



ARTÍCULO ORIGINAL

<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1516>

Validación del enfoque de coeficiente dual en diferentes escenarios Edafoclimaticos

Validation of the Dual Coefficient Approach in Different Edaphoclimatic Scenarios

Dra.C. Yoima Chaterlán-Durruthy¹

Instituto de Investigaciones de Ingeniera Agrcola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. La agricultura se enfrenta a un nuevo reto de producir más alimentos con menos agua. La manera más directa y económica de paliar esta diferencia se encuentra en el aumento de la eficiencia en el uso del agua, que debe comenzar con su precisión en el manejo y uso para el riego. Un paso importante en este campo se materializa con la actualización de las metodologías para la determinación de los coeficientes de cultivo y la actualización constante del conocimiento y los requerimientos técnicos y agronómicos para una planificación adecuada a partir de la estimación de sus necesidades hídricas. Para ello fue utilizado el modelo SimDualKc que efectúa el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la programación del riego basado en la metodología de los coeficientes culturales duales ($K_c = K_{cb} + K_e$). Fueron utilizados coeficientes de cultivos duales (K_{cb}) obtenidos por Chaterlán *et al.* (2015) en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, Alquizar, Cuba. Las hortalizas están entre los alimentos más importantes en Cuba y grandes áreas son cultivadas para satisfacer su demanda, las estudiadas fueron ajo, cebolla, zanahoria y pimiento. La validación consistió en la simulación con los valores de K_{cb} obtenidos previamente para las condiciones de Alquizar en las condiciones edafoclimáticas del Valle de Caujeri. Se llegó a la conclusión que los valores de K_{cb} obtenidos para estas hortalizas en Alquizar pueden ser considerados para generar alternativas de programación del riego para las condiciones edafoclimáticas del Valle de Caujeri en Guantánamo.

Palabras clave: agua, hortalizas, validación, simulación, riego.

ABSTRACT. The agriculture faces a new challenge of producing more food with less water. The most direct and economic way to palliate this difference is in the increase of the efficiency in the use of the water that should begin with its precision in the handling and use for the irrigation. An important step in this field is materialized with the upgrade of the methodologies for the determination of the crop coefficients and the constant upgrade of the knowledge and the technical and agronomic requirements for an appropriate planning, starting from the estimate of its water necessities. Was used the model SimDualKc that makes the calculation of the evapotranspiration of the crop (ET_c) and the programming of the watering based on the methodology of the dual cultural coefficients ($K_c = K_{cb} + K_e$). Were used dual coefficients of crops (K_{cb}) obtained by Chaterlán *et al.* (2015) in the Experimental Station of Irrigation and Drainage, Alquizar, Cuba. The vegetables are among the most important foods in Cuba and big areas are cultivated to satisfy the demand, and those studied were garlic, onion, carrot and pepper. The validation consisted on the simulation with the values of K_{cb} obtained previously for the conditions of Alquizar under the edaphoclimatic conditions of the Valley of Caujeri. Was reached the conclusion that the values of K_{cb} obtained for these vegetables in Alquizar can be considered to generate alternative of programming of the irrigation for the edaphoclimatic conditions of the Valley of Caujeri in Guantánamo.

Keywords: Water, Vegetables, Validation, Simulation, Irrigation.

INTRODUCCIÓN

Comúnmente las hortalizas son cultivadas durante el periodo menos lluvioso del año, donde la precipitación no sobrepasa el 30% del total anual y el riego adquiere una condición obligatoria para poder garantizar las exigencias hídricas de

¹ Autora para correspondencia: Yoima Chaterlán, e-mail: yoima.chaterlan@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8453-3394>

Recibido: 30/04/2021.

Aprobado: 12/11/2021.

estos cultivos. Normalmente, la programación de este tipo de riego es de alta frecuencia destinada a mantener la humedad del suelo por encima del 75% de la capacidad de campo, por lo que resulta necesario estudiar para estos cultivos, como mejorar la programación del riego para una gestión eficiente del uso del agua y su productividad.

En la agricultura, el riego es un factor de productividad, por cuanto permite al agricultor el dominio de la mayor parte de los otros procesos agrícolas, con relativa independencia de las condiciones climáticas, y por ello constituye un paradigma para los agricultores de casi todo el mundo. También es una actividad cara, que demanda fuertes insumos y que puede convertirse en un factor degradante del medio (López *et al.*, 2002; Rijsberman, 2006).

