



Acta Agronómica

ISSN: 0120-2812

ISSN: 2323-0118

Universidad Nacional de Colombia

Lasprilla V, Richard; Mejía de Tafur, Sara; Torres Prieto, Enrique A.
¿Influyen las casas de malla en la evapotranspiración de referencia (ET_o)?
Acta Agronómica, vol. 71, núm. 1, 2022, Enero-Marzo, pp. 47-54
Universidad Nacional de Colombia

DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.96491>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169977433006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

¿Influyen las casas de malla en la evapotranspiración de referencia (ET_o)?

Do mesh houses influence reference evapotranspiration (ET_o)?

Richard Lasprilla V ^{1,2}, Sara Mejía de Tafur ^{1,3}, Enrique A. Torres Prieto ^{1,4}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Colombia. ²  rlasprillav@unal.edu.co ³  msmejiat@unal.edu.co

⁴  etorresp@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.96491>

2022 | 71-1 p 47-54 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2021-06-09 Aprob.: 2022-03-11

Resumen

Las casas de malla son una alternativa que permite al agricultor proteger su cultivo de plagas y enfermedades, y permite reducir la aplicación de agroquímicos. Estas casas de malla generalmente se construyen con malla antitrip (pantalla porosa), la cual impide el paso de insectos protegiendo así el cultivo. Como es de esperar, la malla genera un microclima al interior, lo cual podría conllevar un cambio en las necesidades hídricas del cultivo, pero no se tienen estudios en Colombia que cuantifiquen los cambios producidos al interior de estas casas de malla en las variables meteorológicas. Este estudio empleó dos estaciones meteorológicas y dos cenirrómetros sobre superficie de referencia, ubicando un cenirrómetro y una estación al interior de la casa de malla y los otros dos en el exterior, con el objetivo de observar la influencia de la casa de malla en la evapotranspiración de los cenirrómetros y la evapotranspiración de referencia o ET_o. Los resultados mostraron que al interior de la casa de malla se redujo la velocidad de viento, la humedad relativa y la radiación solar, y se incrementó la temperatura. Estos cambios generaron la reducción de ET_o en un 20 % y la evaporación del cenirrómetro en un 27 %, por lo que se concluye que las casas de malla son una opción para reducir el consumo de agua del cultivo.

Palabras clave: cenirrómetro, evapotranspiración, pantalla porosa, Valle del Cauca, variables meteorológicas.

Abstract

Mesh houses are an alternative that allows farmers not only to protect their crops from pests and diseases but also to reduce the application of agrochemicals. These mesh houses are generally built in an anti-trip net which prevent the access of insects thus protecting the crop. As expected, mesh houses generate a microclimate inside, which could lead to a change in the water needs of the crop. However, there are no studies in Colombia that quantify the changes produced inside these mesh houses in meteorological variables. This study used two meteorological stations and two cenirrometer on a reference surface, locating a cenirrometer and a station inside the mesh house and the other two outside, with the aim of observing the influence of the mesh house on the evapotranspiration of the cenirrometers and the reference evapotranspiration or ET_o. The results showed that inside the mesh house, wind speed, relative humidity and solar radiation were reduced, and temperature increased. These changes generated the reduction of ET_o by 20 % and the evaporation of the cenirrometer by 27 %, so it is concluded that mesh houses are an option to reduce water consumption of crops.

Key words: cenirrometer, evapotranspiration, porous screens, Valle del Cauca, meteorological variables.

Introducción

El consumo de agua en el sector agropecuario se produce principalmente por la transpiración de las plantas y la evaporación de agua del suelo, que se conoce como evapotranspiración (ETc). El riego en la agricultura colombiana, y en general en zonas tropicales, es un riego compensatorio, el cual repone el agua perdida por el sistema suelo-planta que no provee la precipitación local. La cuantificación de las necesidades hídricas de los cultivos para aplicar un riego preciso y oportuno es necesario para hacer un uso eficiente del agua en la agricultura. Una forma de estimar las necesidades hídricas de los cultivos es la metodología FAO-56 (Allen *et al.*, 2006), la cual recoge el efecto de las variaciones climáticas en la ETc. La ETo es la evapotranspiración de una superficie de referencia, la cual suele ser pasto o festuca, y puede ser calculada a partir de datos meteorológicos de una estación meteorológica sobre superficie de referencia usando la ecuación de Penman-Monteith (PM).

