

## Estimación de requerimiento de riego para Limón Mexicano en Tecomán, Colima

Herrera-Gómez Sergio S.<sup>1\*</sup>; Manzanilla-Ramírez Miguel Á.<sup>1</sup>; García-Preciado José C.<sup>1</sup>

1Campo Experimental Tecomán, km 35, carretera Colima-Manzanillo, Tecomán, Colima. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP.

herrera.sergio@inifap.gob.mx – Teléfono: 800 088 2222 ext.: 84322 (\*Autor de correspondencia)

### Resumen

El agua es esencial para las plantas porque es un componente integral de las reacciones bioquímicas que ocurren en ellas, transporta diferentes nutrientes y sustancias; ayuda a preservar la temperatura de la planta por medio de la transpiración. (Wright, 2020). El limón es un arbusto perenne que emite follaje nuevo y constante durante todo su ciclo, manteniendo altas tasas de evapotranspiración durante todo el año (Tejacal *et al.*, 2011). En este trabajo, el objetivo fue determinar la  $ET_o$  por el método de  $FAO_{Penman-Monteith}$  para el cultivo de Limón Mexicano y compararlo con los modelos de Hargreaves y Thornthwaite como una herramienta para mejorar la productividad del agua de riego.

**Palabras claves:** *Citrus aurantifolia*, riego, evapotranspiración.

## Introducción

El agua es esencial para las plantas porque es un componente integral de las reacciones bioquímicas que ocurren en ellas, transporta diferentes nutrientes y sustancias; ayuda a preservar la temperatura de la planta por medio de la transpiración. (Wright, 2020). El limón es un arbusto perenne que emite follaje nuevo y constante durante todo su ciclo, manteniendo altas tasas de evapotranspiración durante todo el año (Tejacal *et al.*, 2011). La cantidad de agua que las plantas necesitan para su adecuado crecimiento y producción es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración de las hojas, conocido como evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  (Allen, 2006). Para el cultivo del Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*) en Colima, de acuerdo al método de Blaney y Criddle se estimó un uso consultivo en 1,300 mm anuales (Medina *et al.*, 2001). Sin embargo, el promedio de lluvia anual en la mayoría de las áreas productoras de limón en el pacífico centro es de 600 a 800 mm anuales y con una distribución irregular a través del año, por lo que es esencial la aplicación de riegos para tener una producción sustentable y económica. En Colima el 70% de la superficie dedicada al limón cuenta con sistemas de riego presurizados (Torres, 2024), por lo que es muy importante determinar los requerimientos hídricos de los cultivos para tener un manejo eficiente del agua. El método propuesto por la FAO, basado en el modelo Penman-Monteith, es una ecuación física, ampliamente utilizada por la comunidad científica por ser un modelo estándar y global para la determinación de la Evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ). La aplicación de cantidades de agua acordes a los requerimientos de las plantas, la eficiencia de aplicación y el manejo de los sistemas de riego, permite ahorrar agua y energía, controlar las pérdidas de nutrientes por lixiviación, evitar enfermedades y aumentar los rendimientos o calidad de la producción. En este trabajo, el objetivo fue determinar la  $ET_o$  por el método de FAO<sub>Penman-Monteith</sub> para el cultivo de Limón Mexicano y compararlo con los modelos de Hargreaves y Thornthwaite como una herramienta para mejorar la productividad del agua de riego.

## Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló con los datos de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico nacional, en el periodo 1991-2020, en las cuatro estaciones meteorológicas activas, ubicadas en Tecomán (Tabla 1). Se utilizaron tres métodos indirectos que relacionan la evapotranspiración con diversas variables climáticas.







la evapotranspiración estimada por el método de FAO Penman-Monteith. Determina la magnitud relativa de la varianza residual con la varianza de los datos observados. Esta magnitud tiene un valor óptimo igual a 1.0, los valores entre 0 y 1 generalmente se consideran aceptables. Índice de concordancia (Index of agreement, d) (Cort J. Willmott, 1981):

$$d = 1 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{i_e} - ET_{i_m})^2}{\sum_{i=1}^n (|ET_{i_e} - ET_{mean_m}| + |ET_{i_m} - ET_{mean_m}|)^2} \right] \dots(16)$$

Donde n es el número de pares de datos,  $ET_{i_e}$  es la i-enésima observación de la evapotranspiración estimada por el modelo a comparar,  $ET_{i_m}$  es la i-enésima observación de la evapotranspiración estimada por el método de FAO Penman-Monteith y  $ET_{mean_m}$  es la media de la evapotranspiración estimada por el método de FAO Penman-Monteith. Es una medida estandarizada del grado de error de la predicción del modelo, en un rango desde 0 hasta 1. Cuando  $d = 1$ , existe una concordancia perfecta entre los valores determinados experimentalmente y los estimados por el modelo; en sentido contrario, cuando  $d = 0$ , nos indica falta de concordancia entre las variables.