De todos los sectores económicos, el agrícola es el que depende más de factores climáticos y, por ende, es el más sensible y vulnerable a los cambios climáticos. En las regiones tropicales se proyecta que los rendimientos de los cultivos disminuyan y se espera que para mediados del presente siglo los aumentos de las temperaturas asociados a las disminuciones en el contenido de agua y humedad del suelo conlleven al reemplazo gradual del bosque tropical por sabana. En zonas más secas, se espera que el cambio climático conlleve a la salinización y desertificación de tierras agrícolas. Se espera también una disminución de rendimientos para algunos cultivos importantes, con consecuencias adversas sobre la seguridad alimentaria.

En las últimas décadas ha sido prolifero el desarrollo y uso de los modelos matemáticos para la simulación y predicción del movimiento del agua en los suelos y del rendimiento (Cid *et al.*, 2011). Esto está relacionado con la necesidad de desarrollar soluciones para diferentes problemas de manejo agrícola y medioambiental tales como estrategias de riego, diseño de sistemas de drenaje y la polución de las aguas superficiales y subterráneas (López *et al.*, 2009a).

La utilización de modelos matemáticos para simular el balance hídrico del suelo, después de ser debidamente calibrados y validados para diferentes cultivos y escenarios, pueden considerarse como herramientas útiles para la programación del riego (Pereira *et al.*, 2007; López *et al.*, 2008). Este es el caso del modelo SimDualKc (Rosa *et al.*, 2010; 2012) que efectúa el balance hídrico del suelo a nivel de la parcela, utilizando periodos de tiempo diario y ofreciendo diferentes aproximaciones para estimar la percolación profunda, la ascensión capilar y el escurrimiento superficial.

Resultados sobre la determinación de los coeficientes duales, la fracción de cobertura del suelo (f_c) y una serie de variables tales como el agua fácilmente evaporable (REW) y el agua total evaporable o lámina máxima de agua que puede ser evaporada en el suelo (TEW) para las hortalizas en las condiciones del área de estudio, que hasta la fecha no han sido considerados en este tipo de cultivos y no están disponibles en la literatura; fueron estimadas a partir de la calibración y validación del modelo para su posterior utilización en la gestión de alternativas de programación de

riego en condiciones de escasez de agua.

Para el riego de alta frecuencia como es el caso del riego por goteo, y para cultivos con cobertura parcial del suelo como es el caso de los frutales y las hortalizas, y en las regiones con precipitaciones frecuentes, el uso de la metodología de los coeficientes de cultivo duales permite producir estimaciones más precisas de la evapotranspiración del cultivo (Allen *et al.*, 2005). De hecho, dividir el coeficiente cultural (K_c) en los componentes de evaporación del suelo (K_e) y del coeficiente cultural basal (K_{cb}) permite una mejor percepción de las fracciones de agua, provenientes de la precipitación o del riego, utilizadas por el cultivo, así como evaluar las ventajas de mantener una fracción del suelo seca o la utilización de mulches para controlar la evaporación del suelo (E).

El conocimiento de la evapotranspiración es fundamental para la gestión del recurso hídrico cuando la administración del riego se desea óptima. Es un parámetro clave en el balance de energía del sistema tierra-atmósfera, en la detección de estrés hídrico vegetal, en la predicción del rendimiento de los cultivos, en el cálculo del balance hídrico y en la caracterización climática de las distintas zonas, por nombrar algunos aspectos (Sánchez & Carvacho, 2006).

El objetivo de este trabajo consistió en validar los coeficientes duales de cultivo obtenidos para las hortalizas cebolla, ajo, zanahorias y pimiento en en la región de Alquizar con el modelo de simulación SIMDualKc en las condiciones edafoclimáticas del Valle de Caujeri con el fin de mejorar la gestión del riego como alternativa de programación en condiciones de escasez de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizó la información disponible de experimentos de campo para el estudio de las necesidades hídricas de los cultivos, ajo, cebolla, pimiento y zanahoria, realizados en las condiciones edafoclimáticas del sur de la provincia Artemisa. Con esta información se calibró y validó el modelo de simulación SimDualKc Chaterlán *et al.* (2012) para la estimación de los coeficientes duales, los cuales fueron validados para condiciones edafoclimáticas diferentes con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de los parámetros obtenidos en el proceso de calibración y validación de este modelo en escenarios diferentes.

El área de estudio a partir de la cual se obtuvieron las informaciones utilizadas en el proceso de calibración y validación del modelo se encuentra en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, situada en el municipio Alquizar, provincia Artemisa (latitud 22 46' N, longitud 82 37' N y 6 m de altura) en la región occidental del país y el área seleccionada para la validación de la aplicabilidad de los resultados se encuentra en el Valle de Caujeri, provincia Guantánamo, ubicado en el municipio de San Antonio del Sur, al noroeste de la ciudad cabecera entre las coordenadas latitud 20 08N, longitud 74 50' N y 184.4 m de altura (Figura 1).