La ETo es un parámetro importante para la gestión del recurso hídrico y la planificación del riego (Gao *et al.*, 2016; Trezza, 2008; Wang *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2019), debido a que si la ETo se incrementa como consecuencia del cambio climático (CC), la producción agrícola incrementará su consumo de agua y podría verse afectada por escases de agua (Gao *et al.*, 2017), por lo que, utilizar métodos que permitan una estimación precisa de ETo es de gran interés. Los métodos que son utilizados para la determinación de la ETo pueden ser catalogados como directos e indirectos (Perera *et al.*, 2014) coefficient of determination (R²). Los métodos directos, como los lisímetros, son costosos y requieren personal altamente cualificado. Entre los métodos indirectos está el de PM y el tanque clase A presentados en FAO-56, siendo el método PM reconocido por la FAO-56 como el método estándar para la estimación de la ETo (Allen *et al.*, 2006), es considerado preciso y es uno de los más utilizados (Dinpashoh *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2016) y, además, ha sido empleado en la evaluación y validación de otros métodos que estiman la ETo (Antonopoulos y Antonopoulos, 2017; Ballesteros *et al.*, 2016; Gocic *et al.*, 2016). Sin embargo, la ecuación de PM puede tener limitaciones debido a la poca disponibilidad de datos meteorológicos (Berti *et al.*, 2014; Trezza, 2008), a pesar de ello, se ha demostrado el buen desempeño del método PM para estimar la ETo (De Alencar *et al.*, 2015; De Lacerda y Turco, 2015; Villa *et al.*, 2006).

Por otro lado, métodos como el tanque clase A también son usados en la determinación de la ETo, ya que han sido utilizados con éxito (Allen *et al.*, 2006). Sin embargo, debido a la gran superficie utilizada por el tanque clase A, algunos investigadores se han tomado la tarea de buscar métodos para estimar la ETo utilizando tanques de menor tamaño (Fernandes *et al.*, 2003). Entre ellos está el cenirómetro diseñado por el Centro Investigación de la Caña de Azúcar

(Cenicaña), el cual es un tanque que fue planteado para programación de riegos de la caña de azúcar donde se integra la relación suelo-planta-atmósfera (Vinet y Zhedanov, 2011) y, a su vez, ha sido empleado con éxito en otros cultivos (Gavilánez-Luna y Farias-Chica, 2019). Además, el cenirómetro tiene una alta correlación con el tanque clase A (coeficiente de determinación de 0.99) y podría ser utilizado en la determinación de la ETo.

Por otra parte, las casas de malla (CM) podrían ser una opción para contrarrestar los efectos del CC y el uso del agua en la agricultura, debido a que, comúnmente, son utilizadas para proteger los cultivos de las adversidades del clima y prevenir la entrada de aves e insectos que depredan y transmiten enfermedades al cultivo (Castellano S. *et al.*, 2008; Mahmood *et al.*, 2018; Möller *et al.*, 2010; Tanny, 2013), reduciendo así la aplicación de agroquímicos. También, se ha encontrado que variables como la radiación solar y la velocidad de viento se reducen dentro de las CM (Haijun, Cohen, Lemcoff, Israeli, y Tanny, 2015; Tanny, 2013; Teitel *et al.*, 2015). Por otro lado, otros estudios observaron que el parámetro de evapotranspiración disminuía dentro de las CM (Mahmood *et al.*, 2018), por tanto, las necesidades de agua de los cultivos podrían también reducirse (Tanny, 2013).

En el Valle del Cauca se ha observado que los agricultores están empleando las CM como una opción para reducir el uso de agroquímicos y disminuir costos, pero poco se ha investigado sobre el efecto de estas CM en las necesidades hídricas de los cultivos.

El objetivo de este trabajo fue estimar la influencia de las CM en las necesidades hídricas de los cultivos mediante la determinación de la ETo dentro y fuera de estas, usando cenirómetros y estaciones meteorológicas (cálculo de la ecuación de PM), con el fin de comprobar si la CM es una opción de adaptación al CC mediante un uso más eficiente del recurso hídrico.

Materiales y métodos

Lugar experimental. La investigación se realizó en el Programa de Recursos Genéticos (PRG) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) situado en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

El lugar de ensayo en el CIAT cuenta con coordenadas 3°30.085' N 76°21.170' O a 969 m s.n.m. La precipitación media anual es de 900 mm, temperatura promedio anual 23.5 °C, al medio día la temperatura máxima oscila entre 29-31 °C, en la madrugada la temperatura mínima oscila entre 18-19 °C, el sol brilla cerca de 4 horas diarias en meses lluviosos y 6 horas en meses secos y la humedad relativa media es de 70-76 % (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-Ideam, 2018).

