

Predicción a futuro de las normas netas de riego del cafeto en diferentes escenarios productivos

Future Prediction of Net Irrigation Requirements for Coffee Trees under Different Production Scenarios

 Enrique Cisneros-Zayas*,  Carmen Duarte-Díaz,  Felicita González-Robaina,  Julián Herrera-Puebla,  Yoima Chaterlán-Duruthy,  Reinaldo Cun-González and  Víctor Manuel Tejeda-Marrero

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

E-mail: carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu, felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu, julian.herrera@iagric.minag.gob.cu, yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu, reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu, victor.tejeda@iagric.minag.gob.cu

*Autor para la correspondencia: Enrique Cisneros-Zayas,
e-mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu o cisneroszayasenrique@gmail.com

RESUMEN: El trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar a futuro las normas netas totales de riego del cafeto según la variabilidad climática en diferentes zonas productoras del grano en Cuba. Para ello fueron seleccionados sitios representativos donde se cultiva el cafeto en los cuatro macizos montañosos de Cuba. Se tomaron los datos climáticos del modelo PRECIS en el escenario climático RCPs 4.5, recomendado por el Instituto de Meteorología de Cuba para evaluar el manejo del agua en función de las regiones climáticas y cultivos como el cafeto. Para la estimación de las normas de riego a mediano plazo (2050), en función de los pronósticos de variabilidad climática se utilizó el programa de modelación CROPWAT 8.0. Por último, se compararon las normas de riego obtenidas con las que aparecen en la *Resolución 17/2020* del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Las estimaciones de las normas netas totales de riego para el cafeto según la variabilidad climática en los próximos años para los sitios de estudio indican que habrá un incremento de las mismas entre un 8,8 % en La Palma, que equivalen a 8 447,0 m³·ha⁻¹ y un 40,5 % en Palenque de Yateras (8 793,0 m³·ha⁻¹). Las mayores diferencias entre las normas netas totales y las normas netas reducidas para el escenario RCP 4.5 se tienen en la región occidental y central las que varían entre 48 % y 78 %, siendo menores para la región oriental donde están en el rango de 17 % a 51 %. Al comparar las obtenidas con las de la resolución 17/2020, estas son superiores entre un 8,8 % y 40,5 % lo que indica que habrá una fuerte presión sobre los recursos hídricos en las zonas cafetaleras estudiadas.

Palabras clave: cambio climático, estimación, necesidades hídricas, modelo PRECIS.

ABSTRACT: This study aimed to estimate the future net irrigation requirements of coffee trees based on climate variability across different coffee-growing regions in Cuba. Representative sites were selected in the four main mountainous regions of the country where coffee is cultivated. Climate data from the PRECIS model under the RCP 4.5 climate scenario-recommended by the Cuban Institute of Meteorology-were used to evaluate water management needs in each region and crop. The CROPWAT 8.0 modeling program was applied to estimate irrigation requirements for the medium term (2050), based on forecasted climate variability. The obtained results were then compared to the values established in Resolution 17/2020 of the National Institute of Hydraulic Resources. The total net irrigation requirements estimated for coffee trees under future climate conditions indicate an increase ranging from 8.8% in La Palma (equivalent to 8,447.0 m³·ha⁻¹) to 40.5% in Palenque de Yateras (8,793.0 m³·ha⁻¹). The largest differences between total net and reduced irrigation requirements under the RCP 4.5 scenario were found in the western and central regions (48% to 78%), while smaller differences were observed in the eastern region (17% to 51%). A comparison with the values from Resolution 17/2020 shows that future irrigation requirements are between 8.8% and 40.5% higher, indicating increased pressure on water resources in the studied coffee-growing areas.

Keywords: Climate Change, Estimation, Water Requirements, PRECIS Model.