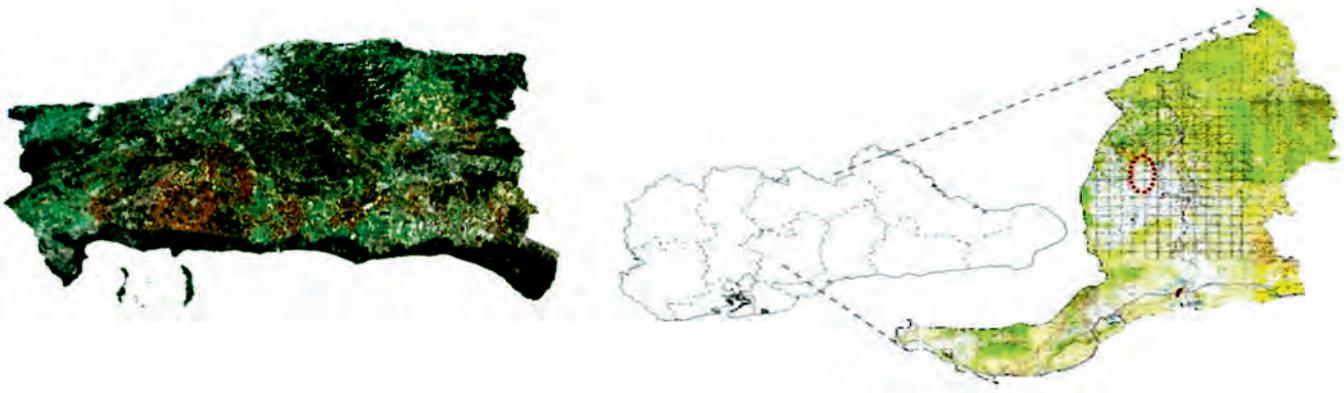


FIGURA 1. Área de estudio, Municipio Alquízar (izquierda) Valle de Caujeri, Guantánamo (derecha).

La caracterización climática para los periodos de estudio se presenta en las Figuras 2 y 3. La evapotranspiración de referencia (ET_0) fue calculada utilizando el método de FAO-PM (Allen *et al.*, 1998).

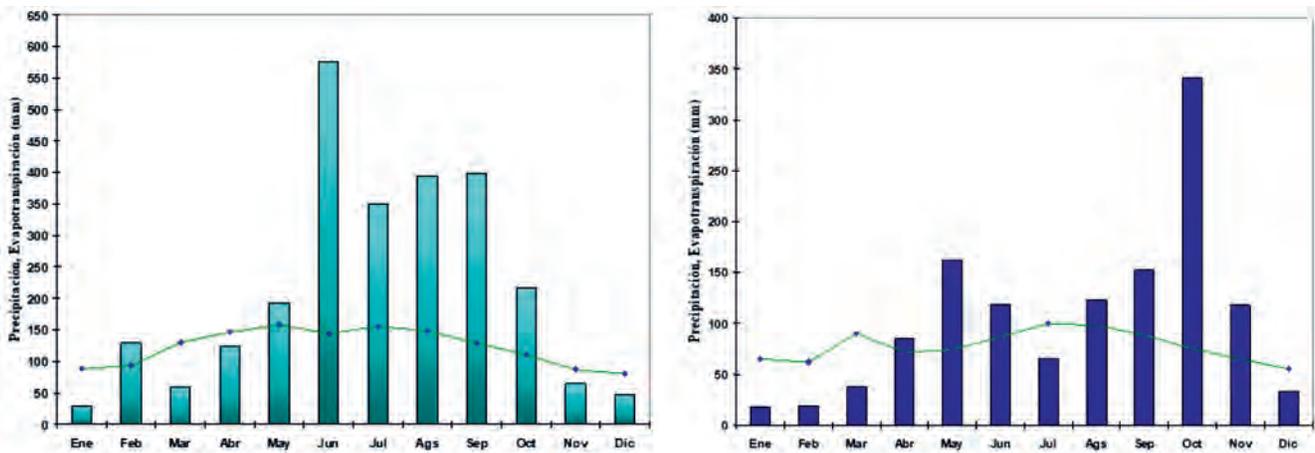


FIGURA 2. Caracterización climática de los sitios experimentales en el periodo 2005-2010 promedio mensual de precipitación (mm) (■) Alquízar, promedio mensual de precipitación (mm) (■) Valle de Caujeri y evapotranspiración de referencia (ET_0) (—■—) (mm).