Materiales y equipos. Para este estudio se emplearon dos estaciones meteorológicas y dos cenirrómetros. La ED (exterior), equipada con un conjunto integrado de sensores de radiación solar, velocidad y dirección de viento, pluviómetro cuyo balancín mide incrementos de 0.2 mm y temperatura y humedad relativa, todo controlado por una consola inalámbrica Vantage Pro 2. La EC (interior) contaba con un sensor de temperatura y humedad relativa (HC2S3); un sensor RM Young 03002-5, que mide la velocidad y dirección de viento con un anemómetro de tres cazoletas y una veleta montados en un mismo brazo; un piranómetro CS300, el cual mide la radiación solar global y tiene una respuesta espectral de 300 a 1000 nm; y, por último, un pluviómetro (TE525MM/TE525M), que mide incrementos de 0.1 mm. Para que los datos de las estaciones fueran comparables, la EC se programó con los mismos tiempos de lectura y registro de datos de la ED.

La toma de datos meteorológicos de las dos estaciones se ejecutó en dos fases, la primera del 15 de junio al 25 de julio del 2019 y la segunda del 9 de junio al 30 de septiembre del 2020.

Fase I. Consistió en comparar los datos de las dos estaciones (ED y EC) a campo abierto (Figura 1). En esta primera fase, las estaciones se encontraban sobre la misma superficie de referencia (1300 m²) y con una separación de 14 m entre sí. Una vez realizada la comparación de las estaciones para detectar y corregir posibles diferencias entre los registros de las estaciones, se procedió a la segunda fase.

Fase II. En esta fase se ubicó la EC dentro de la CM (N°3) ubicada a aproximadamente 600 m de la ED. La CM estaba orientada este-oeste, con un área aproximada de 1740 m² (altura máxima de 6 m, 30 m de ancho y 58 m de longitud) y tanto techo como paredes estaban cubiertas con malla antitrips (pantallas porosas) de 50 mesh. En el interior de la CM se creó una superficie de referencia de 100 m² sobre la que se ubicó la EC, mientras la ED se mantuvo en el mismo sitio (exterior). Con los

datos de la ED y la EC se calculó la ET_o usando la ecuación de PM. También, en esta segunda fase, se instalaron dos cenirrómetros (exterior e interior de la CM) con idénticas especificaciones, material plástico de color blanco con 0.294 m de diámetro, 0.375 m de profundidad y pozo de aquietamiento. La medida se realizó con un tornillo micrométrico para determinar el nivel del agua (Figura 2). Debido a la pandemia por Covid-19 y las medidas de aislamiento implementadas durante la etapa de medición, las mediciones del cenirrómetro se realizaron en dos periodos, el primero, de baja frecuencia, dos veces por semana (17 de junio al 11 de agosto del 2020) y el segundo con frecuencia diaria (12 de agosto al 30 de septiembre del 2020).

Con los datos de nivel se calculó por diferencia la evaporación en el cenirrómetro en milímetros.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó de forma diferente en las dos fases del estudio.

Fase I. Comparación de estaciones (EC y ED) a campo abierto. Se utilizó parte de la metodología realizada por Gattinoni, Boca, Rebella y Di Bella (2011) y Medina, Varela y Velásquez (2017), en la cual mediante correlación lineal, análisis descriptivo y prueba de *t-student* y *f-Fisher* se compararon los datos de las dos estaciones meteorológicas, con el objetivo de observar si había diferencias significativas entre los valores de las variables estudiadas. Para determinar estadísticamente si hay diferencias significativas en los datos de las estaciones se estableció el valor de probabilidad (*p*) con un nivel de significancia del 5 %. Mediante un análisis de consistencia de datos se realizó una corrección a las variables que presentaron diferencias significativas.

Fase II. Comparación de los entornos CM y campo abierto. La comparación entre la evapotranspiración obtenida en CM y en exterior, tanto de las variables meteorológicas registradas por las estaciones, como



Figura 1. Ubicación de la estación Campbell scientific (EC) y estación Davis (ED) a campo abierto.



Figura 2. Foto del tanque cenirrómetro y el tornillo micrométrico.

de la ETo y la evaporación de los cenirómetros (EVC), se realizó mediante regresión lineal. Para mejorar la precisión de los datos, en las comparaciones de los cenirómetros se consideraron los días en los cuales no hubo evento de lluvia, debido a la imprecisión en la medición que los eventos de precipitación introducían.

