



<http://opn.to/a/M7oJ1>

ARTÍCULO ORIGINAL

Caracterización de la evapotranspiración de referencia y su relación con las precipitaciones en Jagüey Grande, Matanzas

Characterization of the reference evapotranspiration and its relationship with rainfall in Jagüey Grande, Matanzas

Ing. Yunier Sosa-Sánchez^{*}, Dr.C. Carmen E. Duarte-Díaz¹, Ing. Alina Puente-Sánchez¹, Ing. Livia González-Risco¹

¹Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, Unidad Científico Tecnológica de Base Jagüey Grande Matanzas, Cuba

¹¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Con el objetivo de determinar la evapotranspiración de referencia (*ET_o*) y relacionarla con el comportamiento de las precipitaciones se presentan los resultados de un estudio climático en la región de Jagüey Grande, de la provincia de Matanzas. El trabajo se realizó en el período del 2000 al 2016 y se utilizó como herramienta el programa CROPWAT para la determinación de la *ET_o*. Las variables climáticas utilizadas se tomaron de la estación meteorológica de Jagüey Grande y de la base de datos del Centro Meteorológico Provincial. Los resultados mostraron que los valores de *ET_o* más bajos en el período evaluado (2,85 y 2,86 mm/día) correspondieron a los meses de diciembre y enero respectivamente y los más elevados comprendido entre los meses de abril y agosto (4,59-4,90 mm/día), se correspondió con el de mayores valores de las temperaturas medias máximas (32 °C – 33,3 °C), indicando que probablemente fuera la variable que más influyó en su comportamiento, ajustándose a una ecuación de regresión lineal con coeficiente de determinación $R^2 0,85$. En cuanto al comportamiento de las precipitaciones los valores promedios mensuales de mayo a octubre superan la *ET_o* y al analizar los totales anuales se encontró una tendencia a la disminución durante, haciéndose más evidente a partir del 2009. El promedio de precipitaciones anuales desde ese año hasta el 2016 fue inferior en 239 mm al promedio del período 2000-2008. La *ET_o* también disminuye en el tiempo, aunque con valores más estables.

Palabras clave: cambio climático, cítricos, Cropwat.

ABSTRACT. The paper shows the results of a climatic study made in the Jagüey Grande region, province Matanzas with the objective to determine the reference evapotranspiration (*ET_o*) and its relation to rainfall behavior. The study covered the period 2000 to 2016 using the CROPWAT software. Climatic data were taken from the Jagüey Grande weather station and from the database of the Provincial Meteorological Center. The results showed that the lowest *ET_o* values in the evaluated period (2.85 and 2.86 mm/day) were recorded in December and January, respectively. The period with the highest *ET_o* values was from April to August (4.59-4.90 mm/day), and coincided with those of the highest maximum mean temperatures (32 °C - 33.3 °C), which is indicative that it was the most influential variable in its behavior. It corresponds to a lineal regression equation with an R^2 determination coefficient of 0.85. Regarding rainfall behavior, the monthly average values from May to October exceeded the *ET_o*. When looking at annual totals, a reducing trend during the evaluated period was found and it was more evident from 2009 onward. Annual rainfall averages from that year to 2016 was lower in 239 mm than the average of the 2000-2008 period. The *ET_o* also decreases in time, though more discrete.

Keywords: climatic change, citrus, Cropwat.

*Autor para correspondencia: Yunier Sosa Sánchez, e-mail: horacio@imporvg.cu

Recibido: 10/07/2018.

Aprobado: 21/12/2018.

INTRODUCCIÓN

Para una agricultura como la de Cuba, con un clima típicamente tropical, cuyo régimen de precipitaciones se encuentra sometido a grandes variaciones, el riego constituye una actividad agrícola vital para la supervivencia de los cultivos, la estabilización de la producción y la obtención de altos rendimientos (Chaterlán, 2012).

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) es fundamental para la estimación de la demanda de riego de un cultivo, la misma estudia la evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo y de las prácticas de manejo empleadas. La ET_o depende de variables climáticas como la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento (FAO, 2006).

Otro elemento esencial para determinar los requerimientos netos de agua de un cultivo en una región es la precipitación, siendo esta el principal de los aportes naturales. Según Cob (2004), las necesidades de riego netas se calculan como la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo y los aportes naturales de agua. Una variabilidad de la precipitación en cuanto a frecuencia e intensidad podría afectar la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo y por tanto la que puede ser aprovechada por el cultivo (Verdecia, 2016).

