

Consumo de agua y coeficientes de cultivo en plantaciones de fomento de aguacate cv Govin

Water Consumptions and Crop Coefficients in Avocado Young Tress cv Govin



<https://cu-id.com/2177/v31n4e05>

✉ Víctor Manuel Tejeda-Marrero *, ✉ Julián Herrera-Puebla, ✉ Orlando Sarmiento-García,
✉ Karell Cruz-Cruz, ✉ Yoima Chaterlán-Durruthy

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Un potencial aumento de las áreas plantadas de aguacate en Cuba, demandará un incremento de las áreas bajo riego del cultivo, lo que requerirá un conocimiento preciso de las demandas de riego del mismo. En atención a lo anterior, se desarrolló el presente trabajo en una plantación en fomento de aguacate, cv Govin, con marco de siembra de 6 x 6 m, en suelo Ferralítico Rojo en el municipio de Alquizar (provincia de Artemisa, Cuba) y regada mediante tuberías porosas. El consumo de agua fue calculado utilizando la ecuación de balance hídrico simplificado y la variación de la humedad en el suelo fue monitoreada con tensiómetros colocados a profundidades desde 15 a 90 cm, cuyas lecturas fueron convertidas a humedad del suelo utilizando las ecuaciones de calibración determinadas in situ, mientras que la ETo fue determinada mediante la ecuación de Penman-Monteith. La ETc total en el período febrero/2020-mayo/2021, fue de 965.4 mm cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 126 cm vs 40 cm a la fecha de plantación; los valores promedios diarios de consumo decenal tuvieron valores de 2.72, 2.26 y 2.01 para los períodos de febrero-abril 2020, mayo a octubre 2020 y enero abril 2021, con valores de Kc de 0.47 y 0.48 para la estación lluviosa y poco lluviosa respectivamente, coeficientes estos que pueden ser utilizados en la determinación de la demanda de agua para aguacate en fomento.

Palabras clave: Requerimientos de agua, crecimiento del cultivo, consumo de agua.

ABSTRACT: A potential increase in the areas planted with avocado in Cuba will demand an increase in the areas under irrigation for this crop, which will require the most precise knowledge of their irrigation demands. In response to the above, the present work was carry out in a young plantation of avocado cv Govin planted with a 6 x 6 m frame in Red Ferralitic soil in the municipality of Alquizar, Artemisa Province, Cuba and irrigated through porous pipes. Water consumption was calculated using the simplified water balance equation and soil moisture variation was monitored with tensiometers placed at depths from 15 to 90 cm whose readings were converted to soil moisture using the calibration equations determined in situ. The ETo was determined using the Penman-Monteith equation. The total ETc in the period February/2020-May/2021, was 965.4 mm when the plants reached an average height of 126 cm vs. 20 cm at the planting date. Average daily values of decennial consumption were 2.72, 2.26 and 2.01 for the periods of February-April 2020, May to October 2020 and January-April 2021, with Kc values of 0.47 and 0.48 for the rainy and dry seasons, respectively. These coefficients can be used in determining the demand for water for avocado plantations in development. Given the scarcity of information on the irrigation demand and its effect on the production of this crop, it is necessary to continue research that includes plantations in production and other cultivars.

Keywords: Water Requirements, Crop Growth, Water Consumption.

*Author for correspondence: Víctor Manuel Tejeda-Marrero, e-mail: dirgeneral@iagric.minag.gob.cu

Recibido: 16/02/2022

Aceptado: 14/09/2022

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de frutales en Cuba ocupan una superficie de 95 200 ha de las cuales el 10% (9 500 ha) se encuentran plantadas de aguacate ([IIFT-Cuba, 2021](#)). Esta misma fuente, indica un rendimiento promedio de 9 t ha⁻¹, mientras que los rendimientos promedios mundiales oscilan alrededor de las 8 t ha⁻¹ ([Ferreyra y Seller, 2012](#)).

[Jiménez et al. \(2015\)](#), al comparar cultivares de los grupos antillano, mexicano y guatemalteco encontraron, en árboles en los que se midió la producción por árbol y el rendimiento por hectárea en tres años consecutivos, rendimientos por árbol (kg árbol⁻¹) de 8.51, 51.9 y 11.04 para el grupo antillano, 6.06 42.7 y 12.72 para el grupo mexicano y 5.95, 30.60 y 10.80 para el grupo guatemalteco en el 5to, 6to y 7mo año de producción. El rendimiento promedio para los tres años fue de 23.6, 22.2 y 15.7 para el grupo antillano, mexicano y guatemalteco, respectivamente ([Jiménez et al., 2015](#)).

Por su parte, Wolstenholme (1986, citado por [Singh \(2020\)](#) señala que el cultivo posee una capacidad fotosintética suficiente para producir más de 30 toneladas por ha.

El aguacate es nativo de América Central donde las lluvias son abundantes, pero al expandirse su producción a regiones subtropicales y templadas se ha encontrado que el cultivo requiere de un adecuado riego para que alcance su mayor potencial productivo [Holzapfel et al. \(2017\)](#), mientras que [Singh \(2020\)](#) señala que muy poca o demasiada agua tiene impactos sobre el rendimiento y que por tanto conocer estos impactos es imprescindible en el desarrollo de decisiones adecuadas en cuanto al riego.

Uno de los problemas que más inciden en la respuesta de los aguacateros al agua radica en las características de su sistema radicular, el cual según [Ferreyra y Selles \(2007\)](#) es relativamente poco profundo en comparación con otros árboles frutales. Según estos autores, la profundidad máxima de arraigamiento en suelos profundos y bien drenados es de 1.2-1,5 m, sin embargo el 70 a 80 % del sistema radicular se encuentra entre los 0-40 cm.

Internacionalmente, es abundante la literatura sobre las necesidades de riego, el consumo de agua y los coeficientes de cultivo en aguacates en producción para varias regiones del mundo donde el cultivo tiene importancia comercial [Carr \(2013\)](#); [Singh \(2020\)](#), sin embargo, existe muy poca información para árboles en establecimiento (1-2 años).