Resultados y discusión

Los resultados se presentarán en el mismo orden y nomenclatura presentados en materiales y métodos siguiendo las fases del estudio.

Fase I. Comparación de estaciones (EC y ED) a campo abierto sobre superficie de referencia

En la comparación de las variables climatológicas registradas por dos estaciones (EC y ED), se observó que la humedad relativa, la velocidad de viento y la radiación solar presentaron correlaciones inferiores al 0.70 y que las variables de temperatura del aire (media [Tmed], máxima [Tmax] y mínima [Tmin]) fueron las de mejor correlación con un r^2 de 0.99 (Tabla 1).

Por otra parte, en el análisis estadístico, la prueba *t-student* indicó que las variables de humedad relativa (máxima [HRmax], mínima [HRmin] y media [HRmed]), la velocidad del viento (Vv) y la radiación solar (Rs) de ambas estaciones fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$). En cambio, las variables de temperatura del aire (Tmax, Tmed y Tmin) de las dos estaciones no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Por otro lado, la prueba *f-Fisher* mostró diferencia significativa respecto a la desviación estándar en las variables HRmed, Vv y Rs ($p < 0.05$); por su parte, HRmax, HRmin, Tmed, Tmax y Tmin no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Por otra parte, en cuanto a la comparación de la ETo diaria, calculada con la ecuación de PM, con las variables medidas por las estaciones EC y ED

en condiciones de campo abierto, se observó un r^2 de 0.818 y una sobrestimación aproximada de la EC respecto a la ED de un 4 % (Figura 3A). Además, en los análisis estadísticos la prueba *t-student* y *f-Fisher* mostraron que los valores de ETo de ambas estaciones no presentaban diferencias significativas ($p > 0.05$) a pesar de la baja correlación observada entre algunas de las variables que intervienen en la ecuación de Penman-Monteith (presentadas en la Tabla 1). Sin embargo, cuando se corrigen las variables de HR, Vv y Rs la correlación de la ETo mejora y la diferencia de los datos se reduce (menos del 1 %), como se aprecia en la Figura 3 B. Con esto podemos concluir que las estaciones no presentan problemas en sus sensores y muestran datos similares en ETo, lo que nos permite ir la siguiente fase en la que las estaciones se encuentran en ambientes diferentes (dentro y fuera de la casa de malla).

Fase II. Comparación de los entornos CM y campo abierto

Variables meteorológicas. En la Figura 4 se muestra el comportamiento de las variables meteorológicas evaluadas en el exterior y en el interior de la CM respecto al tiempo. Se observó que la variable de Tmed reportó un aumento de 2.8 % en el interior de la CM con relación a lo observado a campo abierto, con un valor medio de 24.2 °C para CM y 23.6 °C para el exterior. Según Tanny (2013), este aumento en la temperatura no siempre se presenta, ya que en ocasiones la temperatura suele disminuir dentro de la CM debido a que la temperatura es el resultado de la participación de múltiples procesos como la ventilación, la radiación y la evapotranspiración.

Por otra parte, HRmed, Vv y Rs presentaron valores inferiores en el interior de la CM a lo largo de toda la campaña. Se observaron promedios de 75.31 % para HRmed, 0.01 ms⁻¹ para Vv y 13.67 MJ m⁻² día⁻¹ para Rs en el interior de la CM, mientras que en el exterior fue de 78.31 % para HRmed, 0.61 ms⁻¹ para Vv y 17.88 MJ m⁻² día⁻¹ para Rs. Esto nos permite concluir que la CM tiene un efecto importante en las variables meteorológicas, siendo Vv y Rs las variables más afectadas. Estas reducciones de Rs y Vv también

Tabla 1. Análisis de regresión lineal simple y pruebas estadísticas de *t-student* y *f-Fisher* sobre las variables de humedad relativa (HR), temperatura del aire (T), velocidad del viento (Vv) y radiación solar (Rs), registradas por la EC y la ED

