

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN A PARTIR DE DATOS SATELITALES PARA LA REGIÓN DE ALTO BENI, NORTE DE LA PAZ

Estimation of evapotranspiration from satellite data for the Alto Beni region, northern La Paz

Carlos Eduardo Choque Tarqui¹

RESUMEN

La evapotranspiración (ET), resulta de un proceso simultáneo de evaporación y la transpiración. En una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se denomina como evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Para este estudio se utilizó ecuación de Penman-Monteith FAO, propuesta por Allen, Pereira, Raes y Smith (2006); Thornthwaite et al. (1944); Hargreaves et al. (1985); Blaney y Criddle (1950) y Turc (1961). La información climática necesaria para la estimación de la ETo, no es suficiente debido a que las estaciones meteorológicas locales son muy escasas además dejaron de funcionar, en ese sentido se utilizaron datos de los simuladores recomendados por la FAO LocClim (2005) y NASA (power larc). La región de Alto Beni se extiende; 14° 56' 55" a 15° 56' 14" Sur y longitud 66° 48' 04" a 67° 36' 42" una altitud de 300 a 1 800 m s.n.m. ocupan una extensión de 4 836.62 km². Es una zona agrícola de importante, debido a que proporciona a la ciudad una buena parte de sus productos alimenticios. Los resultados de la ETo obtenidos en la modelación espacial, muestran diferentes valores distribuidos en la región, el cual varía en cada estación del año. Se asevera que, en la mayoría de los métodos, el déficit de agua inicia a medio mes de abril hasta septiembre, y los picos más altos de octubre a marzo. El análisis estadístico entre los resultados de la ETo, verifica que el modelo de Thornthwaite es el más aceptado con un coeficiente de correlación R² de 0.966 seguida de Blaney-Criddle con 0.969, en último lugar los métodos de Hargreaves y Turc. El modelo más aceptado y aplicado para la zona es el Thornthwaite el cual tiene un comportamiento muy similar al PM-FAO el mismo no sobre estima las demandas de agua y sus cálculos son reflejados con los eventos de la región.

Palabras clave: evapotranspiración de referencia, modelación espacial, variables climáticas.

ABSTRACT

Evapotranspiration (ET) results from a simultaneous process of evaporation and transpiration. In a reference area, which occurs without water restrictions, it is called evapotranspiration of the reference crop (ETo). The Penman-Monteith FAO equation, proposed by Allen, Pereira, Raes and Smith (2006); Thornthwaite et al. (1944); Hargreaves et al. (1985); Blaney and Criddle (1950) and Turc (1961), was used for this study. The climatic information needed to estimate ETo is not sufficient because the local meteorological stations are very scarce and are no longer functioning, so data from the simulators recommended by FAO LocClim (2005) and NASA (power larc) were used. The Alto Beni region extends from 14° 56' 55" to 15° 56' 14" South and longitude 66° 48' 04" to 67° 36' 42" at an altitude of 300 to 1,800 m above sea level and covers an area of 4,836.62 km². It is an important agricultural zone because it provides the city with a large part of its food products. The ETo results obtained in the spatial modeling show different values distributed in the region, which vary in each season of the year. It is asserted that, in most of the methods, the water deficit starts in the middle of April until September, and the highest peaks from October to March. The statistical analysis of the ETo results shows that the Thornthwaite model is the most accepted with an R² correlation coefficient of 0.966, followed by Blaney-Criddle with 0.969, and in last place the Hargreaves and Turc methods. The most accepted and applied model for the area is Thornthwaite, which has a very similar behavior to the PM-FAO, it does not overestimate the water demands and its calculations reflect the events of the region.

Keywords: reference evapotranspiration, spatial modeling, climatic variables.

¹Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. eduard.charly@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración es un parámetro de interés en la clasificación climática de las diferentes regiones, al permitir la definición de periodos de déficit o exceso hídrico, es necesario conocer la evapotranspiración de referencia (ET_o), entendiéndose como la demanda de agua que tiene un cultivo hipotético uniforme de una gramínea a una altura determinada entre 12 cm bajo condiciones de manejo estándar, además de participar en el ciclo hidrológico, su importancia en la agricultura permite determinar la aplicación de tecnologías apropiadas (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006). La determinación de las necesidades de riego de los cultivos se basa en la estimación precisa de la evapotranspiración de referencia, que es particular para cada región y a su vez, las posibles alternativas para la estimación están sujetas a la información meteorológica disponibles (Moeletsi, Walker y Hamandawana, 2013). Sin embargo, seleccionar el método apropiado será un de nuestro reto que expondremos más adelante con los resultados obtenidos. Los diferentes métodos utilizados son propuestas desarrolladas por diferentes autores, permiten cuantificar la estimación de la ET_o, son denominados métodos indirectos y experimentales tal es el caso de Penman-Monteith FAO 2006, ecuación propuesta en una junta de expertos, por otro lado,

tenemos las fórmulas de Thornthwaite, Wilm et al. (1944), Hargreaves et al. (1985), Blaney y Criddle (1950) y Turc (1961). Para el procesamiento de información climática se utilizó plataformas virtuales provenientes de satélites NASA (power larc) así como datos simulados del software LocClim FAO (2005). La información climática fue estructurada y sistematizada en planillas para luego ser analizadas en aplicaciones SIG.