En Cuba, aunque existe bastante información sobre casi todos los aspectos del cultivo según [Cañizares \(1973\)](#); [Jiménez et al. \(2005\)](#) no han sido estudiado los requerimientos hídricos del aguacate, aunque los instructivos del cultivo [IIFT-Cuba \(2011\)](#) recomiendan una frecuencia de dos veces por semana durante el primer mes del trasplante y de 2 a 4 riegos por semana en los meses siguientes, con un volumen de agua entre 25 a 50 litros por plantas.

Dado la falta de información que existente en el país sobre los requerimientos de riego, el consumo de agua y los Kc del cultivo de aguacate, el presente trabajo se propuso como objetivo la determinación de estos parámetros necesarios para el conocimiento preciso de las demandas de riego en arboles de aguacate en fomento (1-2 años de edad) del cv Govin en suelo ferralítico rojo de la provincia de Artemisa en la región occidental de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el período comprendido de marzo 2020 a mayo 2021 en una plantación de aguacate, cv. Govin, que había sido plantada en febrero 2020, en el campo 26 de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), situada en la localidad de Pulido, Municipio de Alquizar, Provincia de Artemisa (22°46'48"N y 82°36'0.36"W) a 6 msnm.

El suelo del área, al igual que el resto de la finca ha sido clasificado como del tipo Ferralítico Rojo compactado una relativa acumulación de arcilla y sesquióxidos en la parte media del perfil, lo que le confiere cierto endurecimiento; en estado seco una estructura bien diferenciada, masiva y dura.

La [Tabla 1](#) muestra las características texturales del suelo del área resaltando el incremento del contenido de arcilla en profundidad. Aunque el suelo clasifica como arcilloso, por la naturaleza de esta fracción el mismo funciona, desde el punto de vista del movimiento del agua como un loam, lo cual se justifica al observar el valor de la velocidad de infiltración básica mostrado en la [Tabla 2](#).

Dos días después de una lluvia de 31.5 mm y con el fin de ajustar los valores de las propiedades hidrofísicas del suelo, se realizó un muestreo con cilindros de 100 cc; acorde con la norma cubana [NC 110 \(2001\)](#). El valor de humedad determinado en este muestreo fue considerado como valor equivalente a capacidad de campo (cc).

TABLA 1. Análisis granulométrico en el perfil del suelo Ferralítico Rojo compactado

Prof. (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura
0-10	56.46	22.12	21.42	Franco arcilloso
11-20	58.24	21.52	20.24	Franco -arcilloso
20-30	62.8	23.52	13.6	arcilloso

La [Tabla 2](#) muestra algunas propiedades hidrofísicas del suelo así como las normas de riego a aplicar para diferentes profundidades.

De acuerdo a las características químicas del suelo ([Tabla 3](#)) se trata de un suelo de pH neutro a medianamente ácido, con mediano contenido de Materia Orgánica (M.O), no salino, bajo en fosforo y potasio y de baja capacidad de bases intercambiables.

El agua utilizada para el riego provino de un pozo entubado situado a 120 m del área experimental, el cual tiene un diámetro de 50 cm y nivel estático de 6 m. la calidad del agua se muestra en la [Tabla 4](#), donde puede observarse que la misma no presenta limitaciones para el riego según la norma cubana [NC 1048 \(2014\)](#).

El clima de la zona es típico de la región occidental de Cuba, y está influenciado principalmente por las lluvias y su régimen de distribución dentro del año; con un valor de lluvia media anual de 1 432 mm, de los cuales el 78% (1 116.7 mm) corresponden al período lluvioso (mayo-octubre) y los 315.3 mm restantes al período poco lluvioso (noviembre-abril). Los datos de lluvias y evaporación fueron medidos en la Estación meteorológica del área experimental con el pluviómetro estándar y el evaporímetro de tanque Clase A respectivamente, mientras que el comportamiento de las otras variables del clima durante el periodo experimental fueron obtenidos del Boletín Agro-Meteorológico Nacional ([Instituto de](#)

[Meteorología-Cuba, 2020; 2021](#)). La evapotranspiración de referencia (ET_o) fue calculada utilizando la ecuación de Penman-Monteith mediante el programa Cropwat 8.0.

Previo a la siembra se realizó una chapea mecanizada del área y posteriormente una labor de subsolación hasta 0.4 m de profundidad, luego de lo cual se procedió a la apertura mecánica de los hoyos para la colocación de las plantas. Estos agujeros tuvieron una profundidad de 0.4 m y un diámetro de 0.3 m.

La plantación se realizó con posturas provenientes de la Cooperativa Mártires de Yaguajay, en 4 hileras y espaciadas a una distancia de 6 x 6 m (17 plantas en cada hilera), siguiendo las indicaciones del instructivo técnico del cultivo ([IIFT-Cuba, 2011](#)). Al momento de la plantación se realizó una aplicación de materia orgánica a razón de +/- 10 kg por planta.

Características del sistema de riego

El riego se aplicó mediante un sistema de tuberías porosas de 16 mm de diámetro malla roja [Visa Reg \(2019\)](#), el cual es un sistema de riego localizado que aplica el agua de forma continua mediante un tubo poroso que exuda agua en toda su longitud y en la totalidad o parte de su superficie ([Pizarro-Cabello, 1990; Poritex, 2014; 2020; Herrera-Puebla et al., 2020](#)).

TABLA 2. Propiedades hidrofísicas del suelo determinadas in situ y norma de riego calculadas

Profundidad (cm)	Humedad en volumen A capacidad de campo (cm ³ cm ⁻³)	Humedad gravimétrica (g g ⁻¹)	Da g cm ⁻³	Porosidad (%)	Disponibilidad de agua entre capacidad de campo (cc) y 85 % de cc (mm)	Norma de riego a aplicar (m ³ ha ⁻¹)	Velocidad de infiltración (cm h ⁻¹)
0-15	0.406	0.361	1.127	53.5	9.2	92	1.2
15-30	0.401	0.356	1.018	49.4	9.2	184	
30-45	0.387	0.343	1.078	51.8	8.7	271	
45-60	0.397	0.352	1.004	51.9	9	361	
60-100	0.388	0.345	1.004	51.5	23.2	593	