El escenario climático global ha cambiado en las últimas décadas y muchos científicos aseveran que como consecuencia de las alteraciones del clima la agricultura se desenvolverá en un ambiente afectado por el aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías, la disminución de la evapotranspiración real de los ecosistemas y un pronunciado déficit hídrico (Hijmans *et al.*, 2005; Cruz, 2014; Iñiguez *et al.*, 2015; Rivero *et al.*, 2015; Ezatollah y Marzieh, 2018; Malek *et al.*, 2018).

Tal situación hace que surja la necesidad de realizar un estudio para la precisión de la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones en cada región cultivable. Esto garantizará la correcta implementación de la programación de riego de los cultivos para lograr producciones sostenibles y un uso racional del recurso agua. En este sentido el objetivo de este trabajo es caracterizar la evapotranspiración de referencia promedio en la región de Jagüey Grande y relacionarla con el comportamiento de las precipitaciones en el período 2000-2016.

MÉTODOS

Condiciones climáticas y ubicación geográfica de la zona de estudio

La presente investigación se realizó en la región de Jagüey Grande, en la provincia de Matanzas. Los datos climáticos de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones utilizados, correspondientes al período 2000-2016, se tomaron de la estación meteorológica de Jagüey Grande, la cual tiene como coordenadas geográficas 22,32° de latitud norte y 81,08° de longitud Oeste, a una altura de 11 metros sobre el nivel medio del mar. Los datos de insolación fueron tomados de la base de datos del Centro Meteorológico Provincial en la estación de Jovellanos, la cual constituye referencia provincial en el monitoreo de esta variable. El clima de esta región se caracteriza por una temperatura media anual de 23 °C, con mínimas de 15,5 °C

y máximas de 33,3 °C. La precipitación media anual es de 1598 mm y una humedad relativa media anual de 67 %.

Caracterización de la evapotranspiración de referencia

Para determinar la evapotranspiración de referencia de la región de estudio se utilizaron los valores de temperatura máxima, mínima, velocidad del viento, humedad relativa e insolación. Se trabajó con el módulo de entrada de datos Clima/ET_o del programa de ordenador CROPWAT (versión 8.0) (Allen *et al.*, 2006). Se realizaron las corridas año a año, desde el 2000 hasta el 2016. El programa calculó la evapotranspiración de referencia, aplicando el método de FAO Penman-Monteith FAO (2006), según la expresión siguiente:

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

donde:

ET_o- evapotranspiración de referencia (mm/día⁻¹);

R_n-radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/ día⁻¹);

G-flujo del calor de suelo (MJ/m²/día⁻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);

e_s - e_a- déficit de presión de vapor (kPa);

Δ- pendiente de la curva de presión de vapor (kPa°C⁻¹);

γ- constante psicrométrica (kPa°C⁻¹).

Se tomaron los resultados del cálculo de la ET_o diaria año a año y se procesaron en el programa Excel para el cálculo de las medias mensuales y los totales anuales en el período. Además, se confeccionaron gráficos y se realizó análisis estadístico de regresión y coeficiente de determinación R².

Procesamiento de las precipitaciones

Los datos de precipitaciones se procesaron en el programa Excel para calcular las medias mensuales y los totales anuales. Se confeccionaron los gráficos correspondientes para analizar su comportamiento y establecer su relación con la evapotranspiración de referencia en el período de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en el período 2000-2016

Una vez realizado el cálculo de la ET_o mediante el programa CROPWAT y procesados los resultados en el programa Excel se analizaron los resultados obtenidos. Como se puede apreciar en la Figura 1, Tabla 1, los valores promedio de ET_o más bajos en el período evaluado 2,85 y 2,86 mm/día corresponden a los meses de diciembre y enero respectivamente. Los valores de ET_o más altos se mostraron en los meses de abril 4,87 mm/día y mayo 4,90 mm/día. El período de mayor demanda de evapotranspiración de la atmósfera fue el comprendido entre los meses de abril y agosto con valores entre 4,59 y 4,90 mm/día