El objetivo del trabajo es cuantificar la estimación de la ET_o y determinar las demandas de agua en un espacio definido, mediante el uso de información puntual (variables climáticas), y el uso de herramientas SIG. Así mismo, el análisis de la ET_o por su comportamiento espacial a lo largo del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

Le región de Alto Beni está ubicado en el norte del departamento de La Paz, comprende dos municipios la de Palos Blancos y Alto Beni, geográficamente se extiende entre la latitud 14° 56' 55" a 15° 56' 14" Sur y longitud 66° 48' 04" a 67° 36' 42" Oeste. Las altitudes varían desde 300 a 1 800 m s.n.m. ambos municipios ocupan una extensión de 4 836.62 km² (Figura 1).

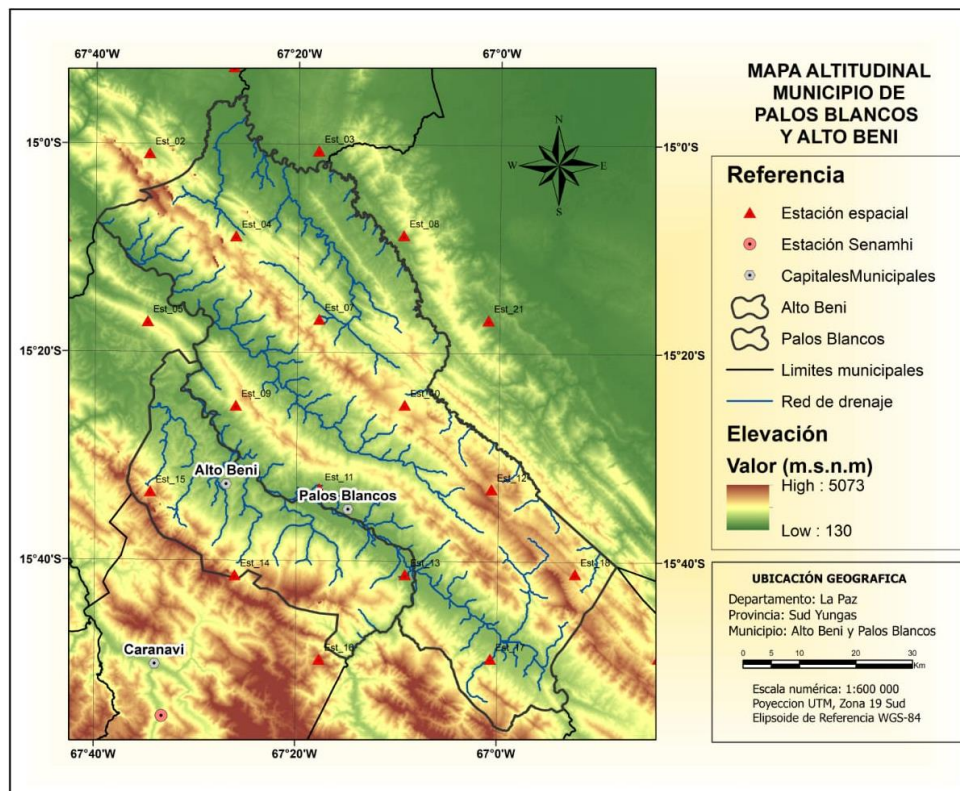


Figura 1 . Localización del área de estudio en la región Alto Beni.

El área comprende a los yungas interandinos de clima tropical y subtropical, sus temperaturas máximas alcanzan 33°C en primavera y mientras que las mínimas en 19°C en época de invierno. Las precipitaciones pluviales están por encima de 1200 mm, y la humedad relativa fluctúa en 80 %. En cuanto a su posición fisiográfica se encuentra; serranías, colinas medias y bajas con disección moderada, piedemonte, llanuras pluviales y aluviales.

Metodología

Datos utilizados

Debido a la escasa información climática, se han utilizados datos de satélite una de ellas desarrollado por la NASA (power larc) que dispone de registros climáticos en periodos mayores a 10 años, otra fuente de datos utilizada es del software LocClim plataforma creada por la FAO (2005) mediante estaciones meteorológicas locales a nivel mundial. A partir de los límites municipales, se distribuyen 21 puntos como referenciales que ocupan toda la región (Tabla 1). Aclarar que la distribución se hace mediante una triangulación la misma se observa en la Figura 1.

Tabla 1. Ubicación de los puntos geográficos de las estaciones referenciales.

