranspiración en períodos mínimos de una semana, dentro de éstos tenemos: Penman modificado, evaporación del tanque tipo "A", Turc, Jensen-Haise, Stephens, Blannet-Cridle, Thornthwaite, Doorenbos-Pruitt, Ivánov y Papadakis.

## Realización de la experiencia

### Cálculo de la evapotranspiración

Los cálculos se realizaron semanalmente en los meses correspondientes a: enero, febrero y marzo, los datos de temperatura y precipitación fueron aportados por la estación meteorológica automática HL-20, ubicada en el campo experimental del INIA Yaracuy.

**Fórmula de Hargreaves:** (Hargreaves y Samani, 1985), mediante esta técnica se evaluó la evapotranspiración potencial a través de los datos de temperatura y la radiación solar con datos del año 2009, se empleó la siguiente fórmula:

- Eto= 0.0135 (tmd + 17.78) Rs
- Eto = evapotranspiración potencial diaria en mm/día.
- med = temperatura media °C.
- Rs = radiación solar incidente, convertida en mm/día
- Rs = Ro\*KT (Tmax -Tmin)
- Ro = Radiación solar extraterrestre (tabulada).
- KT = Coeficiente (Adimensional)
- Tmax = temperatura diaria máxima (°C).
- Tmin = temperatura diaria mínima (°C)

KT es un coeficiente empírico y su valor oscila entre 0.162 para regiones del interior y 0.19 para zonas costeras. En este caso se usó el valor de 0.162 por encontrarse el municipio Cocorote más cerca de la zona costera que del centro del país.

Ro se encuentra tabulado en función de la latitud y del mes correspondiente según la tabla de radiación solar extraterrestre en MJulio m-2 d-1 de Allen *et al.*, 1998 como el valor esta MJulio/m/día, se debe multiplicar por 0.408 para pasarlo a milímetro/día. Tomando el valor para la constante KT de 0.162, se obtiene el valor de Rs. Al obtener el valor de la radiación solar incidente y con los valores de las temperaturas medias diarias se procede al cálculo de la Eto para cada mes.

**Fórmula de Thornthwaite:** La fórmula de Thornthwaite estima la evapotranspiración potencial a partir de la media mensual de las temperaturas, medias diarias del aire, con el lo que se calcula un índice de calor anual.  $i = (t/5)^{1.514}$ . Esta fórmula permitió obtener un valor para el índice de calor anual (I), siendo éste igual a la suma de los doce índices mensuales del año considerado. Para meses teóricos de 30 días, con 12 horas diarias de sol se formula la siguiente expresión:  $\epsilon = 16(10 t/I)^a$ , donde  $\epsilon$  = evapotranspiración potencial media en mm/día; t = temperatura media diaria del mes en °C; I = índice de calor anual.

$$(I = \sum i) \cdot a = 675 \cdot 10^{-9} |^3 - 771 \cdot 10^{-7} |^2 + 1972 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

Posterior a este cálculo se procede a corregir esta fórmula mediante la duración real del día en horas y los días del mes, obteniendo de esta forma la evapotranspiración potencial ajustada.

- ETP = K\* e y K = N/12 \* d/30 \* d
- ETP = evapotranspiración potencial (mm / mes)
- N = número máximo de horas de sol, según la latitud
- d = número del días del mes
- $\epsilon$  = valor obtenido de la fórmula
- $\epsilon = 16(10 t/I)^a$

Se calcula el valor de K y luego ETP.

**Fórmula de Turc:** esta técnica compara las precipitaciones y la corriente total de numerosas cuencas, se utilizó la siguiente fórmula para obtener su valor:

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETP = evapotranspiración potencial mm/ año

P = precipitación en mm/ año

L =  $300 + 25T + 0.05T$

T = temperatura media anual °C del año analizado.

Se calcula el valor de L y se procede al cálculo de ETP por la fórmula de Turc. La fórmula se realizó para cada mes.