Recibido: 25/01/2025

Aceptado: 10/07/2025

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

Contribuciones de los autores: **Conceptualización:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González. **Curación de datos:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González. **Análisis formal:** E. Cisneros, C. Duarte, J. Herrera. **Investigación:** E. Cisneros, C. Duarte, F. González, Y. Chaterlán. **Metodología:** E. Cisneros, C. Duarte, R. Cun, J. Herrera, V. Tejeda. **Software:** E. Cisneros, C. Duarte, R. Cun. **Supervisión:** E. Cisneros, J. Herrera, V. Tejeda. **Validación:** E. Cisneros C. Duarte, F. González, R. Cun. **Redacción-borrador original:** E. Cisneros F. González, C. Duarte, J. Herrera. **Escritura-revisión y edición:** E. Cisneros F. González, C. Duarte, J. Herrera Y. Chaterlán, V. Tejeda.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El cultivo del café se extiende por varios países tropicales y sustenta económicamente parte de la población mundial. Se considera uno de los productos agrícolas de mayor peso en el mercado mundial [Vasallo et al. \(2020\)](#), siendo, además, la bebida de mayor comercio en el mundo y la segunda más consumida después del agua y por estas razones se ha convertido en un producto de primera necesidad para muchas personas alrededor del planeta [\(Rojas, 2018\)](#).

En el caso de Cuba, la producción cafetalera se concentra en las provincias de Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus y con un marcado desarrollo en la región oriental del país, con los volúmenes más representativos en las provincias de Santiago de Cuba, Guantánamo, Granma y Holguín [\(García et al., 2013\)](#).

El riego constituye un factor decisivo en la agricultura para obtener un adecuado rendimiento, por tanto, se requiere incidir en una buena producción que contribuya a la seguridad y soberanía alimentaria de la población [\(Baltazar y Chipana, 2016\)](#).

Según [Nelson et al. \(2009\)](#) la agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático, el aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos, esto unido a los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas y en ese sentido se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial.

Para analizar los diferentes impactos del cambio climático y debido a la alta incertidumbre respecto a las condiciones climáticas futuras, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC \(2023\)](#) aconseja trabajar con “escenarios”, los cuales son descripciones coherentes y consistentes de cómo el sistema climático de la Tierra puede cambiar en el futuro.

Entre las diferentes publicaciones del IPCC se define a los escenarios como Rutas de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) que proveen un rango de emisión y concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que permite la exploración de los posibles parámetros climáticos futuros de una forma más amplia que las utilizadas en el pasado.

Cabe reiterar que los RCPs no son predicciones ni recomendaciones políticas, sin embargo, han sido elegidos para describir posibles escenarios futuros. Son definidos según la intensidad de radiación para 2100, donde las estimaciones para la forzante radiactiva están basadas en las emisiones de GEI.

Estos escenarios del “posible clima futuro”, son derivados de escenarios de las posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas [\(Cortés et al., 2013\)](#).

Todas las simulaciones se llevan a cabo globalmente en una cuadrícula de 0,5°, que cubre el período de tiempo 1850-2100 y se evalúan los resultados en función del CO₂

atmosférico transitorio. Se hacen suposiciones de gestión temporalmente constantes, centrándose en el efecto aislado del cambio climático en los sistemas de producción de cultivos actuales [\(Jägermeyr et al., 2021\)](#).

Con el desarrollo y popularización de computadoras se proporcionan herramientas para almacenar grandes volúmenes de datos y realizar cálculos numerosos en los sistemas de producción agrícola en escenarios de manejo diferentes y condiciones climáticas contrastantes [\(Flores et al., 2013\)](#).

En estudios recientes, [Camejo et al. \(2016\)](#) y [Díaz et al. \(2016\)](#) utilizaron el modelo CropWat para el cálculo de los requerimientos de agua y las programaciones de riego con resultados viables. En este contexto, CropWat se presenta como una herramienta con potencialidades para determinar normas de riego, por lo que se pretende con el presente trabajo estimar a futuro las normas netas totales de riego del café según la variabilidad climática en diferentes zonas productoras del grano en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la selección de los sitios cafetaleros dentro de los macizos montañosos de Cuba donde se desarrolla el cultivo (Sierra de los Órganos, Guamuhaya, Sagua-Nipe-Baracoa y Sierra Maestra) [\(Figura 1\)](#), que sean representativos para la definición de las necesidades de riego a futuro, se consultó al director general de Café, Cacao y Coco, perteneciente al Grupo Agroforetal (GAF) del Ministerio de la Agricultura de Cuba (Minag) [\(Legrá, 2022\)](#).