Estación	Norte	Este	Cota	Lat_S	long_W
Est_01	8354663	667788	373	14.87726	67.44034
Est_02	8339411	652788	640	15.01602	67.57884
Est_03	8339729	682788	480	15.01123	67.29989
Est_04	8324663	668076	840	15.14838	67.43570
Est_05	8309663	652413	480	15.28491	67.58053
Est_06	8324663	637788	1000	15.15016	67.71753
Est_07	8309883	682788	617	15.28095	67.29774
Est_08	8324700	697788	460	15.14596	67.15926
Est_09	8294663	667970	820	15.41951	67.43467
Est_10	8294663	697921	1000	15.41737	67.15565
Est_11	8279853	682788	520	15.55233	67.29553
Est_12	8279663	713267	1280	15.55167	67.01141
Est_13	8264663	697921	640	15.68845	67.15324
Est_14	8264663	667745	1100	15.69065	67.43472
Est_15	8279496	652788	1680	15.55754	67.57518
Est_16	8249663	682652	780	15.82516	67.29453
Est_17	8249663	712973	880	15.82275	67.01153
Est_18	8264663	728054	1800	15.68590	66.87220
Est_19	8234663	727788	820	15.95695	66.87185
Est_20	8249663	742788	1000	15.82002	66.73330
Est_21	8309606	712788	380	15.28116	67.01844

Nota: coordenadas proyectadas UTM. Zona 19. Hemisferio Sur. Coordenadas geográficas. Elipsoide de referencia WGS-84. Altura ortométrica (m s.n.m.).

Variables climáticas según métodos

Las variables climáticas obtenidas son; temperaturas máximas, mínimas y medias, humedad relativa, velocidad del viento, precipitaciones radiación extraterrestre y horas de insolación, ordenadas, estructuradas y sistematizadas en planillas, además de utilizadas según el método de cálculo para determinar la ETo.

Tabla 2. Variables climáticas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia según cada método.

Métodos	Tm	Tmin	Tmax	Ra	Vel	N	HR
Penman-Monteith	x	x	x	x	x	x	x
Thornthwaite	x	o	o	o	o	x	o
Hargreaves	x	x	x	x	o	o	o
Blaney-Criddle	x	o	o	o	x	o	x
Turc	x	o	o	x	o	o	x

Tm = temperatura media (°C); Tmin = temperatura mínima (°C); Tmax = temperatura máxima (°C); Ra = radiación extraterrestre (Mj m²día⁻¹); Vel = velocidad del viento (m s⁻¹); N = horas de insolación; HR= humedad relativa (%).

Procesamiento de la Información climática

Se han construido capas de información climática con herramientas SIG y sus herramientas y con las cuales se generaron layers de; temperaturas, radiación, velocidad del viento, horas de insolación y humedad relativa. Así mismo para el cálculo de ETo, se han elaborado la relación de las horas de insolación, flujo de calor del suelo, déficit de presión de vapor, pendiente de la curva de presión y otros según la demanda del modelamiento par cada método. Misma distribución espacial ha sido ajustada a métodos de interpolación, ponderación inversa de la distancia IDW como también Kriging y Spline.

La información procesada en layer o capas es integrada en plataforma SIG (Sistemas de Información Geográfica), mediante sus geo-herramientas de procesamiento espacial, creando mapas temáticos de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo el siguiente flujograma que se detalla en la Figura 2.