### Cálculo del balance hídrico

Para la realización del balance hídrico se tomaron los datos de precipitación semanalmente de los meses de enero a marzo del año 2009. La ETP utilizada fue la del método de Hargreaves, debido a que resultó más aceptada para esta zona, porque consideramos que la fórmula de Thornthwaite sobreestima la ETP y la de Turc la minimiza. Ver figuras 1 y 2. En función de estas consideraciones se procedió a realizar el balance hídrico, haciéndolo bajo las normas obligatorias para calcular la evaporación real (ETR), básica para el cálculo del balance. La ETR se obtiene según las normas siguientes:

Si la precipitación es menor a ETP entonces ETR es igual a precipitación y no existe almacenamiento.

Si la precipitación es mayor a ETP entonces ETR es igual a ETP y debe existir almacenamiento e incluso drenaje, si sobrepasa la capacidad de almacenamiento del suelo.

### Análisis de los métodos descritos

En el Cuadro 1, se presenta los valores de la evapotranspiración mediante el método de Hargreaves y Samani (1985), y Thornthwaite y Turc para los meses correspondientes a enero, febrero y marzo; los datos obtenidos reflejan como cada método caracterizó a la ETP, y las curvas son diferentes, esto puede ser debido a los parámetros climáticos que los componen, sin embargo el método que produjo los registros más constantes en el período de estudio y acorde con el clima de la zona, fue el de Hargreaves y Samani (1985), con un valor mínimo en 3,28 mm y máximo en 4.84 mm de evapotranspiración, teniendo que las últimas cuatro semanas fueron las de mayores registro de evapotranspiración lo que corresponde con la etapa de llenado de grano de la planta.

La fórmula de Thornthwaite, permitió obtener los valores de evapotranspiración sin corregir entre: 4,66 y 5,23 milímetros, mientras que los corregidos estuvieron entre 8,03 y 11,20 milímetros de agua (Cuadro 2). Se observa que el método presentó valores altos de evapotranspiración corregida durante todo el ciclo, pero difieren de la curva normal de consumo de agua por el maíz, donde el consumo debe ser mayor, los valores disminuyeron y aumentaron en las etapas donde la planta disminuyó su consumo, esto permite inferir que existe una sobreestimación de las cantidades que enmascaran los valores de evapotranspiración relativa (ETR).

**Cuadro 1. Valores de la evapotranspiración en milímetros de agua semanal en los meses enero, febrero y marzo año 2009, mediante los métodos: Hargreaves, Thornthwaite y Turc. Campo experimental del INIA Yaracuy.**

Método/Mes/semana	Enero				Febrero				Marzo			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hargreaves	3,6	3,3	3,3	3,6	3,5	3,4	3,8	3,8	4,3	4,5	4,6	4,8
Thornthwaite (Corregida)	8,1	10,4	10,7	10,6	8,3	8,0	8,4	7,9	8,3	10,8	11,1	11,2
Turc	13,4	18,6	7,0	1,6	8,6	9,9	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

La fórmula de Turc, caracterizó la ETP durante el ciclo con los valores más bajos, y la estimó en cero durante las últimas cuatro semanas, debido que no hubo precipitación, este valor es numerador de la fórmula, por lo que concluimos que el método no se adapta a la zona de estudio.

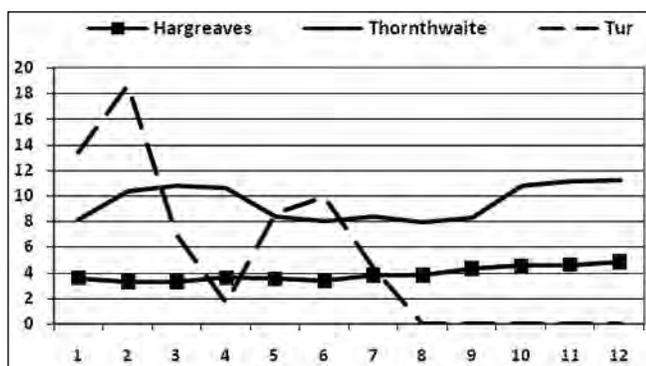


Figura 1. Valores de ETP en milímetros por semana de enero a marzo por los métodos de Hargreaves, Thornthwaite y Turc en el campo experimental del INIA Yaracuy.

En la Figura 1, se pueden observar los valores de la ETP calculados a través de los métodos durante las doce semanas, los resultados de la fórmula de Hargreaves se muestran constantes, lo que indica que es un método confiable para usar en la estimación de la ETP en la zona, por otra parte los valores de la curva de Thornthwaite son elevados y discontinuos, en la fórmula de Turc decaen los valores en las últimas cuatro semanas debido a que la fórmula

se encuentra en función de la precipitación y ésta fue totalmente cero en esas semanas.