Variables	Regresión	Sin corrección	R ²	Con corrección	R ²	Valor-p (t-student)	Valor-p (f-Fisher)
Tmed	EC X ED	ED = 0.9979 EC	0.99	-	-	0.401	0.446
Tmax	EC X ED	ED = 0.9879 EC	0.99	-	-	0.064	0.456
Tmin	EC X ED	ED = 1.0059 EC	0.99	-	-	0.232	0.472
HRmed	EC X ED	ED = 1.028 EC	0.56	ED = 0.9999 EC	0.96	0.008	0.007
HRmax	EC X ED	ED = 0.9221 EC	0.48	ED = 0.9989 EC	0.47	0.000	0.463
HRmin	EC X ED	ED = 1.2934 EC	0.59	ED = 0.9988 EC	0.89	0.000	0.211
Vv	EC X ED	ED = 1.922 EC	0.67	ED = 0.983 EC	0.66	0.000	0.000
Rs	EC X ED	ED = 0.8721 EC	0.44	ED = 0.9935 EC	0.64	0.003	0.014

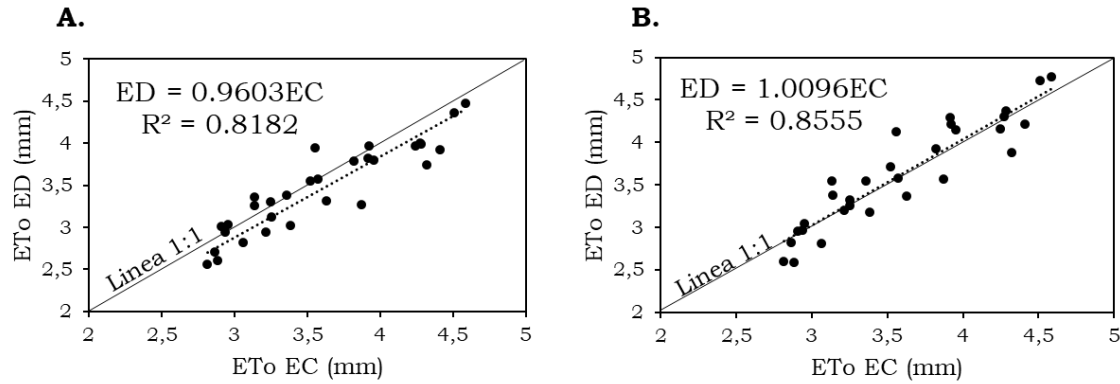


Figura 3. Correlación de datos diarios de ETo PM dentro de la CM (EC) y fuera de la CM (ED). (A) Correlación sin corrección en las variables meteorológicas. (B) Correlación con corrección en las variables meteorológicas (humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar) de la ED.