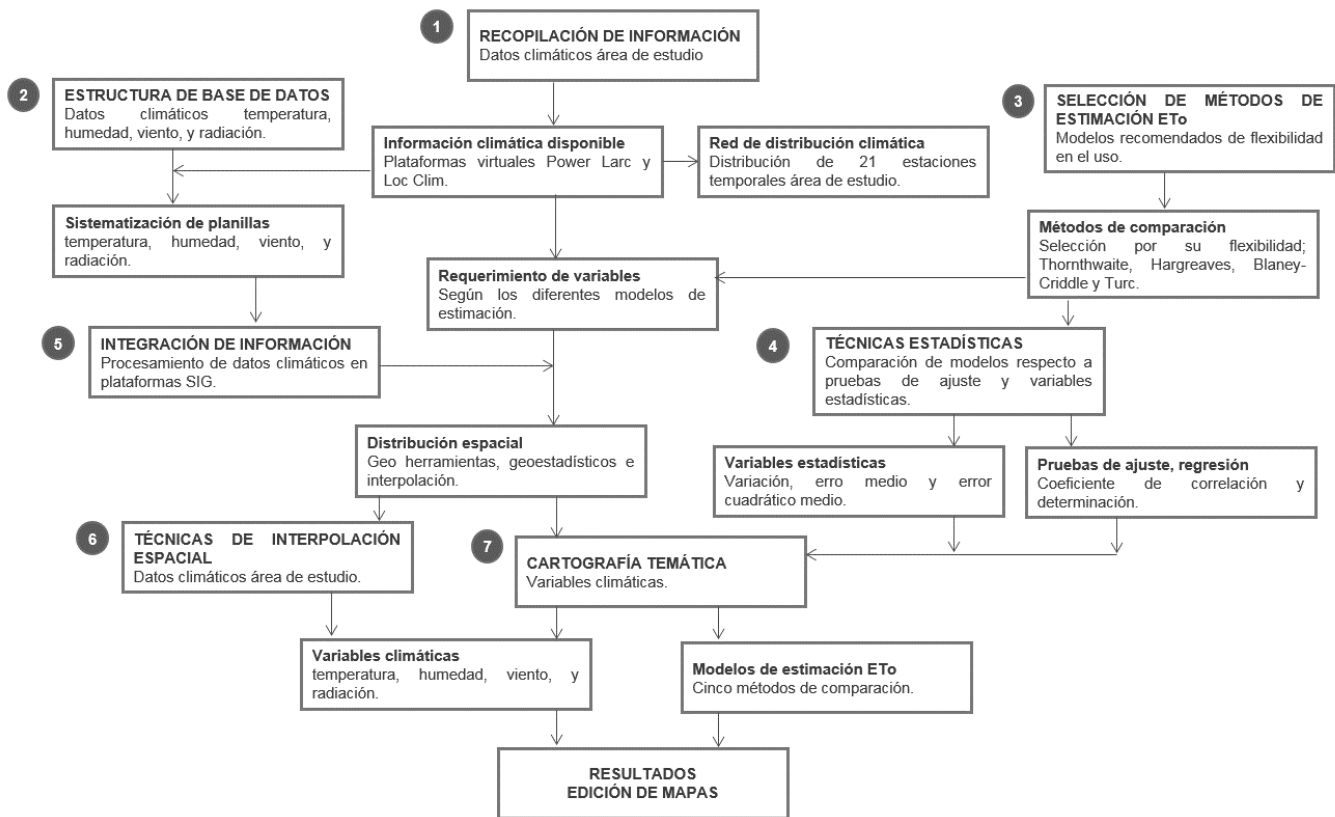


Figura 2. Flujograma del procedimiento del trabajo.

Los métodos para estimar la ETo han sido seleccionados, por la recomendación de autores que los aplicaron en zonas de clima tropical. En este sentido las ecuaciones empleadas son:

Método de Penman-Monteith

Según la FAO (2006), el método recomendado para determinar la Evapotranspiración de Referencia es FAO Penman-Monteith, modelo desarrollado por un grupo de expertos a nivel global y se reduce:

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 - 0,34u_2)} \quad (1)$$

Donde: ETo = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹); R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m²día⁻¹); R_a = radiación extraterrestre (MJ día⁻¹); G = flujo de calor de suelos (MJ m²día⁻¹); T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C); u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s = presión de vapor de saturación (kPa); e_a = presión real de vapor (kPa); Δ pendiente de la curva de presión

de vapor (kPa/°C); γ = constante psicrométrica (kPa/°C).

Método de Thornthwaite

La fórmula empírica de Thornthwaite, Wilm et al. (1944) se basa en la temperatura y en la latitud determinando que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar específico. Sirve para estimar la evapotranspiración potencial y tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climatológicos accesibles.

$$ETp = 16 \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right) \left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad (2)$$

Dónde: ETp = evapotranspiración de potencial (mm mes⁻¹); N = número de horas luz día (h día⁻¹) que depende de la latitud; d = días del mes (día); t = temperatura media mensual (°C). Para el cálculo de del mismo se debe calcular el índice de calor mensual i_n, seguido del cálculo del índice de calor anual I sumando los doce valores, finalmente el valor de cociente a.

$$i_n = \left(\frac{t}{s}\right)^{1,514} ; I = \sum_{n=1}^{n=12} i_n ; a = 675X10^{-9}I^3 - 771X10^{-7}I^2 + 1792X10^{-5}I + 0,49239 \quad (3)$$

Método de Hargreaves

La fórmula escrita por Hargreaves et al. (1985), ha sido desarrollada en base a experiencias con lisímetro, considera las temperaturas y la radiación extraterrestre como variables de la función:

$$ET_o = 0,0023 * Ra * (T_m + 17,7778) * \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (4)$$

Dónde: ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}); Ra = radiación extraterrestre (mm día^{-1}); T_m = temperatura media ($^{\circ}\text{C}$); T_{max} = temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} = temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Blaney-Criddle

Esta fórmula fue desarrollada por Blaney y Criddle (1950), para calcular la evaporación potencial durante un periodo determinado. La misma considera la temperatura media y las horas de luz del día expresado en porcentaje. El cálculo se realiza utilizando las fórmulas:

$$f = P * [0,46 * T + 8,13] ; ET_p = a + b * f \quad (5)$$

Dónde: f = factor de Blaney-Criddle (mm día^{-1}); P = fracción diaria de las horas de luz porcentaje del total anuales; T = temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$); ET_o = evapotranspiración de potencial (mm día^{-1}); a y b = coeficientes de regresión lineal.