TABLA 3. Características químicas del suelo

pH en Agua	pH en KCl	% M.O.	CE dS m ⁻¹	P2O5 mg /100 g	K2O mg /100 g
7.0	6.0	3.3	0.9	12.1	6.00
Neutro	Medianamente ácido	Mediano	no salino	Bajo	Bajo
Bases cambiables meq/100 g					
Na	K	Ca	Mg	C.C.B	Relación Ca/Mg
0.29	0.03	4.67	0.70	5.69	6.83

TABLA 4. Calidad del agua de riego de la Estación Experimental del IAgriC

pH	C.E (dS m-1)	SST (mg l ⁻¹)	Aniones			Cationes			
			HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
7.1	0.83	543	5.3	1.2	3.9	6.1	1.1	0.06	2.9

El sistema de riego está formado por dos sub unidades de riego alimentadas por una válvula cada una, que a su vez alimenta a dos secciones de riego. Cada hilera de plantas es alimentada por dos cintas porosas colocadas a 0.3 m del tronco de la planta, las cuales son alimentadas por tuberías de PEBD de 50 mm de diámetro por ambos extremos del campo El mismo cuenta con dos filtros de discos de 130 mesh instalados al inicio del campo.

Al inicio de la tubería de suministro de agua al campo fue colocado un metro contador, al cual se le tomó lectura al inicio y final de cada tiempo de riego, en este momento se anotó la hora de comienzo y fin del riego para poder calcular el caudal total entregado y el caudal unitario. A partir de estas mediciones fue posible calcular el caudal total entregado por metro de cinta en cada riego según:

$$Caudal\ en\ la\ tubería\ (l/h/m) = \frac{caudal\ a\ la\ entrada\ del\ sector\ de\ riego\ (l/h)}{longitud\ de\ la\ tuberías\ (m) \times N^\circ\ de\ líneas\ del\ sector} \quad (1)$$

A diferencia del riego mediante goteros, donde la entrega de agua al suelo es puntual, y la distribución lateral del agua se expresa como un cono, por el contrario, la tubería porosa a distribuye el agua a todo lo largo de su longitud, con un gasto relacionado con el caudal de entrada y la presión, por tanto, la distribución lateral de humedad ha de expresarse como una franja a lo largo y ambos lados de la tubería. Resultados de las evaluaciones hidráulicas realizadas al sistema [IAgric-Cuba \(2021\)](#) mostraron que la franja de humedecimiento alcanza los 50 cm desde el centro de la cinta. De acuerdo a lo anterior se consideró que el área efectiva de riego era de 1 m alrededor de la planta, como la longitud total de cada hilera es de 120 m, se consideró que el área regada en cada una era de 120 m², calculando la norma entregada de acuerdo con:

$$Nm \left(\frac{m^3}{ha} \right) = \frac{m^3\ entregados\ a\ la\ sección}{área\ regada\ por\ línea \times N^\circ\ de\ líneas\ regadas} \times 10000 \quad (2)$$

donde: Nm es la norma de riego a entregar.

Medición de la humedad y la tensión del suelo

Para la determinación del gradiente de la tensión de humedad del suelo (medición indirecta del contenido de humedad del suelo) se instaló una estación tensiométrica en la parte media de cada una de las sub secciones (cultivares) Estos tensiómetros han sido colocados en el centro de la línea de cultivos a profundidades de 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 y 0.90 m. Estas medidas de tensión fueron complementadas con determinaciones de la humedad del suelo realizadas en varios momentos de la evaluación mediante el método gravimétrico, según el procedimiento descrito en la norma NC 110-200 ([NC 110, 2001](#))

Para obtener la relación entre el contenido de humedad del suelo y la tensión medida con los

tensiómetros, se hizo una calibración cruzada entre el contenido de humedad obtenida con el método gravimétrico (g de agua/g de suelo) y la tensión de la humedad del suelo registrada con cuatro tensiómetros (kPa), instalados a las profundidades de 0.15, 0.3 y 0.45 m. Con los valores promedio de contenido de humedad de tales estratos se determinó la lámina de agua para cada uno de ellos con la siguiente [ecuación](#):

$$L = \theta_{hi} \left(\frac{\rho_{ai}}{\rho_{agua}} \right) Z \quad (3)$$

donde: L es la lámina de agua (mm / 0.15 m de suelo) θ_{hi} es el contenido de humedad (g agua/g suelo) correspondiente a cada tensión i, i = 10, 30, 50 y 70 kPa; ρ_{ai} y ρ_{agua} son la densidad aparente (Mg m⁻³) del estrato correspondiente (i) y la densidad del agua (Mg m⁻³), respectivamente; y Z es la profundidad del estrato (0.15 m). Con los valores de L de cada muestra para cada valor de tensión en cada estrato, se ajustó una ecuación logarítmica para determinar la lámina de agua retenida para cada valor de tensión, de acuerdo con la siguiente [ecuación](#):

$$L = \beta_0 - \beta_1 \ln(T) \quad (4)$$

donde: L es la lámina de agua retenida (mm/0.15 m de suelo); T es la tensión (cbar); y β_0 y β_1 son los coeficientes de regresión de la ecuación. Estudios previos en el suelo de la estación [Carrillo \(1980\)](#); [Herrera et al. \(1986\)](#) demostraron que el contenido de humedad correspondiente a una lectura del tensiómetro de 10 cbar se corresponde con el contenido de humedad a capacidad de campo (0.35 g g⁻¹).

Determinación del consumo de agua por el cultivo

El consumo de agua por el cultivo se determinó a través del balance de humedad del suelo. Teniendo en cuenta que el área tiene una pendiente muy suave (0.16 %) y que la infiltración del suelo es superior a los 1.2 cm h⁻¹, y el nivel freático se encuentra por debajo de los 6 m [IAgric-Cuba \(2021\)](#), los términos de escurrimiento y ascenso capilar no fueron tenidos en cuenta en la ecuación de balance hídrico, la cual quedo de la forma siguiente:

$$ET_c(mm) = Ll_{ap} + R - \Delta W \quad (5)$$

En la [ecuación \(5\)](#), ET_c es la evapotranspiración del cultivo para el período calculado, Ll_{ap} y R la lluvia aprovechable y la lámina de riego aplicada (mm), respectivamente y ΔW la variación de la humedad del suelo (lámina de agua, mm) a las profundidades de 15, 30 y 45 cm. obtenidas a través de las lecturas de los tensiómetros a las profundidades respectivas y convertidas a lámina mediante la [ecuación \(4\)](#).