Porcentaje de variación:

$$PV \% = (ET_o \text{ FAO Penman-Monteith} - ET_{em}) * 100 / ET_o \text{ FAO Penman-Monteith} \dots(18)$$

Donde PV es el porcentaje de variación (%),  $ET_{em}$  es la evapotranspiración estimada con los modelos en estudio y  $ET_o \text{ FAO Penman-Monteith}$  es la evapotranspiración determinada por el método de FAO Penman-Monteith.

## Resultados y Discusión

Los valores obtenidos de  $ET_o$  obtenidos por el método FAO Penman-Monteith (1,400-1,500 mm anuales) se aproximan al valor de 1,300 mm anuales obtenido por (Medina *et al.*, 2001) quienes utilizaron el método de Blaney y Criddle. La diferencia podría explicarse debido a que éste último modelo no considera el poder evaporativo del viento, variable que sí está considerada el método de la FAO. Aunque el modelo de la FAO se alimenta de variables del clima que en muchas ocasiones no están disponibles (Pereira *et al.*, 2015) sugiere obtener los datos faltantes por métodos matemáticos alternos a pesar de la escasez de datos.

La Figura 1 muestra los modelos de regresión entre la  $ET_o$  de FAO Penman-Monteith y la ET estimada, valores acumulados mensuales, a partir de las ecuaciones de Hargreaves, y Thornthwaite en cuatro estaciones meteorológicas en Tecomán Colima. Puede apreciarse que ambos modelos presentan ajustes aceptables, al encontrarse coeficientes de determinación ( $R^2$ ) en el rango 0.72 a 0.94 excepto por el modelo Hargreaves en la estación Armería, donde se presentó la  $R^2$  más baja de 0.47 y se observa una dispersión más abierta.

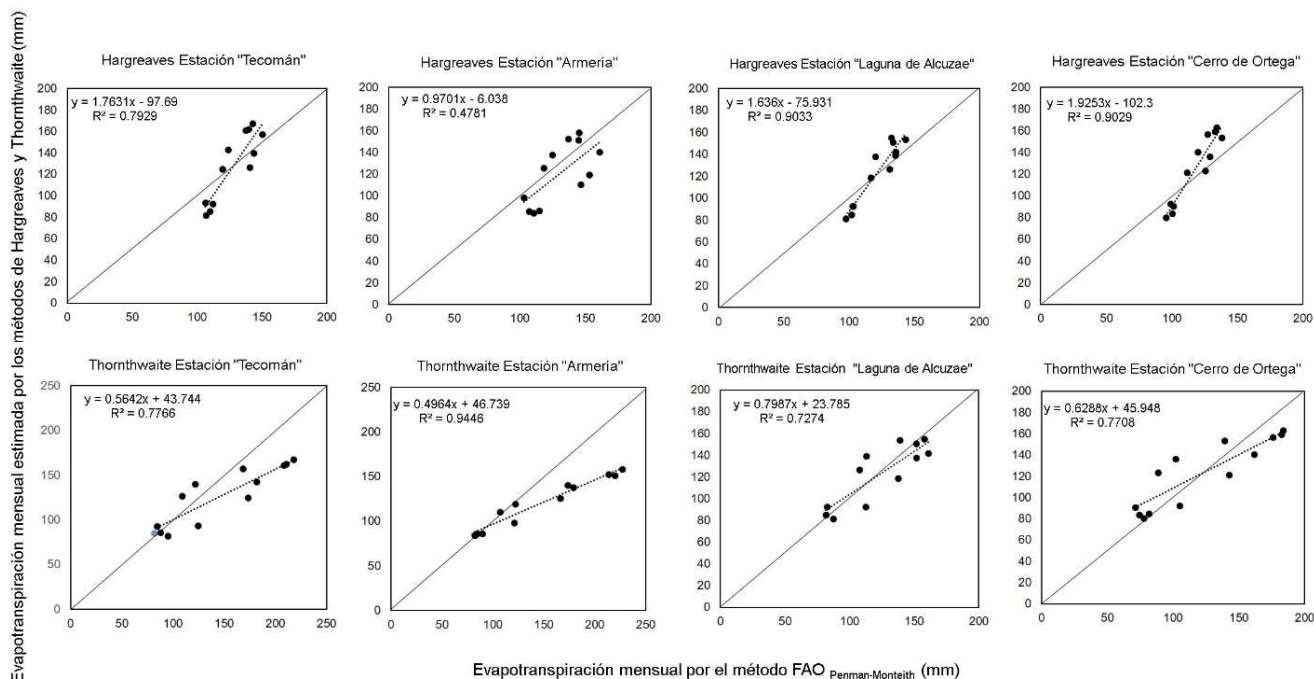


Figura 1. Ecuaciones de regresión a partir de la Evapotranspiración determinada por FAO Penman-Monteith (regresora) y la ET estimada por otros modelos (dependientes).