A través del balance hídrico mediante la fórmula de Hargreaves y Samani (1985), podemos observar que la ETP en las primeras ocho semanas de crecimiento del cultivo no afectó las demandas por agua, debido a que se cubrió la ETR y hubo almacenamiento, lo que cubre la necesidades de agua de la plantas.

Durante el tiempo de floración, (semanas nueve y diez) no hubo precipitaciones, por lo que el cultivo no cubrió los requerimientos esperados, es importante señalar que estas semanas se consideran críticas por las fases de polinización y llenado de granos, este estado fisiológico exige suplencia de agua, ya que tiene relación directa con los niveles de rendimiento. La Figura 2, muestra el comportamiento de la ETP de la fórmula de Hargreaves y Samani (1985).

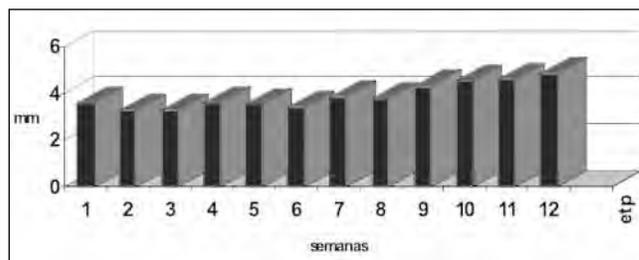


Figura 2. Valores de la ETP Fórmula de Hargreaves y Samani (1985), durante los meses de enero a marzo del 2009. Campo experimental del INIA Yaracuy.

Cuadro 2. Balance hídrico climatológico del campo experimental del INIA Yaracuy ETP, fórmula de Hargreave y Samani (1985).

Mes/semana	Enero		Febrero				Marzo			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación	6.6	1.51	8.61	9.36	4.05	0	0	0	0	0
ETP	3.3	3.6	3.5	3.4	3.8	3.8	4.3	4.5	4.6	4.8
P-ETP	3.3	-2.09	5.11	5.96	0.25	-3.8	-4.3	-4.5	-4.6	0
ETR	3.3	3.6	3.5	3.4	3.8	3.8	4.3	4.4	0	0
Reserva	3.3	1.21	6.32	12.53	12.53	8.73	4.4	0	0	0
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0.1	4.6	4.8
Excedentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Consideración final

Para la estimación de la evapotranspiración durante la siembra del maíz variedad S5, tomando en consideración las variables biométricas, el método de Hargreaves proporcionó mejores resultados.

Las fórmula de Thornthwaite y Turc sobreestiman los valores de la evapotranspiración.

Así mismo se recomienda plantear esta investigación en los meses correspondiente al ciclo del cultivo de maíz, los valores obtenidos se ven influenciados por el periodo de enero-marzo, época generalmente de sequía.

## Bibliografía consultada

Allen, R.G.; L. S. Pereira y D. Raes (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage p 56

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents>.

Blanney, H y W. Criddle. 1952. Uso consuntivo del agua. Disponible en <http://ww.mitecnologico.com/ic/Main/Usosconsuntivo-10k->

Cabrera, S. y P. García. 1999. El cultivo de maíz en Venezuela. In: Memorias XVIII Reunión Latinoamericana del Maíz. 22 a 27 de agosto de 1999. Sete Lagoas – Mina Gerais – Brasil. EMBRAPA, CIMMYT. P150-160.

Grassi, C. 1998. Fundamentos del Riego. Mérida, Venezuela. Serie Riego y Drenaje RD-38.

Hargreaves G. y Z. Samani. (1985). Reference crop evapotranspiration from. p. 96-99.

Monasterio, P., G. Alejos, P. García, A. Pérez, J. Tablante, y W. Maturé. (2008). Influencia de la precipitación sobre el rendimiento de maíz en los ensayos regionales de híbridos blancos en el estado Yaracuy.

Revista Digital INIA HOY N° 2, mayo-agosto 2008. (Consultado el 8/05/2009). Disponible en: <http://www.inia.gob.ve/images/stories/docman/IH02monasterio.pdf>