En el procesamiento de las variables climáticas que intervienen en el ajuste de escenarios climáticos recomendados por el INSMET se evaluó cada sistema para verificar cual será más restrictivo para el manejo del agua y en función de las diferentes regiones climáticas para el cultivo del café y por último en el completamiento de la información necesaria para la entrada de datos en cada una de las ventanas del programa CROPWAT versión 8.0, para su posterior corrida en la predicción a futuro de las necesidades hídrica del cultivo.

Dentro de los macizos montañosos fueron seleccionados los siguientes sitios [\(Tabla 1\)](#):

Tabla 1. Sitios seleccionados para el estudio de necesidades hídricas a futuro del café.

Provincia	Sitio	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)
		Norte	Oeste	
Pinar del Río	La Palma	22° 74' 89"	-83° 55' 36"	150.0
Villa Clara	Jibacoa	22° 01' 94"	-79° 99' 19"	388.0
Granma	Guisa	20° 26' 14"	-76° 54' 97"	255.0
Stgo de Cuba	Cruce de los Baños	20° 13' 02"	-76° 32' 41"	189.0
Guantánamo	El Salvador	20° 15' 39"	-75° 13' 43"	102.0
Guantánamo	Palenque de Yateras	20° 36' 94"	-74° 97' 00"	423.0



Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio.

Para el estudio se tomó una serie de 36 años que comprende del 2015 - 2050 del modelo regional PRESIS, para el escenario RCP 4.5 en rejillas con una resolución de 25 x 25 km. Se tomaron las variables: temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación, que representa el clima futuro para los sitios de estudio. Las necesidades hídricas del café serán calculadas haciendo énfasis en los años hidrológicos húmedos, medio y seco. Para la selección de los años se determinó la probabilidad empírica a partir de la expresión:

$$P = \left(\frac{m-0,3}{n+0,4} \right) \cdot 100$$

donde: m: número de orden, n: número de miembros de la serie.

Se clasificaron cada uno de los años de la serie en función de su probabilidad. Los escenarios de probabilidad son del 25 % húmedo, el 50 % medio y 75 % seco, según Pérez y Álvarez (2005).

Los suelos cafetaleros en las regiones montañosas de Cuba se identificaron de acuerdo a la última Clasificación de Suelos establecida en el país Hernández-Jiménez et al. (1999), y su correlación Hernández et al. (2005) con la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (IS-Cuba, 1980). Una vez identificados se tomaron las propiedades hidrofísicas de los mismos a partir de lo informado por Cid et al. (2012) (Tabla 2).

Tabla 2. Correspondencia entre los suelos cafetaleros y los propuestos por Cid et al. (2012) a partir de su funcionamiento hidrofísico

Provincia	Sitio	Suelos
Pinar del Río	La Palma	Alítico amarillento de alta actividad arcillosa típica
Villa Clara	Jibacoa	Alítico amarillento de baja actividad arcillosa típico
Granma	Guisa	Fersialítico pardo rojizo mullido
Santiago de Cuba	Cruce de los Baños	Alítico amarillento de alta actividad arcillosa típico
Guantánamo	El Salvador	Fersialítico pardo rojizo mullido
Guantánamo	Palenque de Yateras	Fersialítico pardo rojizo mullido

Una vez procesada la información se confeccionó la Tabla 3 con los datos de entrada del suelo al programa CropWat.

Las fases de desarrollo fueron tomadas de Cisneros-Zayas et al. (2015) (Tabla 4).

Criterios de riego para las normas totales

Los criterios de riego para las normas totales son los siguientes: Momento de riego: regar hasta el nivel de agotamiento permisible. Aplicación del riego: aplicar hasta la capacidad de campo. Eficiencia del riego: 85 %. Sistema de riego: Localizado. Fracción de agotamiento permisible p= 40 %.