Método de Turc

Este método propuesto por Turc (1961) se basa sobre la temperatura del aire y la radiación solar recibida en la superficie, principal fuente de energía que alimenta el proceso de evapotranspiración. La fórmula ha sido tomada de la Comisión Nacional de Riego (1997) se expresa como:

$$ET_p = 0,013 * (Rs + 50) \left(\frac{T}{T+15}\right) * \left[1 + \left(\frac{65-HR}{120}\right)\right] \quad (6)$$

Dónde: ET_p = evapotranspiración real (mm día^{-1}); Rs = radiación global ($\text{cal cm}^2\text{día}^{-1}$); T = temperatura media ($^{\circ}\text{C}$); HR = humedad relativa media (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesamiento de los métodos

Los resultados obtenidos para los diferentes métodos de estimación se muestran en la Figura 3, que expresa altas demandas desde septiembre a abril, contrariamente los cinco meses restantes con bajos valores de la ET_o . Los periodos de lluvia son concierta con la fase de alta ET_o .

Las variaciones de los valores de la ET_o en cada mes a lo largo del año, se observa en la Figura 3, para cada método, sus comportamientos son diferentes respecto a PM muestra valores superiores a diferencia del resto de los métodos, situación que hace pensar la sobrestimación de la ET_o . Según Gavilán y Berenguena (2004), existe una sobre estimación entre un 15 a 20 % por PM, para zonas tropicales.

Mientras que los métodos de Hargreaves y Turc expresan una similitud gráfica para los diferentes meses a lo largo del año. Sin embargo, las tendencias en el periodo de junio a octubre muestran un cambio respecto el método de PM. Por su lado, el método de Blaney-Criddle presenta un comportamiento con ligera variabilidad a lo largo del año, sin mantener relación frente a los métodos anteriormente señalados, los valores obtenidos con este método son inferiores respecto a los meses de mayor demanda en enero con diferencias de hasta 90 mm.

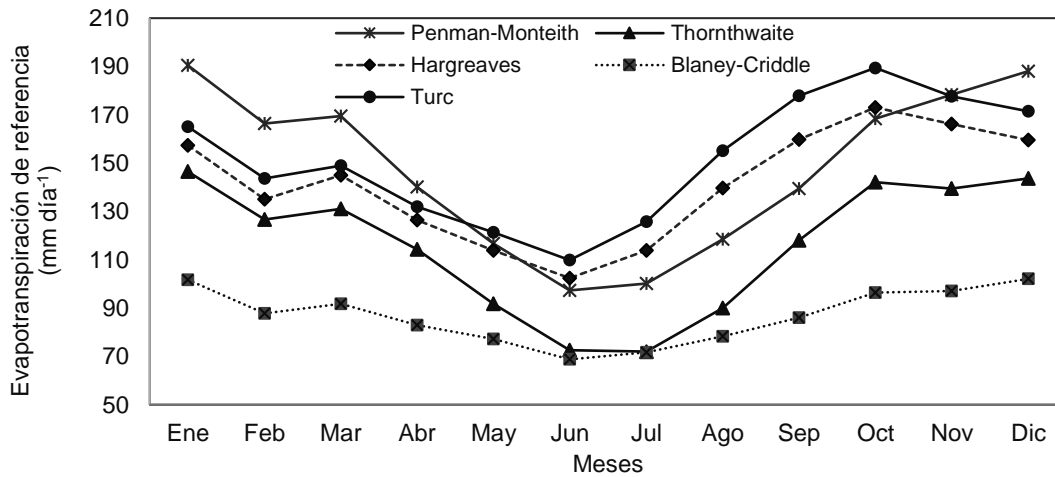


Figura 3. Estimación de la ETo obtenidos a través de distintos métodos.

El modelo Penman-Monteith FAO es considerado como estándar de referencia para la estimación de la ETo y comparaciones entre métodos, debido a que tiene bases físicas sólidas e incorpora en el modelo parámetros fisiológicos y aerodinámicos, en ese sentido es la más empleada y validada para diferentes condiciones climáticas. Así mismo Allen, Pereira, Raes y Smith (2006) recomienda el método de Hargreaves cuando no se cuenta con suficiente información. El análisis estadístico con pruebas de ajuste de regresión lineal, entre métodos. Indican la asociatividad de datos respecto a Penman-Monteith, a partir de ello considera el coeficiente de correlación para cada caso y queda expresado en cada uno de los las figuras. En la Figura 4 se observa la distribución de puntos para datos de la ETo (mm mes⁻¹) del método de Thornthwaite frente a Penman-Monteith, muy densificado sobre la recta, se concluye una alta reciprocidad entre puntos y la expresión de la función lineal, con un coeficiente 0.9454 para este caso.