El coeficiente único de cultivo (K_c) fue estimado como:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (6)$$

ET_c y ET_0 determinadas como se indicó anteriormente

Dinámica de crecimiento.

Se realizaron medidas de altura del cultivo a toda la población con periodicidad mensual desde la siembra hasta (febrero 2020) hasta el año de establecimiento (febrero (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES CLIMÁTICAS

El comportamiento de las temperaturas durante el período experimental fue similar al promedio del área para el período 2008-2019, tal y como muestra la [Figura 1](#), las diferencias en las temperaturas mínimas para el período frío del año fueron menores a 0.2°C, mientras que las máximas ([Figura 1a](#)), mostraron similar comportamiento. El promedio de temperatura mínima y máxima para el período poco lluvioso del año (el más frío) fue de 19 y 23°C, mientras que para el período lluvioso (el más caliente) fueron de 23.2 y 32.4 °C, respectivamente. Dado que el cv Govin pertenece a la raza antillana, para las cuales las temperaturas ideales diurnas se encuentran entre 25-30°C y las nocturnas 15-20°C [Fintrac \(2019\)](#), las temperaturas presentes en el área de estudio no fueron limitantes para el desarrollo del cultivo.

La ETo ([Figura 1b](#)) fue similar en su comportamiento a lo largo del año en ambos periodos y solo 0.1 mm inferior en el período de estudio con relación al promedio de los 11 años anteriores.

La [Figura 2](#), muestra el balance lluvias/ETo durante el período de estudio en el área de la Estación Experimental del IAgric. En la misma puede observarse, que a pesar de alcanzarse un total de 1938.1 mm de lluvias desde la fecha de plantación (febrero 2020) hasta mayo de 2021, hay dos fuertes períodos de balance negativo en los meses de febrero a mayo en la etapa inicial de establecimiento y desde noviembre a mayo para el fin del período de observaciones donde ya el cultivo estaba plenamente establecido, lo cual indica la necesidad de riego en estas condiciones.

Riegos y Humedad del suelo

No obstante, la superior cantidad de lluvias en los meses de mayo a octubre, debido a la desigual distribución a lo largo del mes, hubo de aplicarse riego ya que en ocasiones la lectura del tensiómetro indicó la necesidad de regar. La [Tabla 5](#) muestra la distribución de los riegos a lo largo del periodo de establecimiento, los intervalos promedios en cada mes

Como puede observarse en la [Tabla 5](#), el intervalo promedio fue de 8 días con una norma parcial neta de 145 m³ ha⁻¹, es de destacar que durante el primer mes de establecimiento, antes de la instalación de los tensiómetros, se siguió la recomendación del Instructivo técnico del cultivo [IIFT-Cuba \(2011\)](#) que

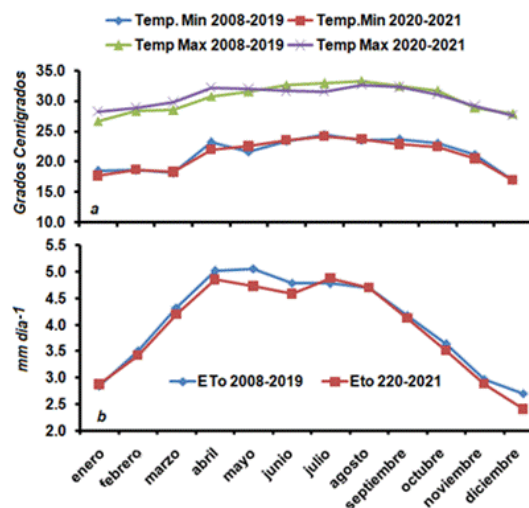


FIGURA 1. Variación mensual de las temperaturas mínimas y máximas (a) y la ETo (b) promedios de 11 años y para el período experimental.

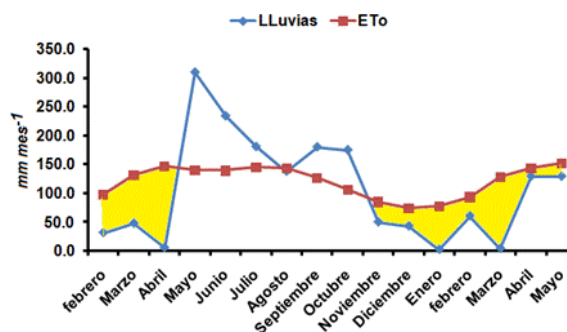


FIGURA 2. Relación entre las lluvias y la ETo durante el período de estudio.

recomienda la aplicación del riego con una frecuencia de dos veces por semana durante el primer mes del trasplante, mientras que a partir del control de la humedad del suelo, el intervalo fue como promedio de un riego semanal.

La [Figura 3](#) muestra el comportamiento de la tensión de humedad del suelo para el período estudiado y la influencia del riego y las lluvias en la misma.

En el lado derecho de la [Figura 3](#), puede observarse la tensión de la humedad del suelo para las profundidades de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, mientras que en el lado izquierdo, se muestran las profundidades de 45-60 y 60-90. Como indica la figura, las tensiones a las profundidades de 45-60 (línea amarilla) y 60-90 cm (línea azul) se mantienen a todo lo largo del periodo de estudio, dentro de los 10 cbar la primera, y en el entorno de los 20 cbar la segunda, indicando con ello su poca o nula contribución al consumo de agua por el cultivo, lo cual conlleva a que estas profundidades no se tuvieran en cuenta al realizar el balance de humedad. De igual modo, en el lado derecho puede notarse que la

TABLA 5. Norma parcial neta promedio, intervalo promedio, número total de riegos y cantidad de agua aplicada como riego (mm) en cada mes del período experimental