Los resultados del comportamiento de las precipitaciones durante el periodo de estudio para el área de Alquízar muestran que el valor de la media anual de las precipitaciones alcanza los 2582 mm, de los cuales el 85% (2193 mm) corresponden al periodo lluvioso que se extiende desde el mes de mayo hasta el mes de octubre y el restante 15% (390) se distribuye entre los meses de noviembre y abril, correspondientes al periodo seco. Para el caso del Valle de Caujeri, el valor de promedio anual de las precipitaciones alcanza valores de 1272 mm de los cuales el 85% (1082) en el periodo húmedo y el 15% (390mm) corresponden al periodo seco. Estos valores representan una diferencia de 131mm de disponibilidad potencial de agua.

Por su parte la curva de la evapotranspiración de referencia, ET_0 , mantiene una tendencia similar a la de la evaporación, relativamente baja en los meses de seca y aumenta rápidamente en el inicio de la poca de lluvia. El promedio anual para Alquízar es de 1 472 mm y los máximos y mínimos corresponden a los meses de mayo (158 mm) y diciembre (70,8 mm) respectivamente (Figura 3) y para el Valle de Caujeri el valor promedio anual fue de 1487 mm, correspondiendo al mes de mayo su máximo valor de 155 mm y los mínimos en diciembre con 92 mm. El balance de precipitación y ET_0 refleja también la variación de ambos

parámetros durante el periodo seco. Este balance es negativo en este periodo, por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas. Resultados similares han sido reportados anteriormente por Chaterlan *et al.* (2012).

El comportamiento de las variables de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa no presentan grandes variaciones dentro del año, pero si ejercen grandes influencias en la caracterización climática de las áreas de estudio como se muestra en la Figura 3.

Los cultivos seleccionados para el estudio fueron el Ajo (*Allium sativum* L.) var. Santic Spirtus, Cebolla (*Allium cepa* L.) var. Red Creole, Zanahoria (*Dacus carota* L.) var. Chantenay y Pimiento (*Capsicum annan* L.) var. California.

En el diseño de los experimentos en los 4 cultivos seleccionados, se utilizaron canteros de 1.60 m de ancho, los cuales para el caso del ajo, cebolla y zanahoria se plantaron 4 hileras por cantero, separadas entre sí a 15-20 cm y en el cultivo del pimiento se plantaron 2 hileras separadas a 45-50 cm. La distancia entre plantas en el ajo fue de 6-7 cm, en la cebolla de 9-10 cm, en la zanahoria de 7-8 cm y en el pimiento de 25-30 cm, para una densidad de plantación de 714285, 500000, 625000 y 66000 plantas por hectáreas en el ajo, cebolla, zanahoria y pimiento respectivamente.

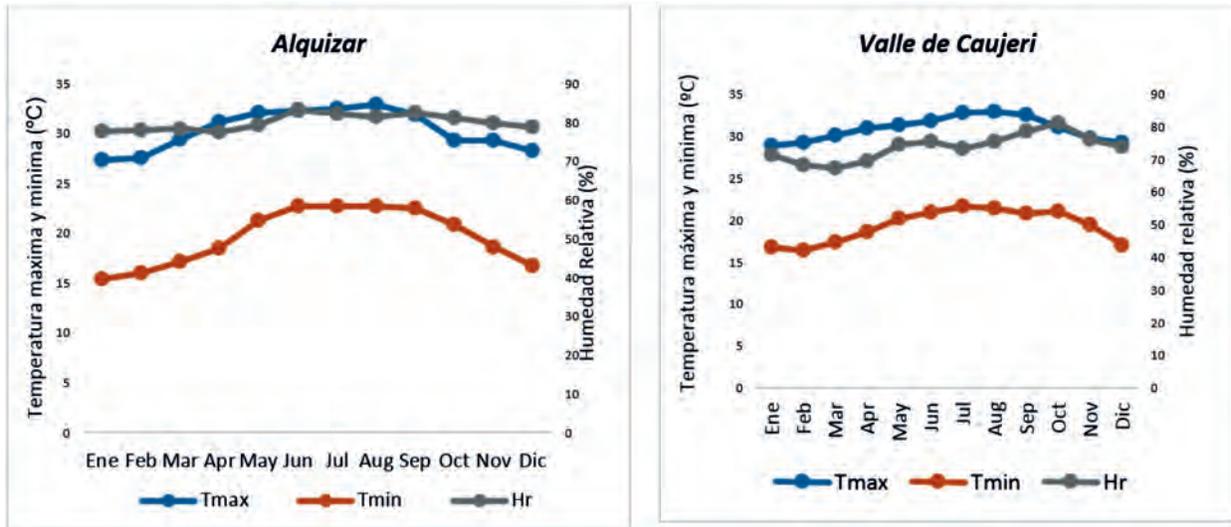


FIGURA 3. Caracterización climática de los sitios experimentales en el periodo 1985-2010 referente al promedio mensual de humedad relativa (%) y promedio de temperaturas máximas y mínimas (° C).