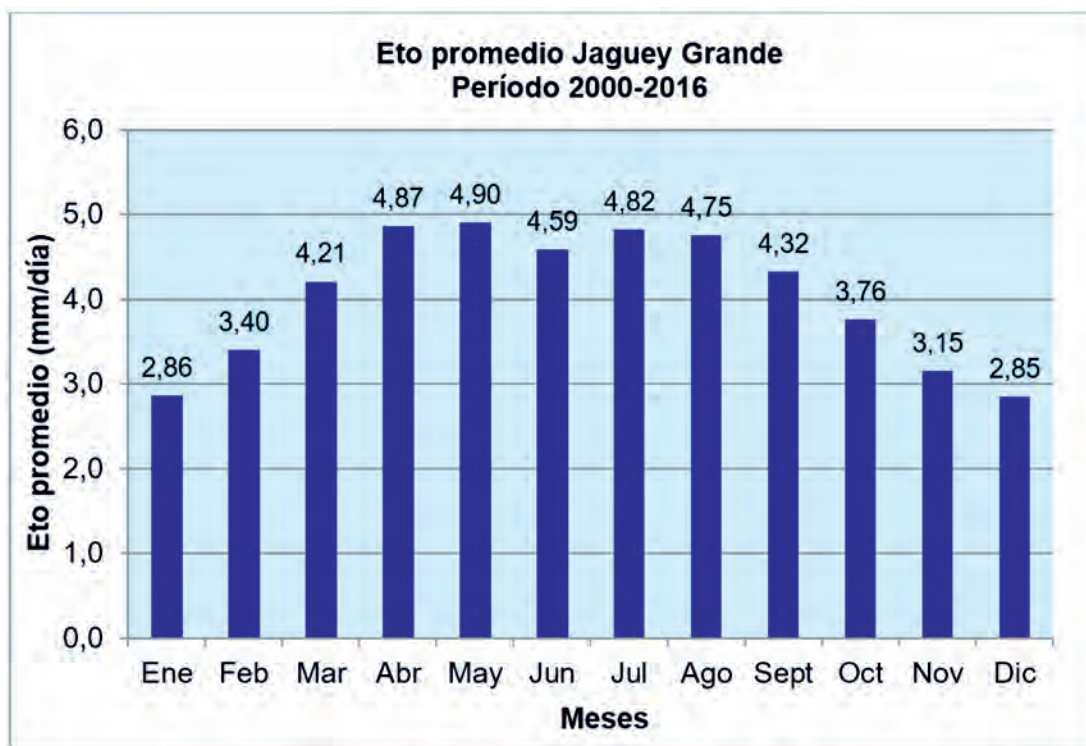


FIGURA. 1. Evolución de la evapotranspiración de referencia (ETo) de Jagüey Grande para el período 2000-2016.

Además, se pudo constatar que los valores promedio diarios más bajos se presentaron en los años 2000, 2001, 2003, 2008, 2010 y 2011 y los valores más elevados de ETo en los años 2000, 2002 y el período del 2008 al 2016, lo que representa un incremento de la ETo, en los últimos años analizados, para estos meses de máxima demanda.

TABLA I. Resumen de la evapotranspiración de referencia (ETo mm·día⁻¹) de Jagüey Grande para el período 2000-2016

Meses	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ene	3,04	2,67	3,04	2,63	2,85	2,83	2,91	3,06	2,79	2,92	2,61	2,84	2,84	3,06	2,94	2,92	2,72
Feb	3,21	3,49	3,41	3,37	3,40	3,33	3,30	3,42	3,55	3,28	3,04	3,82	3,46	3,55	3,62	3,30	3,30
Mar	4,17	4,18	4,37	4,08	4,10	4,25	4,22	4,17	4,31	3,96	3,84	4,25	4,33	4,08	4,31	4,49	4,41
Abr	4,75	4,87	5,04	4,88	4,81	4,72	4,93	4,84	4,85	4,76	4,65	5,16	4,28	4,99	5,00	5,15	5,07
May	5,26	4,19	5,20	4,90	4,87	4,87	4,81	4,59	5,22	4,93	5,15	5,17	4,96	4,79	4,93	4,87	4,96
Jun	4,95	4,71	4,70	4,62	4,83	4,11	4,57	4,29	4,73	4,38	5,50	4,29	4,27	4,48	4,58	4,48	4,48
Jul	5,15	4,60	5,10	4,82	4,82	4,77	4,82	5,03	4,92	5,02	4,55	4,64	4,61	4,59	4,89	4,83	4,73
Ago	4,82	4,77	5,19	4,85	4,81	4,60	4,82	4,66	4,79	4,83	4,54	4,55	4,47	4,62	4,84	4,97	4,64
Sept	4,42	4,35	4,21	4,54	4,51	4,30	4,55	4,31	4,50	4,48	4,22	4,36	4,04	4,07	4,35	4,19	4,11
Oct	3,87	3,93	3,89	4,12	4,00	3,58	3,74	3,94	3,66	3,71	3,63	3,46	3,56	3,66	3,83	3,77	3,64
Nov	3,30	3,15	3,37	3,28	3,26	3,18	3,14	3,02	2,84	3,27	3,13	3,01	2,91	3,20	3,19	3,20	3,03
Dic	2,61	2,96	3,12	2,80	2,80	2,84	2,93	2,87	2,68	3,01	2,48	2,68	2,82	2,98	2,85	2,99	3,00

Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y las temperaturas en Jagüey Grande en el período 2000-2016

Como se expuso anteriormente la ETo depende de la radiación solar, la temperatura máxima y mínima del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento. Al estudiar su relación con estas variables climáticas se observó que la temperatura máxima fue la que mayor influencia ejerció en su comportamiento. En la Figura 2

se puede apreciar que el período de valores más elevados de ETo, comprendido entre los meses de abril y agosto (4,59-4,90 mm/día), se correspondió con el de mayores valores de temperaturas medias máximas (32°C-33,3°C). De igual manera los valores más bajos de ETo (85,4 y 85,9 mm/mes) correspondientes a los meses de diciembre y enero respectivamente, coincidieron con las temperaturas máximas más bajas (27,8 y 28,4°C). Dicha relación se ajustó a una ecuación de regresión lineal $ETo = 0,077t + 21,60$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,848$ (Figura 3).

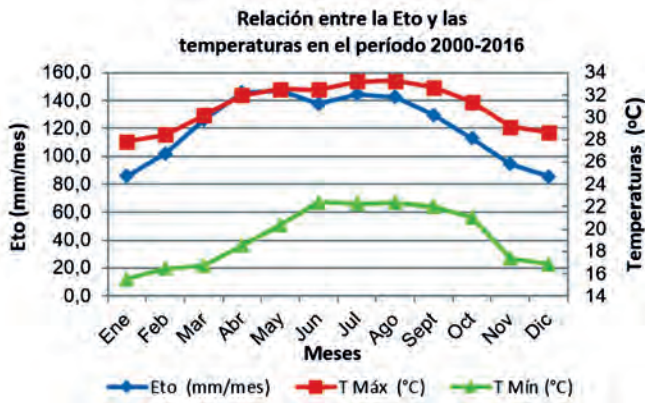


FIGURA 2. Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y las temperaturas en Jagüey Grande en el período 2000-2016.

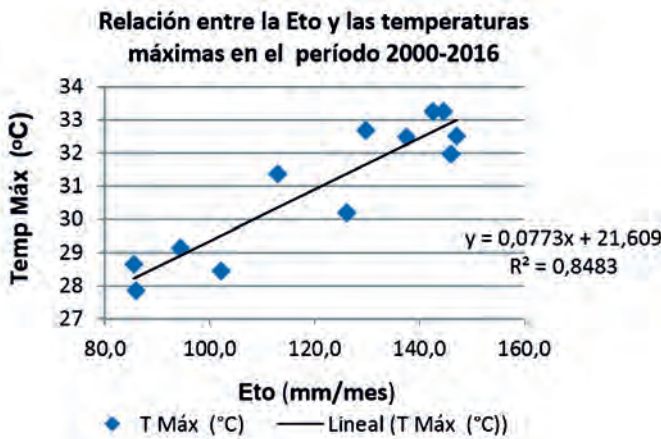


FIGURA 3. Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y las temperaturas máximas en Jagüey Grande en el período 2000-2016.

Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y las precipitaciones en Jagüey Grande en el período 2000-2016

Al analizar la relación entre la ETo y las precipitaciones (Figura 4.) se observa que el promedio de aportes naturales en los meses de mayo a octubre supera la demanda climática. En este período se precipitan, 1353 mm, lo que representa el 85% del total anual, mientras que por concepto de evapotranspiración la demanda es de 814mm. También el promedio anual de precipitaciones es superior al de ETo, presentándose valores de 1597 y 1454 mm respectivamente. Los valores más bajos de ETo, reflejados en los meses de diciembre (85,4 mm-mes⁻¹) y enero (85,9 mm-mes⁻¹) coinciden con los registros más discretos de precipitaciones 24,1 y 31,5 mm.