Mes	N parcial promedio (m ³ ha ⁻¹)	Intervalo promedio (días)	Nº total de riegos	Total riego mes (mm)	Lluvias total mes (mm)	ETo total mes (mm)
febrero	251.5	2	6	176.0	31.9	98.3
Marzo	271.6	7	4	108.6	48.1	132.3
Abril	167.7	5	6	118.2	5.8	147.5
mayo	162.8	16	4	65.1	310	140.7
junio	0.0	0.0	0.0	0.0	234.3	139.7
julio	250.0		1	25.0	181	145.7
agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	138.3	144.0
septiembre	105.9	25	3	31.8	180.5	127.3
octubre	192.7	18	2	38.5	175.2	107.1
noviembre	189.1	6	2	37.0	50.4	85.4
diciembre	169.8	8	6	66.1	43.5	74.7
enero	84.6	7	4	33.9	2.7	86.4
febrero	87.7	8	3	26.3	60.9	93.7
marzo	119.1	5	7	83.4	4.3	128.1
abril	119.8	5	6	71.9	129.6	143.5
mayo	148.5	8	4	59.4	129.6	152.0
Total	145	8	58	941.2	1726.1	1946.4

profundidad de 30.45 cm muestra poca variación en todo el período y se mantiene dentro del rango de los 20 cbar, indicando también su poca contribución al consumo de agua del cultivo.

Salgado y Cautín (2008, citados por Singh (2020) señalan que la zona radicular del aguacate es superficial y compacta (30-60 cm de profundidad, 2 m de diámetro alrededor del tronco, indica que el pequeño volumen de zona radicular del cultivo limita el suministro adecuado de agua demandado por el árbol durante los períodos de alta demanda evaporativa o en momentos críticos del desarrollo del cultivo (floración, fructificación, desarrollo de la semilla).

Los autores antes citados se refieren a árboles en producción, por lo cual es de esperar que en árboles en fomento el sistema radicular sea menos desarrollado, lo cual explica la poca variación de la tensión de humedad mostrada en la Figura 3 para las profundidades por debajo de los 30 cm.

Crecimiento del cultivo

A partir de posturas de 40 cm de altura, en los 441 días de crecimiento (febrero 15 2020 a mayo 1 de 2021) las plantas de aguacate alcanzaron como promedio una altura de 135.8 cm (D.S +/- 22.9 cm) y un diámetro promedio de 23.5cm (D.S +/- 4.2 cm). El crecimiento promedio diario fue de 0.4 cm día⁻¹, sin embargo, como muestra la Figura 4, este valor no fue constante a todo lo largo del período estudiado.

En el periodo desde la siembra hasta los meses de marzo y mayo fue de 0.57 y 0.7 cm día⁻¹, y descendió bruscamente a 0.2 cm día⁻¹ para el periodo mayo julio, el cual coincide con los mayores valores de lluvia

durante todo el ciclo estudiado. Como muestra la Figura 3c, la tensión de humedad del suelo en este periodo, a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm se mantuvo casi siempre en valores de 0, lo cual indica que el suelo se mantuvo casi a valores de humedad a saturación.

Ferreya et al. (2011) señalan que en la mayoría de las especies vegetales el contenido de aire en la zona de las raíces debe ser del superior al 10% del volumen total de suelo, mientras que en el aguacate se estima que el límite adecuado para el desarrollo de las raíces se encuentra alrededor del 30%. Las propiedades del suelo donde se desarrolló el trabajo, mostradas en la Tabla 2, indican que a capacidad de campo, para la profundidad de 0-30 cm, el suelo tiene una porosidad promedio de 14.5. Si asumimos que todos estos poros estarían llenos de aire, aun se encontrarían por debajo del límite indicado por Ferreya et al. (2011), por lo que al mantenerse el suelo casi todo el tiempo en un valor de tensión de humedad del suelo de 0 podría haber sido la causa de la disminución de la tasa de crecimiento para ese periodo. Al disminuir los valores de las lluvias, desde agosto hasta octubre, con menores periodos de tiempo a tensión 0, se incrementó la tasa de crecimiento, disminuyendo luego en el período de noviembre a abril donde ocurre la época más fría del año, que como se puede observar en la figura 1 se registraron valores promedios por debajo de los 20°C.

Consumo de agua y coeficientes de cultivo

El consumo de agua para el ciclo total estudiado fue de 946. 2 mm, lo que arroja un consumo promedio de 2.14 mm días⁻¹, el cual varió entre 2.3 (noviembre-abril) y 4.6 (junio-agosto).