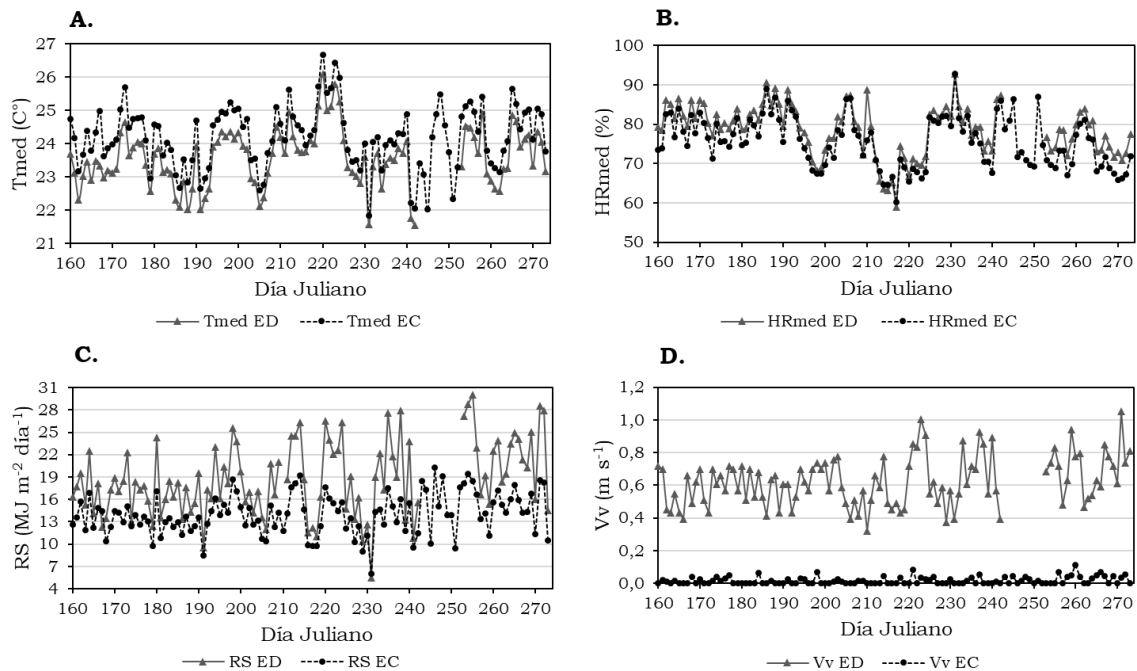


Figura 4. Comparación de las variables meteorológicas registradas con una EC (dentro de la CM) y una ED (fuera de la CM). (A) Comparación de la temperatura media (Tmed). (B) Comparación de la humedad relativa media (HRmed). (C) Comparación de la radiación solar (RS). (D) Comparación de la velocidad del viento (Vv).

fueron vistas por Tanny (2013), en una revisión sobre avances recientes respecto a la utilización de mallas porosas en la agricultura y por estudios realizados en Grecia central oriental (Kitta *et al.*, 2014) in y costa sur del mar de Galilea (Haijun *et al.*, 2015) y, según Mahmood *et al.*, (2018) estas reducciones pueden estar asociadas al color y al tipo de mallas que son utilizadas.

Evapotranspiración de referencia (ETo). En la comparación del parámetro ETo estimado dentro y fuera de la CM mediante datos meteorológicos con el modelo Penman-Montheit de FAO-56 (Figura 5A) se evidenció una correlación positiva de 0.78 entre las estaciones y una pendiente de 0.80, lo cual demostró

que había una disminución de la ETo cercana al 20 % dentro de casa de malla respecto a la de campo abierto. En términos de la ETo diaria, se observó un valor promedio de 2.74 mm en la CM y 3.38 mm en exterior. Dicha reducción de la ETo también fue evidenciada por Haijun Cohen, Lemcoff, Israeli y Tanny en el (2015), además, es próxima a lo reportado por Kitta, Baille, Katsoulas y Rigakis, (2014in) con un valor de 17 %. Por otro lado, según análisis realizados por Haijun *et al.*, (2015); Kitta *et al.*, (2014); Tanny, (2013) y Teitel *et al.*, (2015), la reducción de la ETo en el interior está relacionada principalmente por las reducciones de la radiación solar y la velocidad del viento, como también se observó en este estudio.

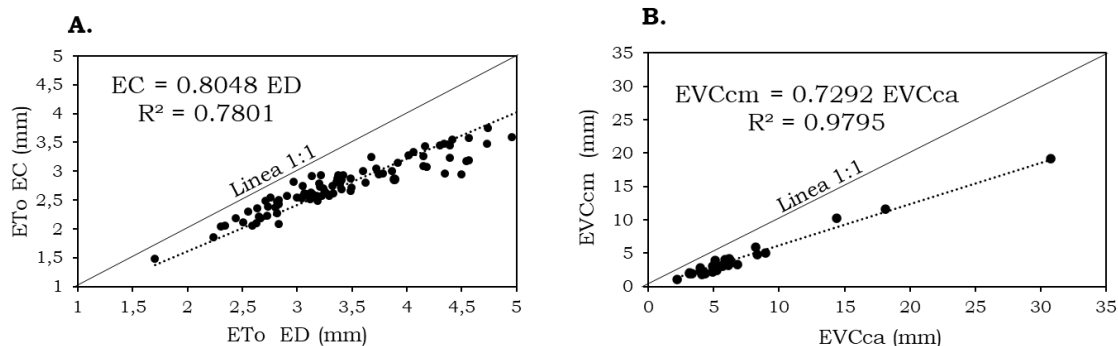


Figura 5. (A) Comparación de la ET_0 diaria estimada con una meteorológica Campbell scientific (EC) ubicada dentro de la CM respecto a una estación meteorológica Davis (ED) a campo abierto. **(B)** Comparación de la evaporación del cenirómetro de campo abierto (EVCca) y la evaporación de cenirómetro de la CM (EVCcm).