Para el trabajo de calibración del modelo se utilizaron los datos de profundidad radical, Z_r , de duración de las fases del cultivo y la altura máxima reportados en los trabajos experimentales que se resumen en la Tabla 1.

Los valores de los coeficientes de cultivo por fases y de la fracción de agotamiento de agua en el suelo (p) se tomaron los estimados por Chaterlán *et al.* (2015) para los cultivos de estudio y se calibraron a partir del ajuste de los datos modelados y observados de la dinámica de humedad en el suelo. Los valores ajustados se utilizaron después para la validación en otras condiciones edafoclimaticas.

El suelo donde se realizó la investigación en Alquizar está clasificado como Ferralítico rojo compactado, o Rhodic Ferralols, según FAO/UNESCO, el cual se caracteriza por ser arcilloso, profundo y muy permeable. En el caso del Valle de Caujeri predominan los suelos aluviales profundos de origen fluvial, poco evolucionado aunque profundo. Cid *et al.*, 2011. En la Tabla 1 se muestra un resumen de las principales características hidrofísicas de estos suelos.

TABLA 1. Propiedades hidrofísicas (FC y WP) de los suelos estudiados en los diferentes escenarios

| Profundidad Z_r (mm) | Escenario Alquizar | | Escenario Valle de Caujeri | |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | FC (cm^3/cm^3) | WP (cm^3/cm^3) | FC (cm^3/cm^3) | WP (cm^3/cm^3) |
| 0.00 – 0.20 | 0.37 | 0.30 | 0.49 | 0.34 |
| 0.20 – 0.40 | 0.43 | 0.30 | 0.51 | 0.36 |
| X | 0.40 | 0.30 | 0.50 | 0.35 |

Capacidad de Campo (FC), Punto de Marchitez (WP).

El modelo SimDualKc calcula la ET_c utilizando datos de suelo, clima, cultivo y sistema de riego. Los datos sobre clima incluyen la temperatura máxima y mínima, velocidad del viento media, precipitación, y ET_o o se puede calcular la ET_o utilizando las temperaturas. Los datos sobre el cultivo incluyen la identificación de la duración de las fases del ciclo del cultivo, la evolución de la cobertura del suelo, del crecimiento de las raíces y la altura del cultivo durante el ciclo cultural, y la selección de los correspondientes K_{cb} calibrados; el ajustamiento de los K_{cb} calibrados para las condiciones climáticas específicas de la región de estudio; el cálculo diario de los valores de K_e ; y el cálculo diario de ET_c . Usando esta metodología el modelo ejecuta la simulación del balance hídrico del suelo, a partir de la cual se derivan propuestas para la programación del riego.

La metodología para su determinación utilizando la estimación de los coeficientes culturales duales (Allen *et al.*, 1998, 2005) consiste en la adopción de la siguiente formulación:

$$ET_c = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \tag{1}$$

donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo

K_s : coeficiente de estrés hídrico

K_{cb} : coeficiente dual del cultivo

K_e : coeficiente de evaporación del suelo

ET_o : evapotranspiración de referencia.

Todas las observaciones realizadas en estas hortalizas se utilizaron para validar el modelo en las condiciones del área experimental y testificar los coeficientes duales del cultivo y las otras variables resultantes de interés.

El análisis de evaluación de la bondad de ajuste de las predicciones del modelo SIMDualKc, se realizaron una serie de análisis estadísticos que permite tener una buena percepción de las tendencias de ajuste en el modelo utilizando una regresión forzada al origen. Los indicadores utilizados fueron los siguientes: coeficiente de regresión (b), coeficiente de determinación (R^2), el error medio

cuadrático ($RMSE$, mm), el error máximo absoluto (AAE , mm), el error medio relativo (ARE ,%), la eficiencia de modelación (EF) y el índice de ajustamiento (d_{11}). Los indicadores seleccionados se basan en las aplicaciones anteriormente realizadas (Chaterlán *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calibración consistió en la búsqueda de los coeficientes culturales duales para las diferentes etapas de desarrollo de estas hortalizas a partir del ajuste de los parámetros no observados asumidos a partir de los valores establecidos (K_{cb} , p , TEW , REW) reduciendo al mínimo las diferencias entre los valores simulados y observados del contenido de humedad del suelo, valores estos obtenidos en Alquizar y publicados por Chaterlán *et al.* (2012). En la Tabla 2 se muestran los valores calibrados. Por su parte, la validación consistió en la utilización de estos valores calibrados en la simulación de estos resultados en periodos de tiempo y escenarios diferentes, en este caso en el Valle de Caujери.