Tabla 3. Datos de entrada del suelo en el programa CropWat

Sitio	LSADS o Cc (cm ³ cm ⁻³)	LIADS o PM (cm ³ cm ⁻³)	ATD (mm)	Tasa Infiltración (m día ⁻¹)	Profundidad de raíces (m)
La Palma	0,235	0,127	108,0	2,6	0,40
Jibacoa	0,168	0,091	77,2	6,2	
Guisa	0,333	0,180	153,0	4,9	
Cruce de los Baños	0,290	0,157	133,2	2,6	
El Salvador	0,332	0,179	152,5	1,15	
Palenque de Yateras	0,333	0,180	153,0	4,9	

Leyenda: LSADS: Límite superior del agua disponible en el suelo, Cc: Capacidad de campo; LIADS: Límite inferior del agua disponible en el suelo, PM: punto de marchitez; ATD: Agua total disponible.

Tabla 4. Duración de las fases del cafeto, promedio en días. Región de San Andrés.

No	Fases	Duración	Promedio en días
I	Floración-fructificación	febrero-abril	89
II	Fructificación-desarrollo del fruto	mayo-agosto	123
III	Maduración-cosecha	septiembre - 1ra decena diciembre	101
IV	Cosecha-recuperación	2da decena diciembre-enero	52

Coefficientes de cultivo (K_c): Inicial: 1,01 medio: 1,04 final: 0,49 (Cisneros-Zayas et al., 2015). Factor de sensibilidad (K_y): 0,52. (González-Robaina et al., 2017).

Criterios de riego para las normas reducidas

Los criterios de riego para las normas reducidas son los siguientes: Momento de riego: regar cuando se reduzca la ET por fase. Etapa de desarrollo: 4 %. Etapa media: 4 %. Etapa final: 10 %. Aplicación del riego: aplicar hasta la capacidad de campo. Eficiencia del riego: 85 %. Sistema de riego: Localizado. (Figura 2).

Para la reducción de las normas de riego se tuvieron en cuenta los trabajos realizados en Cuba por Valdés y Vento (1984) y Valdés et al. (1995), quienes ofrecen elementos para afirmar que el cafeto se puede considerar como una especie intermedia entre C3 y C4 debido a cambios anatómicos en el aparato fotosintético foliar, así como por la asimilación de CO_2 . Además, a partir del manejo agronómico del cafeto donde en la fase de floración se provoca un estrés hídrico para inducir y agrupar la floración se decidió hacer las reducciones en la etapa inicial de Floración-fructificación y Cosecha-Recuperación. Se consideró que estas reducciones no provocaran afectación en el rendimiento superior al 3 %.

Se utilizó el programa CROPWAT versión 8.0 para la estimación de las necesidades hídricas del cafeto, según la evapotranspiración del cultivo por fases de desarrollo año a año desde 2015 hasta el 2050. Este software permite gestionar programas de riego tanto en condiciones de secano como de irrigación, por lo que se empleó para determinar la evapotranspiración de referencia por el método de la FAO Penman-Monteith a partir de la utilización de las variables climáticas: la humedad relativa, la temperatura, la velocidad del viento e insolación, así como también la incidencia de las precipitaciones efectivas, según fueron procesados los nuevos escenarios RCP (Trayectoria de Concentración Representativa) para las zonas cafetaleras de Cuba (Centella, 2017).

Las normas estimadas obtenidas fueron comparadas con las aprobadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Resolución 17/2020 (GOC-Cuba, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables climáticas del escenario RCP 4.5 (2020 - 2050) para los sitios de estudios

En la Tabla 5 se muestran los valores promedios de las variables temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones de la serie estudiada 2020-2050 para cada sitio de trabajo. Como se observa la Temperatura máxima (T_{max}) varió entre 26,5 y 33,8 °C, la Temperatura mínima (T_{min}) entre 18,7 y 22,8 °C, Humedad relativa (HR) osciló en el rango de 73,6 y 84,6 %. La velocidad del viento (V_v) lo hizo entre 0,76 y 2,48 $m \cdot s^{-1}$. Por último, la precipitación alcanzó un máximo de 2156,0 mm en Jibacoa, Villa Clara y un mínimo de 1040,94 mm en Cruce de los Baños, Santiago de Cuba.