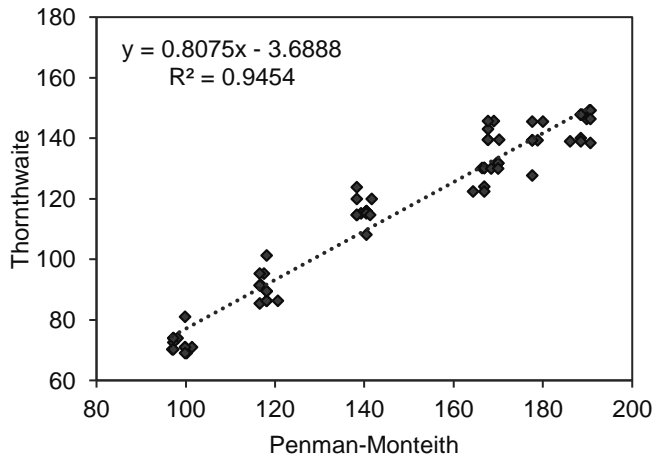


Figura 4. Prueba de ajuste, ETo (mm mes⁻¹) método Penman-Monteith y Thornthwaite.

La Figura 5 compara el método de Hargreaves con Penman-Monteith, el conjunto de datos es muy esparcido respecto a la recta, por tanto, el coeficiente de correlación se ajusta a un valor 0.6194 es poco aceptado para la función lineal. Los valores de ETo calculados con el modelo de Hargreaves son muy dispersos en las diferentes épocas del año por tanto no guarda una secuencia respecto a Penman-Monteith.

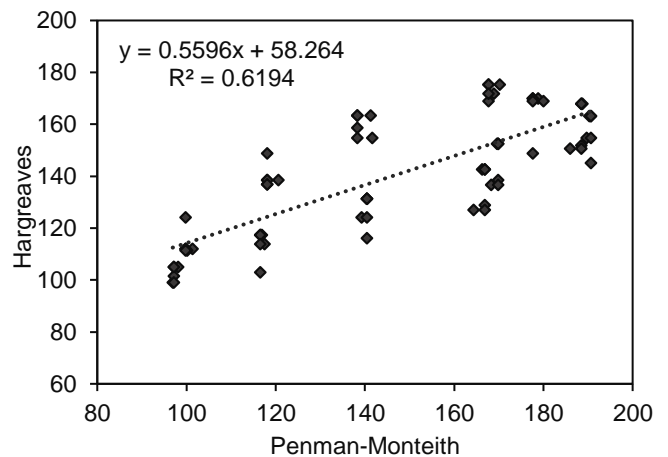


Figura 5. Prueba de ajuste, ETo (mm mes⁻¹) métodos Penman-Monteith y Hargreaves.

En la Figura 6, la comparación del método de Blaney-Criddle y Penman-Monteith, logra al ajuste obteniendo un coeficiente de correlación 0,9573 el mismo conjunto de datos es muy próximos a la recta y su comportamiento si bien es muy similar sus valores son muy subestimados como se pueden ver en la Figura 2.

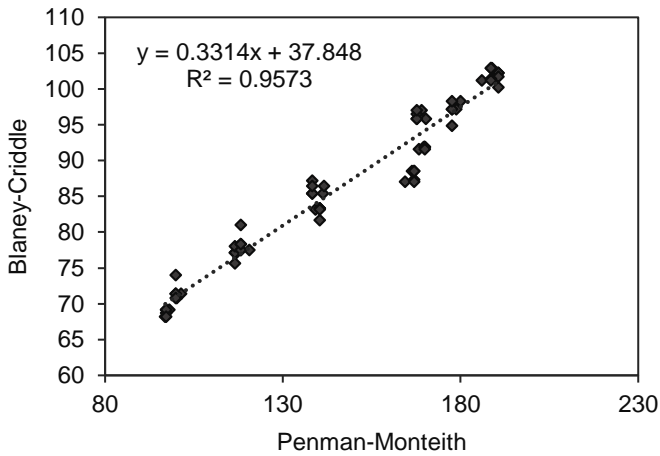


Figura 6. Prueba de ajuste, ETo (mm mes⁻¹) métodos Penman-Monteith y Blaney-Criddle.

En la Figura 7, en la comparación del método de Turc y Penman-Monteith, claramente se observa la distribución de puntos muy alejados a la recta, de esta manera el coeficiente de correlación alcanza a 0.5252 Como se observa en la Figura 2 el comportamiento del grafico es muy variado respeto a PM para los diferentes meses del año.