Los resultados obtenidos permiten definir que los valores de K_{cb} presentados en la Tabla 2 resultan valores optimizados para la estimación de la ET_c del cultivo a partir del enfoque de coeficientes globales para las condiciones edafoclimáticas diferentes como es el caso del Valle de Caujери.

Los valores de K_{cb} obtenidos se encuentran dentro del rango de los coeficientes propuestos por la FAO Allen *et al.* (1998) para los cultivos en estudio. Si se analiza su comportamiento se puede apreciar que los K_{cb} resultan similares para todas las fases en los cultivos del ajo y la cebolla, apuntando a que estos tienen iguales demandas de transpiración para las condiciones de estudio.

Para el trabajo de simulación del modelo se utilizaron los datos de profundidad radical, Z_r , de duración de las fases del cultivo y la altura máxima reportados en los trabajos experi-

mentales que se resumen en la Tabla 3.

TABLA 2. Coeficientes duales de cultivo reportadas por Chaterlán et al., 2015 validados en las condiciones edafoclimáticas de la region del Valle del Caujери

| Parámetros | Coeficientes de cultivo y fracción de agotamiento de las hortalizas | | | |
|------------|---|------|------------|----------|
| | Cebolla | Ajo | Zanahorias | Pimiento |
| K_{cini} | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| K_{cmid} | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| K_{cend} | 0,65 | 0,65 | 0,80 | 0,75 |
| P_{ini} | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| P_{dev} | 0,50 | 0,50 | 0,40 | 0,40 |
| P_{mid} | 0,50 | 0,50 | 0,40 | 0,50 |
| P_{end} | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 0,50 |
| REW (mm) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| TEW (mm) | 15 | 25 | 15 | 24 |
| Z_c (m) | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |

TABLA 3. Duración del ciclo vegetativo (días), altura máxima promedio (m) y profundidad radical máxima (m) utilizadas en las simulaciones de los cultivos de estudio

| Fases | Cultivos | | | |
|-----------|----------|---------|-----------|----------|
| | Ajo | Cebolla | Zanahoria | Pimiento |
| Fase I | 20 | 30 | 16 | 35 |
| Fase II | 34 | 39 | 39 | 29 |
| Fase III | 39 | 49 | 24 | 23 |
| Fase IV | 29 | 27 | 27 | 34 |
| Total | 122 | 145 | 106 | 121 |
| h (m) | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 0,50 |
| Z_r (m) | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,40 |

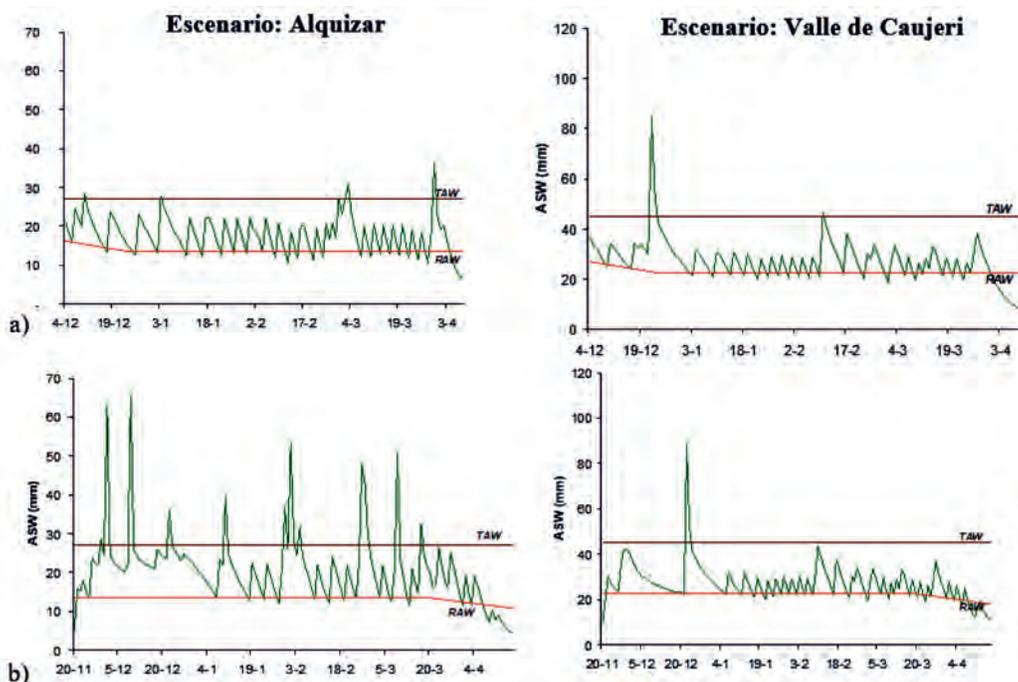


FIGURA 4. Representación gráfica de la lámina de agua simulada (mm) disponible en el suelo (ASW) para los cultivos de a) ajo, b) cebolla, c) zanahoria, d) pimiento; en la validación del modelo SimDualKc en el Valle de Caujери.