Para el análisis entre los diferentes métodos y tomando como base los valores de la ET<sub>o</sub> FAO Penman-Monteith, se evaluaron los siguientes índices inferenciales:

Tabla 2. Validación de los métodos comparados con el método de FAO Penman-Monteith.

Estación meteorológica	Hargreaves	Thornthwaite
Desviación Media (MD)		
Tecomán	0.1383	21.1005
Armería	9.9094	28.3260
Cerro de Ortega	-6.8709	0.6330
Laguna Alcuzae	-1.2620	1.1241

Estación meteorológica	Hargreaves	Thornthwaite
Raíz Cuadrática de la Desviación Media (RMSD)		
Tecomán	0.0399	6.0912
Armería	2.8697	8.1760
Cerro de Ortega	1.9835	0.1827
Laguna Alcuzae	0.3643	0.3245

Estación meteorológica	Hargreaves	Thornthwaite
Índice de concordancia (D)		
Tecomán	0.1651	0.1733
Armería	0.1532	0.1756
Cerro de Ortega	0.1851	0.0908
Laguna Alcuzae	0.1596	0.0559

Estación meteorológica	Hargreaves	Thornthwaite
------------------------	------------	--------------

Coeficiente de correlación ( $R^2$ )		
Tecomán	0.7929	0.7776
Armería	0.4781	0.9446
Cerro de Ortega	0.9029	0.7708
Laguna Alcuzahue	0.9033	0.7274

Estación meteorológica	Hargreaves	Thornthwaite
Porcentaje de Variación (%)		
Tecomán	1.3410	10.8227
Armería	7.8182	14.8246
Cerro de Ortega	-4.3559	-3.9045
Laguna Alcuzahue	0.0889	-0.1312

De acuerdo con (Pimentel, 2014) y (Navejas *et al.*, 2011) quien trabajó en cítricos, los métodos indirectos tienden a sobreestimar valores, para este trabajo, puede observarse que la  $ET_o$  determinada con la ecuación de Thornthwaite en las estaciones de Tecomán (10.82%) y Armería (14.82%), sobreestiman en poca proporción los valores que se obtienen en comparación por el método FAO Penman-Monteih, ya que en el modelo de Thornthwaite, los coeficientes están calibrados para condiciones ambientales de Estados Unidos, en donde existen cuatro estaciones bien diferenciadas (otoño, invierno, primavera y verano), presentándose temperaturas bajo cero en invierno (Ortíz y Chile, 2020), situación muy distinta a la que ocurre en Tecomán. Para el caso de la fórmula de Hargreaves presenta un mejor ajuste ya que solo sobreestima en un 7.8% el cálculo de la  $ET_o$ , para la estación de Armería y subestima en muy poca proporción en la estación de Cerro de Ortega (-4.3%).





Octubre	0	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	1,392	46	252	8	171	171	28	1
Diciembre	694	23	511	17	332	332	55	2

Los litros por día, es un dato promedio, resultado de dividir los litros/mes/árbol entre 30.

Como se observa en las tablas anteriores, los requerimientos de riego varían mensualmente, respondiendo al nivel de desarrollo del cultivo, en conjunto con las variables climáticas y edáficas. El factor del tipo de suelo puede ser determinante en los volúmenes y manejo del riego, ya que, para un suelo franco, en los meses de julio a octubre, la precipitación pluvial de verano satisface las necesidades del riego.

Por otro lado, en la zona de Tecomán, existen Unidades de Riego, figuras organizadas en torno a un pozo profundo, que normalmente calendarizan el riego de acuerdo a la disponibilidad de turnos, por lo general a cada usuario le toca una o dos veces por semana. De esta manera aplican en promedio 700 litros por árbol/semana, es decir 2,800 litros por mes en época de estiaje. Por lo que hay probabilidades de que estén aplicando sobrierigos. En la gráfica 2 se observa los volúmenes de agua utilizados tradicionalmente en la zona de estudio, contra los volúmenes obtenidos por el modelo de la FAO Penman-Monteith y por el método de Blaney y Criddle (Medina *et al.*, 2001).