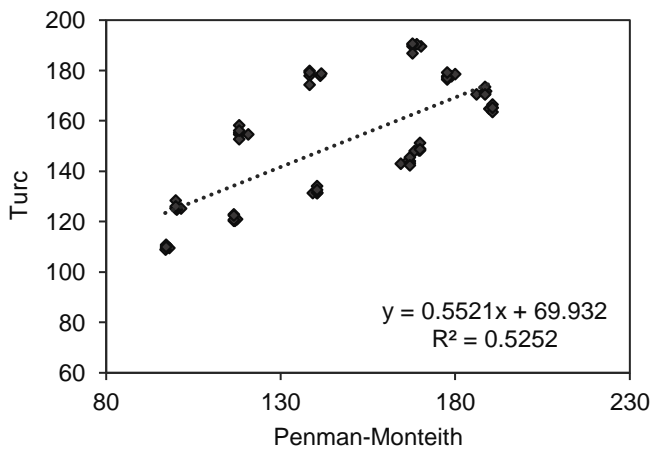


Figura 7. Prueba de ajuste, ETo (mm mes⁻¹) métodos Penman-Monteith y Turc.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los parámetros estadísticos en la comparación de los diferentes métodos respecto a PM, coeficiente de correlación simple y determinación, alto y aceptados para el método de Thornthwaite y Blaney-Criddle. En cuanto al porcentaje de variación, los valores más altos de 21.75 y 41.29 % son para Thornthwaite y Blaney-Criddle, mientras que Hargreaves 4.70 % y Turc 2.43%

El error medio para Hargreaves y Turc son próximos a cero el cual indica un ajuste perfecto, para el caso de Thornthwaite se aleja de arreglo ideal, en último lugar Blaney-Criddle. Según Chai y Draxler (2014) se recomiendan utilizar el MBE sobre el RMSE.

El índice de concordancia indica que el método de Hargreaves con 0.848 y Turc con 0.821 son los de mayor ajuste a los datos simulados y observados, en tercer lugar, el método de Thornthwaite con 0.756 y finalmente Blaney-Criddle con 0.250 muy baja relación entre valores.

Tabla 3. Evaluación estadística de la ETo diferentes métodos respecto Penman-Monteith.

Método	R	R2	%Var	MBE	RMSE	ER%	d
Thornthwaite	0.9723	0.9454	21.750	1.190	1.091	28.663	0.756
Hargreaves	0.7870	0.6194	4.703	0.452	0.672	14.505	0.848
Blaney-Criddle	0.9784	0.9573	41.293	4.551	2.133	74.699	0.250
Turc	0.7247	0.5252	-2.429	0.544	0.738	14.808	0.821

R = correlación simple; R²= coeficiente de determinación; %Var = porcentaje de variación; MBE = error medio; RMSE = error cuadrado; ER% = error relativo porcentual; d = índice de concordancia.

Análisis espacial

A partir de los variables climáticas utilizadas en la estimación de la ETo, se puede observar la distribución espacial en un determinado mes para los diferentes métodos en la Figura 8, visiblemente la estimación de la ETo por el método de Penman-Monteith tiene una modelación bastante homogénea y distribuida en el área definida, bajo una relación con la superficie terrestre y factores climáticos. Sus variables utilizadas regionalizadas son déficit de presión de vapor de agua, temperaturas, horas de insolación, humedad relativa, velocidad del viento y altitud. Mientras que los métodos de Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle y Turc muestran una distribución espacial semejante entre ellos, en determinados puntos muy concentrados, la distribución es concentrada al sur este con valores altos cercanos a las laderas y bajos próximos a las serranías.

El método de Penman-Monteith es universal y muy recomendado por muchos autores, sin embargo, requiere de muchos factores y variables climáticas para su cálculo que le hace muy limitado para su uso. Para la modelación espacial requiere de la generación de factores adicionales a las variables climáticas.