Los resultados presentados en las Figura 4 demuestran que el modelo predice adecuadamente la dinámica del agua disponible en el suelo para los cultivos en estudio.

El enfoque de coeficientes duales en los estudios de necesidades hídricas es escaso en las condiciones tropicales y no se conocen estudios precedentes en Cuba, a no ser los publicados por Chaterlan *et al.* (2012 y Chaterlán *et al.* (2015), por lo que resulta difícil la comparación y discusión de los mismos. A raíz de los resultados obtenidos en los citados trabajos, se procedió a la validación de los mismos en escenarios diferentes, para de esta manera extender la aplicación de esta metodología para otros cultivos y en otras condiciones edafoclimaticas.

Del análisis de estos resultados se puede afirmar que el modelo predice adecuadamente las variaciones de los valores observados. Trabajos similares que utilizan el enfoque de coeficiente dual del cultivo se han desarrollado a nivel internacional durante la última década con buenos resultados López *et al.* (2009); Neshati *et al.* (2013); Shahrokhnia & Sepaskhah (2013), los cuales utilizan este enfoque de coeficiente dual del cultivo y confirman la importancia de la adopción de esta metodología en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos.

TABLA 4. Indicadores de calidad del ajuste del modelo usando valores calibrados de REW, TEW, Ze, Kcb e p

| Parameter | b | R ² | RMSE (mm) | AAE (mm) | EM _r (%) | EF | d _{IA} |
|-------------|------|----------------|-----------|----------|---------------------|------|-----------------|
| Garlic A | 0,91 | 0,92 | 1,95 | 1,51 | 15,2 | 0,81 | 0,96 |
| Garlic VC | 0,92 | 0,93 | 1,72 | 1,32 | 16,7 | 0,91 | 0,98 |
| Onion A | 0,98 | 0,82 | 2,43 | 2,02 | 10,2 | 0,83 | 0,98 |
| Onion VC | 0,98 | 0,92 | 2,01 | 1,64 | 7,5 | 0,92 | 0,98 |
| Carrots A | 0,98 | 0,93 | 1,51 | 1,30 | 5,0 | 0,69 | 0,93 |
| Carrots VC | 0,95 | 0,86 | 1,70 | 1,57 | 5,8 | 0,73 | 0,93 |
| S. Pepper | 0,99 | 0,96 | 2,02 | 1,60 | 7,3 | 0,88 | 0,98 |
| S.Pepper VC | 0,99 | 0,97 | 1,36 | 1,23 | 6,8 | 0,97 | 0,99 |

Los resultados de los indicadores de calidad de ajuste calculados se resumen en la Tabla 4. En estos resultados, el coeficiente de regresión (*b*) está próximo de 1.0, entonces la covarianza está cerca de la varianza de los valores observados lo que significa que los valores simulados y observados están estadísticamente cerca; el coeficiente de determinación (*R*²) oscila entre 0.82 y 0.97 lo que indica que casi toda la variación de los valores observados se explica por el modelo. Los valores de los indicadores de errores de estimación residual del agua disponible del suelo, en el caso de la raíz del error cuadrado, *RMSE* (mm) varía entre 1.36 y 2.43 y el error absoluto promedio, *AAE* (mm) de 1.23 y 2.02, lo que representa aproximadamente el 7% de *TAW* en la totalidad de las hortalizas estudiadas, muestran un buen ajuste. En su totalidad estos indicadores confirman una buena concordancia entre los valores simulados y observados.

Con estos resultados queda validada la posibilidad de utilizar esta primera aproximación de coeficientes culturales de estas hortalizas estudiadas en la programación del riego en los escenarios de la región del Valle de Caujeri en Guantánamo con el fin de realizar una programación de riego

que contribuya a la optimización del recurso agua en estas condiciones de disponibilidad de uso y explotación de este preciado recurso natural.

CONCLUSIONES

Los valores de *K_{cb}* obtenidos se encuentran dentro del rango de los coeficientes propuestos por la FAO y calibrados en la Región de Alquizar para las hortalizas en estudio. Lo anterior indica que los coeficientes validados para los cultivos y condiciones de estudio son adecuados, evidenciando la posibilidad de utilizarlos para las condiciones actuales de las zonas de estudio así como de extender la aplicación de esta metodología para otros cultivos y en otras condiciones edafoclimaticas. Del análisis de estos resultados se puede afirmar que el modelo predice adecuadamente las variaciones de los valores observados y la varianza de los mismos es explicada por el modelo.