La Figura 5, muestra el comportamiento, entre el año 2000 y el 2016, de la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones evaluadas año a año. Se aprecia una tendencia a la disminución de los aportes de éstas última. Resultados similares, fueron encontrados por Planos (2014); Álvarez et al. (2015 y Duarte et al. (2017), donde se evidencia que el clima está sufriendo modificaciones que apuntan hacia el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, lo cual pudiera ser indicativo de un proceso similar donde

probablemente las temperaturas propiciarán el incremento de la evapotranspiración de referencia. Esta disminución se hace más evidente a partir del año 2009, donde cuatro años (2009, 2011, 2013 y 2014) presentaron valores inferiores a los totales anuales de ETo.

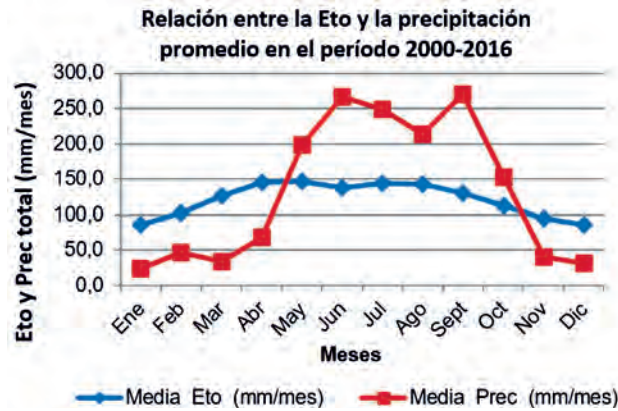


FIGURA 4. Relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones mensuales en el período 2000-2016.

Los valores de precipitaciones anuales presentan una gran variabilidad durante el período de estudio y se encuentran en un rango de 1085 a 2612 mm como valor mínimo y máximo respectivamente y registrados en los años 2004 y 2008. Esta inestabilidad responde a los primeros nueve años analizados (2000-2008), donde se aprecian las mayores diferencias. El promedio de precipitaciones anuales de este período fue de 1726 mm, superando en 239 mm al período 2009-2016 (1487 mm), respaldando lo expresado anteriormente con respecto a la disminución progresiva de esta variable.

En cuanto a los valores de evapotranspiración de referencia se observa mayor estabilidad durante el período y se hallan en un rango entre 1388 mm (año 2012) y 1519 mm (año 2002), con una media de 1455 mm/año. En este caso también se observa, aunque más discreta, una tendencia a la disminución de los totales anuales de ETo. Si tomamos como referencia iguales períodos de tiempo que los utilizados para analizar la evolución de las precipitaciones 2000-2008 y 2009-2016, encontramos que la media del primero (1444 mm) fue inferior en 20 mm al segundo (1464mm).

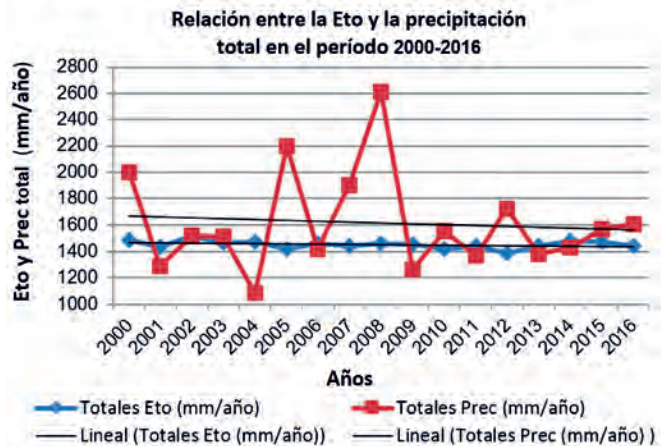


FIGURA 5. Relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones anuales en Jagüey Grande en el período 2000-2016.