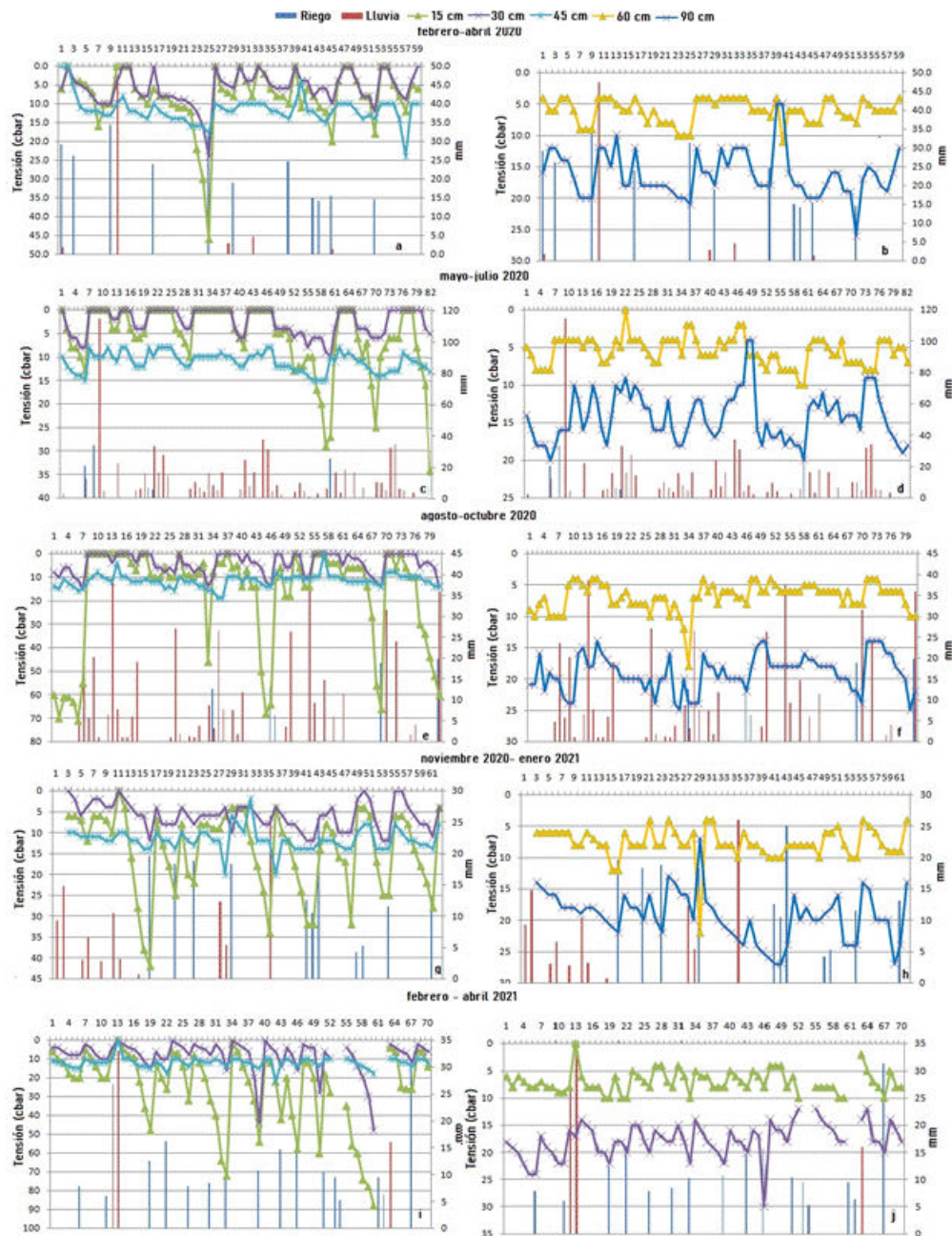


FIGURA 3. Comportamiento de la tensión de Humedad del suelo a diferentes profundidades.

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por la transpiración del cultivo (Allen *et al.*, 2006). En condiciones iniciales de crecimiento del cultivo, con el suelo mayormente desnudo y una provisión suficiente de agua, como las imperantes en los meses de febrero a abril en este trabajo, la evaporación puede ser el proceso dominante y obtenerse una alta tasa de ETC aun cuando la transpiración del cultivo no sea significativa por su escaso desarrollo.

Una situación similar se muestra en la Figura 5, donde en el mes de marzo con las plantas aun en establecimiento y una altura no mayor de 30 cm se alcanza una ETC diaria de casi 5 mm.

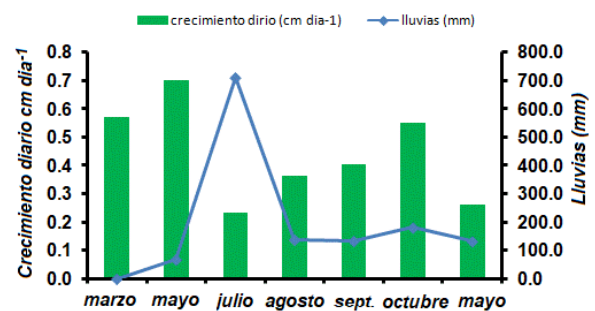


FIGURA 4. Crecimiento promedio diario en varios períodos y lluvia caída.

No obstante, la alta dispersión diaria a partir de marzo, durante los meses de abril a mayo (decenas 6 a

la 9), se mantiene una relativa estabilidad en los valores diarios de ETc con promedios de 1.8 mm. A partir de julio los valores aumentan hasta obtener un máximo en septiembre de casi 4 mm y una media para los meses de julio a septiembre (los más cálidos del año) de 2.5 mm, desde el mes de octubre en adelante los valores comienzan a disminuir con un mínimo en diciembre de 1.4 y un promedio para el periodo noviembre-abril de 1.96 y comenzar a ascender de nuevo en mayo.

El consumo en aguacates en establecimiento ha sido poco estudiado, [Lahav et al. \(2013\)](#), en clima mediterráneo, señalan valores de 8 litros plantas día para aguacates de un año, lo que equivaldría para una plantación de 400 árboles por hectárea, como la utilizada en el trabajo de los autores antes citados, a un consumo de 0.32 mm día⁻¹.

Por su parte, [Kaneko \(2016\)](#) en Nueva Zelanda, obtuvo valores de consumo diario 1.34 y 0.41 mm día⁻¹ para el mes más cálido y más frío del año, respectivamente. En etapa de vivero, [Echeverría y Mercado \(2021\)](#) obtuvieron los mejores valores de calidad de las plantas cuando aplicaron dosis de riego de 3.6 mm día⁻¹, mientras que [Mazhawa et al. \(2018\)](#), en aguacate de cuatro años de la variedad Hass, en Sudáfrica, obtuvo valores promedios de 3.98 y 1.64 en verano e invierno, respectivamente.

La [Figura 6](#) muestra los valores decenales y mensuales de los coeficientes de cultivo (Kc) para el aguacate cv Govin en desarrollo. Como puede observarse en la figura, hay una gran dispersión en los valores decenales con los menores valores de 0.26 (1ra decena de junio) y el mayor de 1.18 en la tercera decena de noviembre. Desde el inicio de la plantación, hasta la tercera decena de mayo hay un decrecimiento en el Kc, lo cual se corresponde con el decrecimiento en el consumo decenal para este periodo mostrado anteriormente en la [Figura 5](#). A partir de este momento, Kc aumenta ([Figura 6](#)) para alcanzar su mayor valor en la primera decena de noviembre, pero más relacionado con un menor valor de la ETo y no con un aumento en el consumo como puede observarse en la [figura 5](#).

Debido a los grandes cambios diarios en ETo, causados en gran medida por las condiciones ambientales fluctuantes, es posible obtener valores más significativos para el manejo del riego en un cultivo de aguacate en establecimiento mediante el

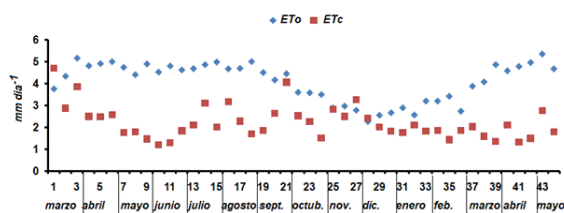


FIGURA 5. Valores promedios diarios de evapotranspiración y evapotranspiración del cultivo de aguacate cv Govin (período marzo 2020-mayo 2021).