Cuando analizamos el comportamiento de las variables precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0) para los sitios de estudio se tiene que para la zona occidental

Opciones de CROPWAT

Programación para cultivos que no son el arroz

Criterios de programación para cultivos que no son el arroz

Tiempo de riego

Riego a la ET reducida dada para el cultivo por etapa

Etapa inicial	10 %	Inicio de temporada	4 %
Etapa de desarrollo	4 %	Final de la temporada	10 %

Aplicación del riego

Llevar el suelo hasta la capacidad de campo

Llevar el contenido de humedad del suelo hasta 100% de la capacidad de campo

Eficiencia del Riego

Eficiencia del Riego 85 %

Figura 2. Criterios de riego para normas reducidas.

Tabla 5. Valores promedios de las variables climáticas en la serie 2020-2050 de las diferentes estaciones meteorológicas asociadas a los sitios de estudio.

Sitio	T máx. (°C)	T mín. (°C)	HR (%)	Vv (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)
La Palma	31,17	22,30	75,7	1,49	1 784,92
Jibacoa	26,57	18,71	84,6	2,48	2 156,00
Guisa	33,80	21,23	78,0	1,72	1 256,94
Cruce de los Baños	32,82	20,94	76,5	0,76	1 040,94
El Salvador	33,16	22,98	73,6	1,49	1 060,45
Palenque de Yateras	33,19	22,88	73,6	1,51	1 093,86

y central representada por los sitios La Palma y Jibacoa (Figuras 3a y 3b) la mayoría de los años la lluvia supera a la ET_0 por lo pudiera esperarse que en la programación del riego las normas netas totales serán inferiores a la de otros sitios cafetaleros. En el caso de la región oriental representada por los sitios Guisa, Cruce de los Baños, El

Salvador y Palenque de Yateras (Figuras 3c, 3d, 3e, 3f) la ET_0 supera las precipitaciones lo que indica que en esta zona las normas totales de riego pueden ser superiores. Todos los sitios del escenario RCP 4.5 (Figura 4) muestran un comportamiento similar con lo planteado por autores como Planos (2014) y Centella (2017).



Figura 3. Comportamiento de las variables precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0) para los sitios de estudio.