Es necesario tener en cuenta que la ET_0 es la evapotranspiración de una superficie de grama o pasto (superficie de referencia), el método de PM para ET_0 calcula la evapotranspiración del pasto resolviendo el balance de energía y el modelo de resistencia en esta superficie. Según el modelo FAO-56, la evapotranspiración de los cultivos (ET_c) es producto de la ET_0 y el coeficiente de cultivo (K_c). En este sentido, una reducción en la ET_0 (si el K_c no varía) indicaría una reducción de la ET_c . Ahora bien, no todas las plantas responden igual a los cambios en las variables meteorológicas, algunas se afectan considerablemente, pero otras como la yuca (*Manihot estulenta* Crantz), responden de manera diferencial a la humedad relativa del aire según la disponibilidad de agua en el suelo, a la temperatura y a la intensidad de luz, afectando la tasa de fotosíntesis sin alterar de manera significativa el rendimiento final del cultivo, sin embargo, se presentan diferencias entre variedades de la misma especie. Esto también se ha encontrado en plantas jóvenes de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), las cuales responden a condiciones de temperatura, disponibilidad de agua en el suelo según las condiciones ambientales y el genotipo (De Tafur et al., 2017; El-Sharkawy, 2007, 2009).

De lo anterior se puede inferir que la reducción de la ET_0 en la CM puede ser una estrategia para un uso más eficiente del agua, sin embargo, la cuantificación del efecto de esta medida en los requerimientos hídricos de los cultivos debe ser posteriormente estudiada para cuantificarla en cada cultivo.

Evaporación de cenirómetros. En la comparación de la evaporación registrada por los tanques cenirómetros en la CM y exterior (Figura 5B) se observó un $r^2=0.98$. Sin embargo, la diferencia entre la recta de mejor ajuste y la recta 1:1 es de aproximadamente un 27 %, siendo mayor en el exterior que en la CM. Este es un valor similar al reportado por Haijun et al., (2015), quienes encontraron una diferencia del 44 % con el tanque clase A bajo invernadero con cobertura de polietileno.

La reducción en la evaporación en el cenirómetro de la CM en comparación con el de campo abierto, corrobora la reducción de la ET_0 PM a partir de los datos de las estaciones meteorológicas. Esto indica que realmente se presenta una reducción en la demanda hídrica al interior de la CM, lo que permitiría concluir que esta técnica (CM) podría ser utilizada para reducir el consumo de agua en los cultivos, además de ayudar en el control de plagas y su consecuente reducción de uso de agroquímicos.

Conclusiones

Las variables meteorológicas estudiadas se ven afectadas por la CM. En términos generales, en la CM la temperatura se incrementa, mientras que la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad de viento se reducen. Este estudio muestra que la implementación de esta casa de malla puede reducir el consumo de agua para el cultivo, debido a que la evapotranspiración de referencia (ET_0) dentro de la CM se reduce un 20 %. El método del cenirómetro confirmó que la casa de malla tiene un efecto positivo en el ahorro del recurso hídrico, ya que la evaporación del cenirómetro se redujo un 27 % al interior de la CM. La reducción del consumo de agua del cultivo presentado en este estudio, ocasionado por la CM, podría sugerir que las CM pueden evaluarse como una opción de adaptación al cambio climático en zonas donde la tendencia de cambio sea la reducción de la oferta hídrica.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia que brindó los fondos para este proyecto, y al PRG del CIAT por aportar la CM y apoyar el trabajo de campo, así como el seguimiento y control del cultivo.