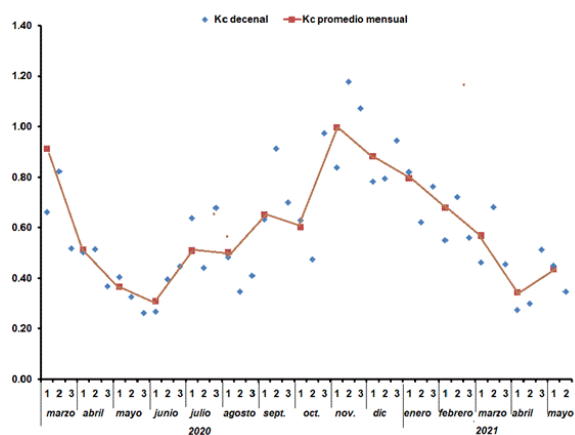


FIGURA 6. Valores decenales y promedios mensuales de los coeficientes Kc para el aguacate cv Govin en desarrollo.

cálculo estacional promedios ([Tabla 6](#)). En la tabla puede observarse que la ETo media diaria en la temporada lluviosa (verano) fue de 4.49 mm día⁻¹, mientras que en la temporada poco lluviosa (invierno) la ETo media diaria fue de 3.72 mm día⁻¹.

Por su parte, la ETc obtuvo valores de 2.12 y 1.79 mm día⁻¹ para las temporadas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente. Estas diferencias en el consumo siguieron el mismo patrón que las diferencias en la ETo entre épocas, de ahí que los coeficientes de cultivo tengan similares valores.

Aunque con valores diferentes de Kc, [Kaneko \(2016\)](#) obtuvo relaciones similares en plantas jóvenes de aguacate cv Hass, con valores de Kc entre 0.25-0.30 en verano y de 0.55 en invierno, lo cual atribuyó, al igual que en este trabajo al decline de la ETo en la estación más fría.

TABLA 6. Valores estacionales de ETo, ETc y coeficientes de cultivo en aguacate cv Govin en establecimiento

	Periodo lluvioso Mayo-Octubre	Periodo poco lluvioso noviembre abril	Promedio
ETc (mm día ⁻¹)	2.12	1.79	1.95
ETo (mm día ⁻¹)	4.49	3.72	4.1
Kc	0.47	0.48	0.48
Temp max °C	31.8	29.3	30.6
Temp min °C	23.2	19.0	21.1

CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye la primera información sobre el consumo de agua y los Kc de plantaciones de aguacate en Cuba, los resultados del mismo, aunque limitados a plantaciones en fomento y al cv. Govin, pueden constituir un índice para determinación de la demanda de agua del cultivo y la planificación del riego en la fase de establecimiento.

Teniendo en cuenta la alta demanda de agua que se atribuye al cultivo del aguacate y su efecto en la producción reconocido por la literatura internacional y la poca información sobre este tema en el cultivo en Cuba, es necesario continuar las investigaciones sobre el mismo donde se incluyan plantaciones en producción y otros cultivares.

A lo largo del periodo experimental, el potencial de agua en el suelo por debajo de los 0.45 m se mantuvo casi constante, indicando con ello que el consumo de agua del cultivo se mantuvo en la profundidad de 0-0.3 m. Al establecer un límite de potencial de humedad en el suelo para el riego de -20 cb, en los meses de la estación poco lluviosa el intervalo promedio de riego fue de 6 días, y el consumo promedio diario fue de 1.79 mm día⁻¹, mientras que en los meses de la estación lluviosa, se aplicaron como promedio 2 riegos mensuales a pesar de ocurrir un promedio de precipitaciones de 203.2 mm mes⁻¹, pero distribuidos aleatoriamente, lo que determinó que en ocasiones se arribara a los valores de potencial del suelo que demandaron riego. El consumo diario promedio para esta estación fue de 2.12 mm día⁻¹.

Durante el periodo experimental, el consumo de agua del cultivo se mantuvo en la profundidad de 0-0,3 m. En los meses de la estación poco lluviosa el intervalo promedio de riego fue de 6 días, y el consumo promedio diario fue de 1,79 mm día⁻¹, mientras que en los meses de la estación lluviosa, se aplicaron como promedio dos riegos mensuales con un consumo diario promedio de 2,12 mm día⁻¹.

La plantación mantuvo un ritmo promedio de crecimiento diario de 0,4 cm día⁻¹, pero en el periodo junio-julio disminuyó a 0,2 cm día⁻¹ cuando el potencial de humedad del suelo se mantuvo en 0, lo que enfatiza el hecho de la alta sensibilidad del cultivo al exceso de humedad del suelo.

Los coeficientes únicos de cultivo decenales tuvieron una alta variación en correspondencia con el desarrollo de las plantas y las variaciones en la ETo, con valores entre 1,18 y 0,26 mm día⁻¹, se calcularon los valores promedios para la estación lluviosa y poco lluviosa, siendo estos de 0,47 y 0,48 respectivamente.

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", *FAO*, 298: 0, 2006.

CAÑIZARES, Z.J.: *Los aguacateros*, Ed. Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba, 1973.

CARR, M.: "The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): a review", *Experimental Agriculture*, 49(2): 256-278, 2013, ISSN: 0014-4797, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479712001317>.

CARRILLO, O.: *Estudio de diferentes métodos para determinar el momento de riego*, Inst. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Informe de divulgación interna, La Habana, Cuba, 31 p., 1980.

ECHEVERRÍA, P.R.; MERCADO, F.T.: "Requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en los Montes de María, Sucre, norte de Colombia", *Idesia (Arica)*, 39(2): 91-100, 2021, ISSN: 0718-3429.

FERREYRA, E.; SELLES, G.: *Manejo del riego y suelo en palto, [en línea]*, no. 160, Inst. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Gabriel (eds.), Santiago de Chile, Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no.160, 2007, Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.4001/7110>.