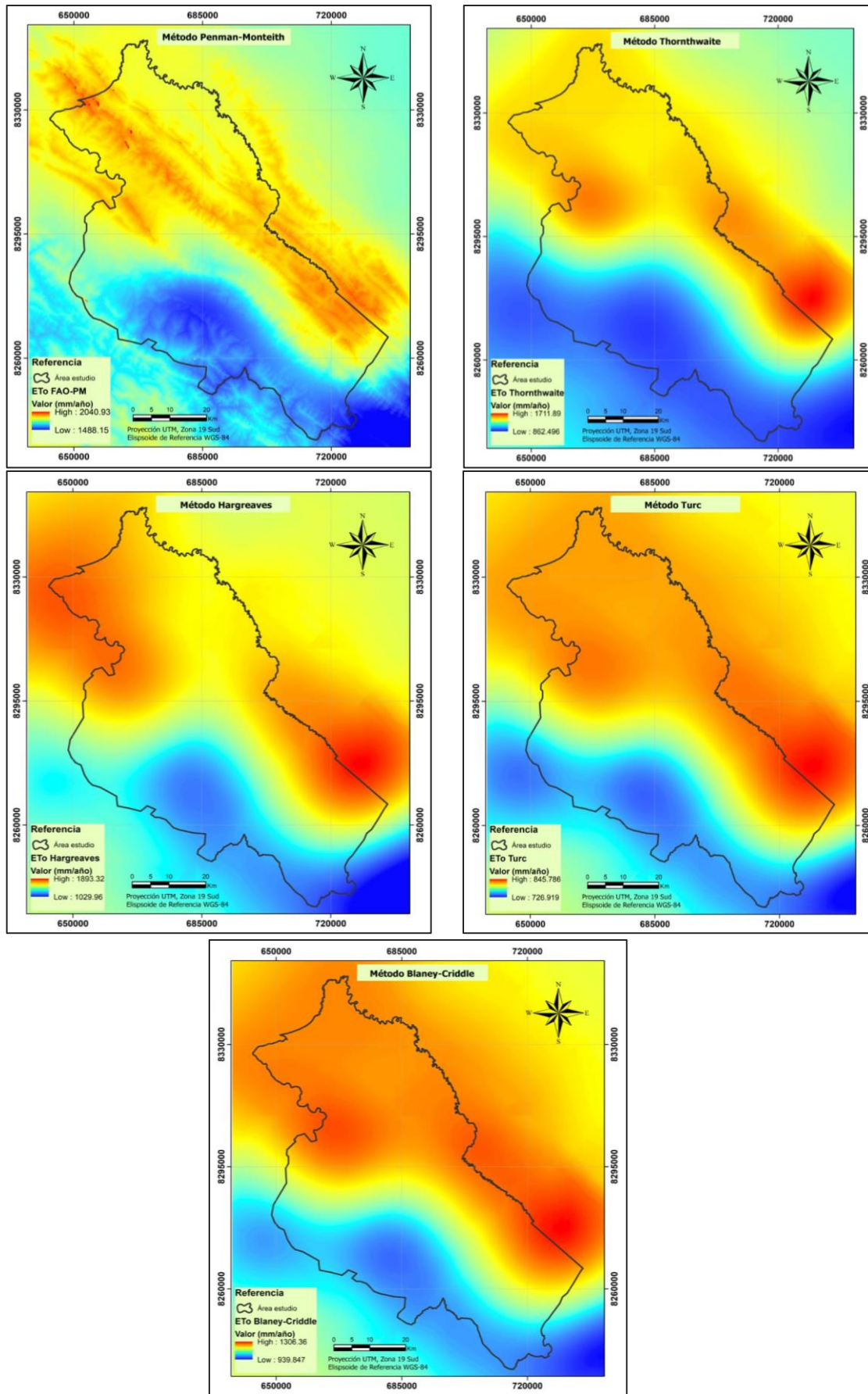


Figura 8. Distribución espacial de la evapotranspiración media mensual para diferentes métodos.

CONCLUSIONES

Siendo la ETo función de la radiación solar, temperatura, velocidad del viento, déficit de presión de vapor, presión atmosférica, características del entorno y tipo y condición de la vegetación, se recomienda contar con estaciones climáticas capaces de medir las variables mencionadas, además de utilizar el método más adecuado a la condición de la región, tal es el caso de Hargreaves, Turc, Thornthwaite, Blaney-Criddle orden según el análisis estadístico así mismo descartamos el método PM por una sobre estimación en la ETo. En la mayoría de las comparaciones se logró un valor de R^2 bastante aceptable (>0.50), siendo el más alto y aceptado de 0.9454 Thornthwaite y 0.9573 para Blaney-Criddle, seguidamente 0.6194 Hargreaves y en último lugar 0.5252 Turc.

El análisis espacial reporta una distribución de la ETo homogénea y con amplia relación entre las variables climáticas y la forma del terreno para el modelo de PM-FAO, el resto de los modelos varía y se asemejan al PM-FAO en el siguiente orden; Thornthwaite, Hargreaves, Turc y Blaney-Criddle. Se recomienda usar el método de Hargreaves por los resultados y los requerimientos de variables, seguida de Thornthwaite, Blaney-Criddle, y un estudio más detallado para Turc.

Al margen de no contar con información climáticos. Finalmente, la incertidumbre en el cálculo de la ETo con datos estimados permite la aplicación de modelación espacial, un ajuste y análisis de consistencia de variables climáticas respecto a estaciones locales contribuiría este estudio, así mismo la ETo como parte fundamental del balance hídrico definiría las necesidades de agua para diferentes sistemas de vida en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Abtew, W. 2004. Evapotranspiration in the everglades; comparison of bowen ratio measurements and model estimations. Water Quality Assessment Division Environmental Resource Assessment Department South Florida Water Management District West Palm Beach, Florida, 17 p.
- Allen, RG; Pereira, LS, Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE Boletín 56.
- Almorox, J; Aguirre, M; Elisei, V; Commegna, M. 2012. Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias 44(1):12.
- García, J; López, J. 1970. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico. Maracay: Agronomía Tropical.
- Moeletsi, ME; Walker, S; Hamandawana, H. 2013. Comparison of the Hargreaves and Samani equation and the Thornthwaite equation for estimating dekadal evapotranspiration in the Free State Province, South Africa. Physics and Chemistry of the Earth.
- Sagardía, L; Andrade, M; Bórguez, J; Olavarría, G. 1997. Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile. Chile: Centro De Información De Recursos Naturales.
- Sánchez, M; Carvacho, L. 2011. Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo. Revista Geografía Norte Grande, 16.
- Trezza, R. 2008. Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. Barquisimeto, Venezuela: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

Artículo recibido en: 17 de junio 2020

Aceptado en: 13 de abril 2021