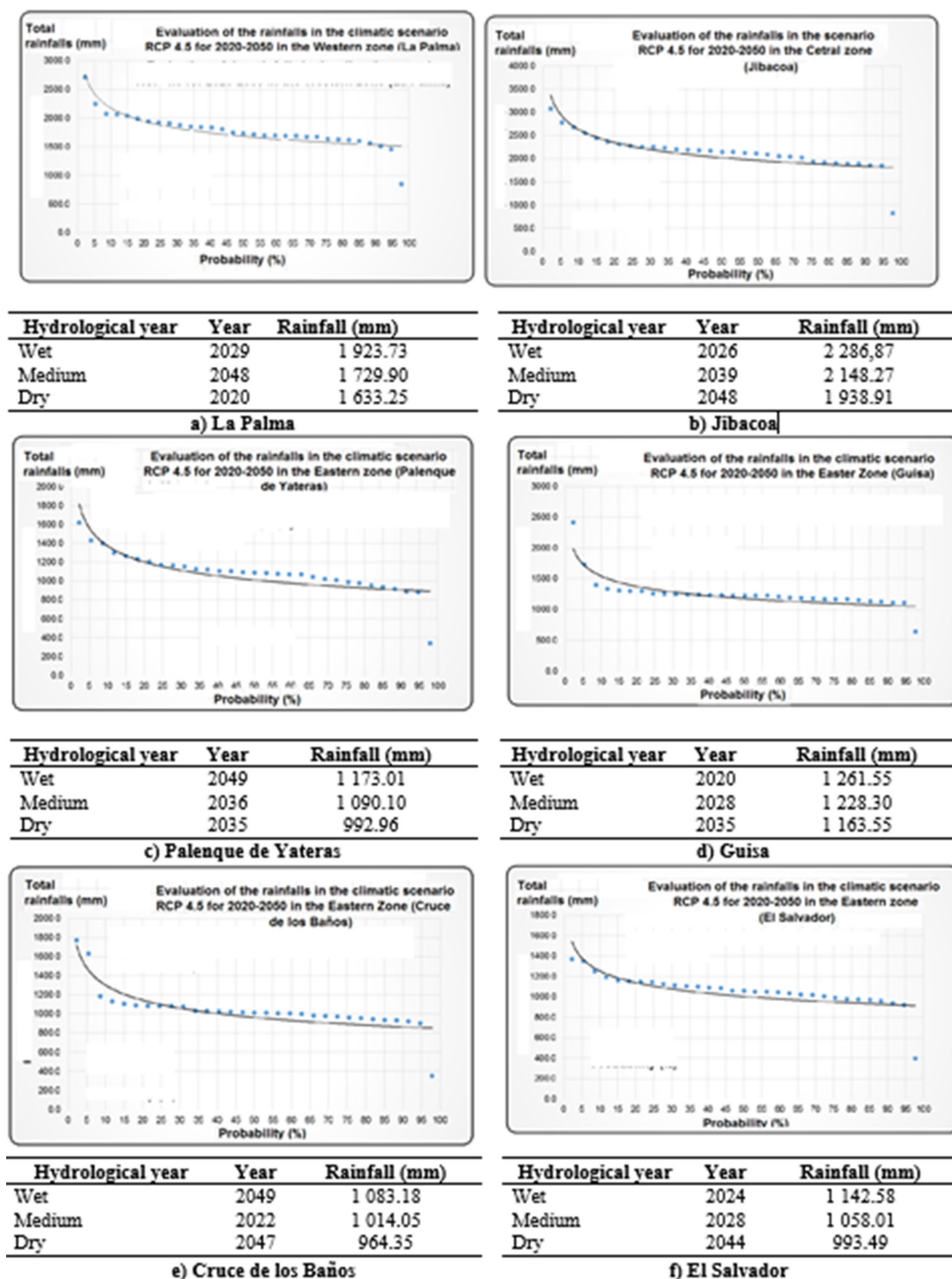


Figura 4. Evaluación de las precipitaciones en los escenarios RCP 4.5 para los sitios de estudio.

Demanda de riego del café para cada sitio estudiado, en función de las probabilidades de ocurrencia de precipitaciones para el escenario climático RCP 4.5

En la **Tabla 6** se puede apreciar cómo se comportó la evapotranspiración del cultivo (ET_c) en función del año hidrológico donde los mayores valores se tienen en el sitio de Guisa para los tres años (húmedo, medio y seco) y los menores el sitio de Jibacoa. La estrategia de riego

obtenida a través de la programación permite garantizar que la reducción en el rendimiento no sea superior al 3 %.

En la misma tabla se muestra que las normas netas totales variaron en función del año, teniéndose valores que van desde los 753,1 mm anuales hasta los 920,5 mm anuales en dependencia del sitio y la altitud. La norma neta total reducidas en correspondencia con los años, estuvo en el rango de 190,5 mm y los 746,1 mm anuales.

Tabla 6. Distribución de la norma neta total, neta parcial y reducida para cada sitio en función del año hidrológico.