FERREYRA, E.; SELLÉS, V.; GIL, P.: *Asfixia radicular en huertos de palto: Manejo del riego y suelo*, Inst. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones la Cruz, La Cruz., Chile, 54 p., Boletín INIA N° 231, ISSN 0717-4829, 2011.

FERREYRA, R.; SELLER, G.: "Aguacate. En Respuesta del Rendimiento de los Cultivos al Agua.", *Estudio FAO Riego y Drenaje N° 66*, : 442-447, En :Esteduto P., T.C., Hsiao; E Fereres y D. Raes edit., Estudio FAO Riego y Drenaje N° 66. I, Roma, Italia, 2012, ISSN: 02554-5284.

FINTRAC, U.: *Advocado Production Manual (Persea americana L)*, [en línea], 2019, Disponible en: https://fintracu.fintrac.com/sites/default/files/tech_manuals/Fintrac%20U_Avocado%20Production%20Manual.pdf.

HERRERA, P.; CID, G.; LLANOS, M.: "Relaciones Tensión-Humedad en algunos suelos de Cuba", *Suelo y Agua*, 1986.

HERRERA-PUEBLA, J.; TEJEDA-MARRERO, V.; RIVEROL-MARRERO, L.H.; CISNEROS-ZAYAS, E.; CUN-GONZÁLEZ, R.; SARMIENTO-GARCÍA, O.: "Riego localizado mediante tuberías porosas", *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(3): 3-9, 2020, ISSN: 2306-1545.

HOLZAPFEL, E.; DE SOUZA, J.A.; JARA, J.; GUERRA, C.H.: "Responses of avocado production to variation in irrigation levels", *Irrigation science*, 35(3): 205-215, 2017, ISSN: 1432-1319.

- IAGRIC-CUBA: *Evaluación de la tubería porosa VISAREG en el riego de los cultivos de mango y aguacate*, Inst. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. IAgriC, La Habana, Cuba, DIRECCIÓN DE PRUEBA, VALIDACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, La Habana, septiembre 2021., 2021.
- IIFT-CUBA: *Instructivo Técnico del Cultivo de Aguacate*, Ed. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical IIFT, La Habana, Cuba, 40 p., Biblioteca ACTAF, 1ra edición 40 pp, 2011.
- IIFT-CUBA: *Los frutales en la soberanía alimentaria y nutrición de Cuba.*, Inst. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, IIFT, La Habana, Cuba, 2021.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA-CUBA: *Boletín Agro meteorológico Nacional. Volumen 39 N° 1 al 36.*, Inst. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, Boletín Agro meteorológico Nacional. Volumen 39 N° 1 al 36, 2020.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA-CUBA: *Boletín Agro meteorológico Nacional. Volumen 40 N° 1 al 13*, Inst. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 2021.
- JIMÉNEZ, R.; PARRA, C.; PEDRERA, B.; HERNÁNDEZ, L.; BLANCO, M.; MARTÍNEZ, F.; ÁLVAREZ, J.: *Manual práctico para el cultivo del aguacate en Cuba*, Inst. Unidad Científico Tecnológica de Base de Alquizar. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, La Habana, Cuba, 2005.
- JIMÉNEZ, R.; PÉREZ, F.; ZAMORA, D.; VELÁZQUEZ, J.B.: “Cristian-Vanessa un cultivar de aguacate tardío para las condiciones de Cuba”, *Agrisost*, 21(3): 10-28, 2015, ISSN: 1025-0247, Disponible en: <http://www.agrisost.reduc.edu.cu>.
- KANEKO, T.: “Water requirements for ‘Hass’ avocado flowering and fruit development in New Zealand”, 2016.
- LAHAV, E.; WHILEY, A.; TURNER, D.: “11 Irrigation and Mineral Nutrition”, *The avocado: botany, production and uses*, : 301, 2013, ISSN: 1845937015.
- MAZHAWU, E.; CLULOW, A.; SAVAG, M.J.; TAYLOR, N.J.: *Water use of avocado orchards - Year*, [en línea], Inst. 1SOUTH AFRICAN AVOCADO GROWERS’ ASSOCIATION YEARBOOK, South Africa, 41 p., 2018, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/339676731>.
- NC 110: *Calidad del suelo. Determinación de la humedad del suelo. Método gravimétrico*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2001.
- NC 1048: *Calidad del agua para preservar el suelo—Especificaciones*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2014.
- PIZARRO-CABELLO, F.: “Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF)”, *Goteo Microaspersión*, 1990.
- PORITEX: *Riego localizado por exudación*, [en línea], Inst. Poritex, México, 2014, Disponible en: <http://riegoexudanteporitex.mex>.
- PORITEX: *Riego textil exudante poritex. Cálculos hidráulicos e instalación. Parques y jardines “césped, arbustos y árboles”*, [en línea], Chile, 2020, Disponible en: <http://riegoexudante.zp.cl>.
- SINGH, L.: *Advocado Irrigation Literature Review*, [en línea], 2020, Disponible en: <https://avocado.org.au/wp-content/uploads/2021/04/2020-Irrigation-Literature-Review-FINAL-Liz-Singh-AL.pdf>.
- VISA REG: *Sistema de riego por Exudación. Manual Técnico Práctico*, [en línea], Ed. VisaREg, Barcelona, España, Manual Técnico Práctico, 2019, Disponible en: www.visareg.es.

Victor Manuel Tejeda-Marrero, Inv., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353.

Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: julian.herrera@boyeros.iagric.cu.

Orlando Sarmiento-García, Técnico, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: orlando.sarmiento@boyeros.iagric.cu.

Karell Cruz-Cruz, Ing. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: karell.cruz@iagric.minag.gob.cu.

Yoima Chaterlán-Durruthy, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: V. Tejera and J. Herrera. **Data curation:** V. Tejera and J. Herrera. **Formal analysis:** V. Tejera, J.Herrera and . O. Sarmiento **Investigation:** V.Tejera, O, Sarmiento, J. Herrera, K. Cruz and Yoima Chaterlan. **Methodology:** V. Tejera, J.Herrera and O. Sarmiento. **Supervision:** V.Tejera, J. Herrera., Yoima Chaterlan. **Roles/Writing, original draft:** V. Tejera and J. Herrera. **Writing, review & editing:** V. Tejera, J.Herrera

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

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.