Teniendo en cuenta la caracterización de la ETo y su relación con las precipitaciones en Jagüey Grande, en el período evaluado, podemos estimar que en el futuro los aportes naturales serán insuficientes para satisfacer la demanda climática en la región. Dicha estimación coincide con los resultados obtenidos por Valdés (2017), al estudiar la relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones en el período 2017-2050 para la región occidental de Cuba. En este sentido será preciso la búsqueda de alternativas sostenibles para la adaptación al cambio climático, minimizando su impacto en la agricultura, los recursos naturales, la salud, la población, entre otros sectores socioeconómicos que se desarrollan en el territorio.

CONCLUSIONES

- Del estudio climático en el período evaluado de la región de Jagüey Grande, se definió que los valores de ETo más bajos 2,85 y 2,86 mm/día corresponden a los meses de diciembre y enero y los más altos se encuentran entre de abril y mayo 4,87 y 4,90 mm/día respectivamente.
- El período de mayor demanda de evaporativa de la atmósfera fue el comprendido entre los meses de abril y agosto con valores entre 4,59 y 4,90 mm/día
- El balance hídrico muestra que en los meses de mayo a octubre las precipitaciones (1353 mm) superan a la ETo promedio (814mm).
- Existe una tendencia a la disminución del promedio anual de las precipitaciones, haciéndose más evidente a partir del año 2009.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO Riego y Drenaje, Roma, Italy, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- ÁLVAREZ, A.; SOLANO, O.; FEBLES, G.; TORRES, V.; DÍAZ, L.: *La variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático en la cuenca Mayabeque*, Inst. Instituto de Ciencia Animal, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015.
- CHATERLÁN, D.Y.: *Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa*, Inst. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2012.
- COB, A.: "Necesidades hídricas en cultivos hortícolas", *Horticultura*, (2): 34-40, 2004, ISSN: 0188-9761.
- CRUZ, A.M.: "Agricultura cubana y cambio climático: ¿Coexistencia Imposible?", *Cubahora*, (1): 23-32, 2014, ISSN: 1605-0207.
- DUARTE, D.C.; HERRERA, P.J.; ZAMORA, E.: "Predicción de las normas netas de riego a futuro en el pronóstico de riego", *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(3): 3-10, 2017, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- EZATOLLAH, K.; MARZIEH, K.: "Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran", *Journal of integrative agriculture*, 2018, ISSN: 2095-3119.
- FAO: *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO Riego y Drenaje, FAO ed., vol. No. 56, Roma, Italia, 322 p., 2006.
- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A.: "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, 25(15): 1965-1978, 2005, ISSN: 1097-0088, DOI: 10.1002/joc.1276.
- IÑIGUEZ, M.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; DÍAZ-DELGADO, C.: "La infraestructura hidroagrícola ante escenarios del cambio climático", *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5): 89-101, 2015, ISSN: 2007-2422.
- MALEK, K.; ADAM, J.C.; STÖCKLE, C.O.; PETERS, R.T.: "Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-irrigation losses", *Journal of Hydrology*, 561: 444-460, 2018, ISSN: 0022-1694, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.046>.
- PLANOS, E.: *Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*, Ed. AMA, cubana, La Habana, Cuba, 2014.
- RIVERO, O.; BOQUET, A.D.; LÓPEZ, C.; VALENTÍN, P.; MANSO, R.: *Segunda comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Inst. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, La Habana, Cuba, 228 p., 2015.
- VALDÉS, P.J.: *Predicción de las normas netas del riego del cultivo del frijol común en la zona occidental de Cuba*, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, Eng. Thesis, La Habana, Cuba, 57 p., 2017.
- VERDECIA, L.: *Predicción de las normas netas de riego del tomate a cultivarse en las zonas occidental, central y oriental de Cuba en el período 2016- 2050 en función de la variabilidad y el cambio climático*, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, Eng. Thesis, La Habana, Cuba, 59 p., 2016.

Yunier Sosa Sánchez, investigador, Unidad Científico Tecnológica de Base Jagüey Grande. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Calle 24 # 1702 e/ 17 y 17 A, Torriente, Jagüey Grande, Matanzas, Cuba. Tel: (53) 45986125 y 45986193, e-mail: horacio@imporvg.cu

Carmen E. Duarte Díaz, e-mail: jdptoriego@iagricu

Alina Puente Sánchez, e-mail: horacio@imporvg.cu

Livia González Risco, e-mail: horacio@imporvg.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.