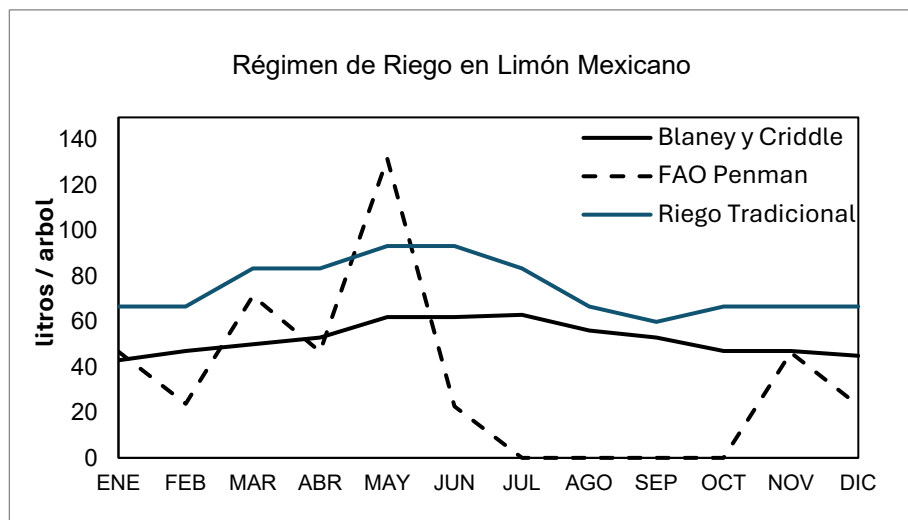


Figura 2. Volúmenes de agua utilizados tradicionalmente en la zona de estudio, contra los volúmenes obtenidos por el modelo de la FAO Penman-Monteith y por el método de Blaney y Criddle.

Como se observa en la Figura 2, en los meses de junio a octubre, el riego disminuye debido a la época de lluvias, sin embargo, en muchas huertas se continúa regando, por lo que el agua excedente lixivia nutrientes o en su caso recarga el acuífero. De esta manera, es necesario validar los resultados del modelo de la FAO Penman-Monteith con un experimento en campo.

En el Anexo 1 se presentan los valores de  $ET_o$  mensuales para el cultivo de Limón Mexicano, en las estaciones meteorológicas de Tecomán, Armería, Cerro de Ortega y Laguna de Alcazahue, considerando un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para una etapa de árbol adulto y calculando la precipitación efectiva ( $Pe$ ) por el Método del USDA.

En el Anexo 2 se presentan los resultados del cálculo de la  $ET_o$  FAO Penman-Monteith por decenas de días.

## Conclusiones

El método FAO56, es un modelo aerodinámico completo, el cual integra todas las variables que intervienen en el proceso de  $ET_o$  tal como la resistencia aerodinámica, la resistencia superficial del cultivo y el albedo. Sin embargo, para este trabajo los modelos de Hargreaves y Thornthwaite mostraron una buena aproximación a los valores obtenidos por el modelo propuesto por la FAO, aunque solo utilicen variables de temperatura y radiación.

Con base en los índices inferenciales MD, RMDS,  $R^2$ , y D, las  $ET_o$  estimadas a partir de las ecuaciones de Hargreaves, y Thornthwaite en cuatro estaciones meteorológicas en Tecomán Colima, presentan ajustes aceptables al compararse con el modelo de FAO Penman-Monteith, al obtenerse coeficientes de determinación ( $R^2$ ) en el rango 0.72 a 0.94. Sin embargo, es recomendable ampliar las investigaciones incrementando el número de métodos tanto empíricos como de medición directa.

Las recomendaciones propuestas en la Tabla 3 y 4. se deben complementar con la experiencia y objetivos particulares de los citricultores, quienes conocen las condiciones locales del predio y cultivo, tales como: fenología, variabilidad edáfica, fertirrigación, etc.

Con el objetivo de incrementar la productividad en el Limón Mexicano, es muy importante continuar las investigaciones con otros métodos de medición de la  $ET_o$  en tiempo real, e instrumentos para medir la humedad del suelo. Además de validar los resultados de este estudio, bajo condiciones experimentales.

## Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. In FAO (Vol. 56).  
<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Carbajo, R. M. S., Aguirre, C. M., Farias, M. F., & Torres Leal, G. (2019). El cultivo de limón: fenología y principales enfermedades en Tucumán (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (ed.); 1a ed.). Investigación, Desarrollo e Innovación.  
<https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/5616>
- CONAGUA. (2000). Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. <https://pdfcoffee.com/manual-de-sistemas-de-riego-imta-2-2-pdf-free.html>
- Cort J. Willmott. (1981). On the validation of models. In *Physical Geography* (pp. 184–194). University of Delaware.
- Ferreira, E. R., & Sellés, V. S. G. (2011). Algunas consideraciones para el manejo de riego en Cítricos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Revista Tierra Adentro*, 66–74.  
[www.inia.cl](http://www.inia.cl)
- Hardy, S. (2004). Chapter 8. Irrigation. In *Growing Lemons in Australia -a production manual-* (pp. 8–11). NWS Department of primary Industries.  
<https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/citrus/content/manuals-guides/lemon-manual>
- Levy, Y. (2017). Citrus irrigation. In Agricultural Research Organization, Gilat Experiment Station. Israel (Vol. 85).
- Medina, V. M., Robles, M. M., Becerra, R., Orozco, S. M., Garza, L. J. G., Ovando, C. M. E., Chávez, C., & Félix, C. (2001). El cultivo del Limón Mexicano. Libro Técnico No.1. INIFAP.
- Navejas, J., Nieto, A., Fraga, H., Rueda, E., & Ávila, N. (2011). Comparación de metodos para estimar la ETo en una zona árida citrícola del noroeste de Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 147–155. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93917767005.pdf>
- Orozco, M., Robles, M., Velázquez, J. J., Manzanilla, M. A., & Bermudez, M. d. J. (2014). El Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*) (Vol. 1). [www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx).
- Ortíz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 1–20.
- Ouma, G. (2005). Root confinement and irrigation frequency affect growth of “Rough lemon” (*Citrus limon*) seedlings. In *Fruits* (Vol. 60, Issue 3). <https://doi.org/10.1051/fruits:2005026>
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., & Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4–20.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>
- Pimentel, M. E. (2014). Evaluación de métodos para estimar evapotranspiración en dos diferentes condiciones climáticas en el Noroeste de México [Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados].  
[http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez\\_Borja\\_M\\_DC\\_Fi\\_tosanidad\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez_Borja_M_DC_Fi_tosanidad_2010.pdf?sequence=1)

- Raath, P. J., Malan, C., & Vahrmeijer, T. (2020). Irrigation of Citrus Trees. South African Fruit Journal, March. <https://events.citrusres.com/wp-content/uploads/2022/01/IRRIGATION-OF-CITRUS-TREES-SAFJ.pdf>
- Rivas, F., Bernal, R., Bertalmío, A., Buenahora, J., Goñi, C., Lado, J., Pérez, E., Otero, A., & Mara, H. (2009). La Citricultura Bajo Estrés . Un Enfoque Integral. Hortifructicultura. INIA No.17, 68–72. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos/compartidos/18429270409114413.pdf>
- Sáenz, C. A., Osorio, E., Estrada, B., Poot, W. A., Delgado, R., & Rodríguez, R. (2019). Principales enfermedades en Cítricos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10, 1653–1665. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000701653](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000701653)
- Smith, M. (1992). CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. In FAO Irrigation and Drainage Paper 46 (Issue 46).
- Tejacal, A. I., Lugo, A. A., Ariza, F. R., Valdez, A. L. A., Lopez, M. V., & Pacheco, H. P. (2011). Manual de tecnología en limón Persa y naranja Valencia en el estado de Morelos. INIFAP Campo Experimental Zacatepec, 57. <http://evaluarte.uaaan.mx/CALIDAD/HORTICULTURA SEDE/CUARTO-INFORME-ACREDITACION/1. PERSONAL ACAD% C9MICO/CURRICULUM-PROFESORES-DE-HORTICULTURA/Dr. Luis Alonso/Luis Alonso Valdes/2. PRODUCTOS DE INVESTIGACION/LIBROS/Manual Tec Conservaci% F3n C% EDtricos More>
- Torres, O. J. (2024). Entrevista. Gerente y Cordinador de Asesores Técnicos del Consejo Estatal de Productores de Limón, Colima. COEPLIM.
- Villazón, J. A., Noris, P., Vázquez, R. J., Martín, G., & Cobo, Y. (2021). Comparación de métodos empíricos para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Holguín, Cuba. Idesia (Chile) Revista de Agricultura En Zonas Áridas, 39(3), 103–109. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000300103>
- Wright, G. C. (2020). Cómo regar los cítricos. The University of Arizona Cooperative Extension, 1–6. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1151S-2020.pdf>