Referencias

- Allen, R. G., Pereira, L. s., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo : guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (FAO (ed.); 56.^a ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Antonopoulos, V. Z., y Antonopoulos, A. V. (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.011>
- Ballesteros, R., Ortega, J. F., y Moreno, M. Á. (2016). FORETo: New software for reference evapotranspiration forecasting. *Journal of Arid Environments*, 124, 128-141. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.006>
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F., y Borin, M. (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, 140, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.015>
- Castellano S., Scarascia Mugnozza G., Russo G., Briassoulis D., Mistriotis A., Hemming S., y Waaijenberg D. (2008). Plastic Nets in Agriculture: A General Review of Types and Applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(6), 799-808. <https://doi.org/10.13031/2013.25368>
- De Alencar, L. P., Sediya, G. C., y Mantovani, E. C. (2015). Estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀ padrão fao), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. *Engenharia Agrícola*, 35(1), 39-50. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p39-50/2015>
- De Lacerda, Z. C., y Turco, J. E. P. (2015). Estimation methods of reference evapotranspiration (ET₀) for uberlândia -MG. *Engenharia Agrícola*, 35(1), 27-38. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p27-38/2015>
- De Tafur, M. S. M., Herrera, N. M. R., Mesa, J. B. U., Espinosa, D. M. I., y Duque, C. M. Z. (2017). Effect of soil water availability on gas exchange in young trees of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Acta Agronomica*, 66(4), 549-557. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.58194>
- Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V. P., y Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 422-433. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.021>
- El-Sharkawy, M. A. (2007). Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 257-286. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400003>
- El-Sharkawy, M. A. (2009). Pioneering research on C4 photosynthesis: Implications for crop water relations and productivity in comparison to C3 cropping systems. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3-4), 468-484. <https://bit.ly/3cpdZeD>
- Fernandes, C., Corá, J. E., y de Araújo, J. A. C. (2003). Evapotranspiração de referência estimativa em casas de vegetação. *Scientia Agrícola*, 60(3), 591-594. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300027>
- Gao, Z., He, J., Dong, K., Bian, X., y Li, X. (2016). Sensitivity study of reference crop evapotranspiration during growing season in the West Liao River basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3-4), 865-881. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1453-7>
- Gao, Z., He, J., Dong, K., y Li, X. (2017). Trends in reference evapotranspiration and their causative factors in the West Liao River basin, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.006>
- Gattinoni, N., Boca, T., Rebella, C., y Di bella, C. (2011). Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos. *RIA : Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37(1), 75-85. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86422369007>
- Gaviláñez-Luna, F. C., y Fariás-Chica, S. R. (2019). Método del Cenirómetro como alternativa de programación de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) TT - Method of the cenirómetro as an alternative to scheduling irrigation by aspersion in cocoa crop (*Theobroma cacao*). *Acta Agronómica*, 68(1), 29-34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122019000100029&lng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/acag/v68n1/0120-2812-acag-68-01-29.pdf
- Gocic, M., Petković, D., Shamshirband, S., y Kamsin, A. (2016). Comparative analysis of reference evapotranspiration equations modelling by extreme learning machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.017>
- Haijun, L., Cohen, S., Lemcoff, J. H., Israeli, Y., y Tanny, J. (2015). Sap flow, canopy conductance and microclimate in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.009>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2018). Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 48. <https://doi.org/http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- Kitta, E., Baille, A., Katsoulas, N., y Rigakis, N. (2014). Predicting reference evapotranspiration for greenhouse-grown crops. *Agricultural Water Management*, 143, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.006>
- Mahmood, A., Hu, Y., Tanny, J., y Asante, E. A. (2018). Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*, 241(July), 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>
- Medina, L., Varela, R., y Velásquez, F. (2017). Comparación de la temperatura , precipitación , velocidad media y dirección del viento medidas por dos estaciones meteorológicas , ubicadas en Punta de Piedras , isla de Margarita. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 74(181), 61-80. <https://bit.ly/3pxkfqi>
- Möller, M., Cohen, S., Pirkner, M., Israeli, Y., y Tanny, J. (2010). Transmission of short-wave radiation by agricultural screens. *Biosystems Engineering*, 107(4), 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.09.005>
- Perera, K. C., Western, A. W., Nawarathna, B., y George, B. (2014). Forecasting daily reference evapotranspiration for Australia using numerical weather prediction outputs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 194, 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.014>
- Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26-43. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>

- Tanny, J., Haijun, L., y Cohen, S. (2006). Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139(1-2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.004>
- Teitel, M., Garcia-Teruel, M., Ibanez, P. F., Tanny, J., Laufer, S., Levi, A., y Antler, A. (2015). Airflow characteristics and patterns in screenhouses covered with fine-mesh screens with either roof or roof and side ventilation. *Biosystems Engineering*, 131, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.010>
- Trezza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en venezuela. ¿Cuál método utilizar? *Bioagro*, 20(2), 89-95. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85720202>
- Villa Nova, N. A., De Miranda, J. H., Pereira, A. B., y Da Silva, K. O. (2006). Estimation of the potential evapotranspiration by a simplified Penman method. *Engenharia Agrícola*, 26(3), 713-721. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162006000300007>
- Vinet, L., y Zhedanov, A. (2011). A «missing» family of classical orthogonal polynomials. En I. C. Cassalett Clímaco, Torres Jorge (Ed.), *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* (Vol. 44, Número 8). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Wang, W., Xing, W., y Shao, Q. (2015). How large are uncertainties in future projection of reference evapotranspiration through different approaches? *Journal of Hydrology*, 524, 696-700. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.033>
- Yang, Y., Luo, Y., Wu, C., Zheng, H., Zhang, L., Cui, Y., Sun, N., y Wang, L. (2019). Evaluation of six equations for daily reference evapotranspiration estimating using public weather forecast message for different climate regions across China. *Agricultural Water Management*, 222(August 2018), 386-399. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.014>