Los resultados de este trabajo tributan al enriquecimiento y consolidación de la aplicación del enfoque de coeficientes duales en los estudios de necesidades hídricas en Cuba y en las áreas agrícolas tropicales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M.: “Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements”, *FAO Irrigation and drainage paper*, 56: 300, 1998, ISSN: 0254-5293.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J.: “FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1): 2-13, 2005, ISSN: 0733-9437, DOI: [https://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)](https://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)).
- CHATERLÁN, D.Y.; DUARTE, D.C.; ROSA, R.; LOPEZ, T.; PEREIRA, L.S.: “Estimation the water needs of some vegetables using the

- methodology of dual cultural coefficients”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(1): 21-26, 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- CHATERLAN, D.Y.; LEÓN, M.; DUARTE, D.C.; LÓPEZ, T.; PAREDES, P.; PEREIRA, L.S.: “Determination of crop coefficients for horticultural crops in Cuba through field experiments and water balance simulation”, En: *VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 889*, pp. 475-482, Eds.: Ortega-Farias and Selles. Act. Hort. ISBN 978-90-6657-44-9, 928, Vol.1 (54) ISHS 2011, pp. 475-482, 2012, ISBN: 978-90-6657-44-9.
- CID, L.G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.: “Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.; GONZÁLEZ, F.; DUEÑAS, G.; OZIER, H.; SIERRA, J.: “Estudio comparativo de dos modelos de simulación de transferencias hídricas en un Ferralsol del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(1): 83-90, 2002, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, B.F.; DUEÑAS, G.; CHATERLAN, D.Y.; CID, L.G.; DUEÑAS, G.; CASANOVA, A.: *Los modelos de simulación como herramienta eficaz para el estudio del manejo del agua y la fertilización en diferentes sistemas de cultivos agrícolas en el sur de la Habana, [en línea]*, Inst. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentavel, Diretoria de Recursos Hdricos, Informe Técnico, Florianopolis, Brasil, 2008, *Disponible en: ceer.isa.utl.pt/cyted/brasil2008/tema2/SessaoII-TLopez.pdf*.
- LÓPEZ, S.T.; HERRERA, P.J.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.; CHATERLÁN, D.Y.: “Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 1-6, 2009a, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- LÓPEZ, Ú.R.; DE SANTA OLALLA, F.M.; MONTORO, A.; LÓPEZ, F.P.: “Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions”, *Agricultural Water Management*, 96(6): 1031-1036, 2009b, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.004>, 96: 1031-1036, 2009.
- NESHATI, R.M.; MAJNOONI, H.A.; BESHARAT, S.; JABBARI, A.: “Using pan evaporation method to estimate the maize evapotranspiration by dual crop coefficient approach.”, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(21): 2529-2536, 2013, ISSN: 2227-670X.
- PEREIRA, L.S.; GONÇALVES, J.; DONG, B.; MAO, Z.; FANG, S.: “Assessing basin irrigation and scheduling strategies for saving irrigation water and controlling salinity in the upper Yellow River Basin, China”, *Agricultural Water Management*, 93(3): 109-122, 2007, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2007.07.004>.
- RIJSBERMAN, F.R.: “Water scarcity: fact or fiction?”, *Agricultural water management*, 80(1-3): 5-22, 2006, ISSN: 0378-3774, E ISSN: 1873-2283, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016,80:5-22>.
- ROSA, R.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G.; ALVES, I.; PEREIRA, L.: *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, Ed. Edições Colibri e CEER, Lisboa, Portugal, 2010, ISBN: 978-989-689-066-7.
- ROSA, R.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G.C.; FERNANDO, R.M.; PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G.: “Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy”, *Agricultural Water Management*, 103: 8-24, 2012, ISSN: 0378-3774, E ISSN: 1873-2283, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016,>
- SÁNCHEZ, M.; CARVACHO, L.: “Estimación de evapotranspiración potencial, ETP, a partir de imágenes NOAAVHRR en la VI Región del Libertador General Bernardo O’Higgins”, *Revista de Geografía Norte Grande*, (36): 49-60, 2006, ISSN: 0718-3402, DOI: <https://dx.doi.org/10.4067>.
- SHAHROKHANIA, M.H.; SEPASKHAH, A.R.: “Single and dual crop coefficients and crop evapotranspiration for wheat and maize in a semi-arid region”, *Theoretical and applied climatology*, 114(3-4): 495-510, 2013, ISSN: 0177-798X, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007>.

Yoima Chaterlán-Durruthy, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. yoima.chaterlan@boyeros.iagric.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8453-3394>

La autora de este trabajo declara no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 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.