Sitio	Probabilidad Precipitación, (%)	ETc (mm)	Norma neta total (mm)		Norma neta parcial (mm)		No de riegos		Reducción Rendimiento, (%)
			SR	CR	SR	CR	SR	CR	
La Palma Pinar del Río	25	1290,0	862,3	190,5	17,25	27,21	50	7	2,5
	50	1378,8	876,1	404,6	18,25	26,97	48	15	2,3
	75	1320,0	844,7	264,6	17,60	26,46	48	10	2,2
Jibacoa Villa Clara	25	1026,6	603,4	214,2	15,47	19,47	39	11	2,2
	50	1078,6	681,4	325,6	14,20	20,35	48	16	2,5
	75	1193,4	863,5	451,8	14,16	21,51	61	21	3,2
Guisa Granma	25	1544,5	857,3	422,5	25,98	38,41	33	11	3,0
	50	1557,6	858,3	575,1	26,01	38,34	33	15	2,6
	75	1563,9	893,3	546,1	26,27	39,01	34	14	2,8
Cruce de Baños Stgo. de Cuba	25	1412,9	775,3	615,7	23,49	32,41	33	19	3,0
	50	1377,2	753,1	504,9	22,82	33,66	33	15	3,1
	75	1435,6	863,7	600,8	22,73	33,38	38	18	3,0
Palenque de Yateras Guantánamo	25	1482,3	826,8	522,2	25,84	37,30	32	14	2,7
	50	1441,6	815,8	569,7	26,32	37,98	31	15	2,8
	75	1481,4	879,3	576,9	26,65	38,46	33	15	2,7
El Salvador Guantánamo	25	1415,6	886,6	702,0	26,08	36,95	34	19	3,2
	50	1426,5	920,5	740,3	26,30	37,02	35	20	3,1
	75	1489,0	895,0	746,1	26,32	37,31	34	20	3,3

Leyenda: SR: Sin reducción; CR: Con Reducción

La norma neta parcial alcanzó valores que van desde 14,2 mm ($142 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a 26,6 mm ($266,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) valores muy similares a los obtenidos por Cisneros *et al.* (2006) regando el café en la zona de San Andrés, Pinar del Río con sistema de riego localizado con micro aspersión bajo el principio de cobertura total.

En lo que respecta al comportamiento de las normas netas totales por zonas se aprecia que éstas varían en función del balance hídrico de la región, pues según el escenario climático RCP 4.5 para las regiones occidental y central en la mayoría de los años la precipitación supera la evapotranspiración de referencia y por tanto la diferencia entre las normas totales y las reducidas difieren

entre 48 y 78 % (Figura 5). Sin embargo, para la región oriental donde el balance la Evapotranspiración de referencia supera a las precipitaciones, la diferencia entre las normas oscila en el rango de 17 y 51 %. Dicho comportamiento es normal teniendo en cuenta que en la región occidental gran cantidad de la demanda hídrica del café se cubre con las precipitaciones no ocurriendo lo mismo en la región oriental.

En cuanto a las cantidades de riegos (Figura 6), se tiene que existe similar comportamiento. En las regiones occidental y central las diferencias entre la variante de norma completa en comparación con las normas reducidas, los mismos varían entre 39 y 61,

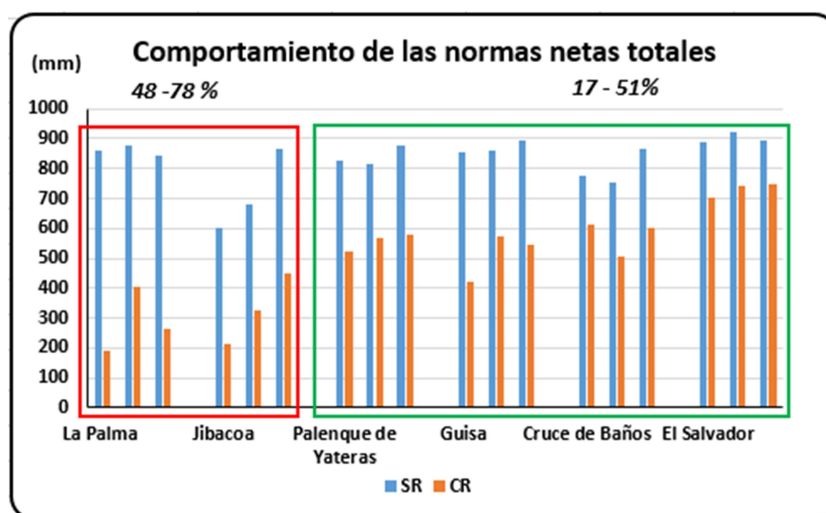


Figura 5. Distribución de la demanda hídrica por sitios de estudio.

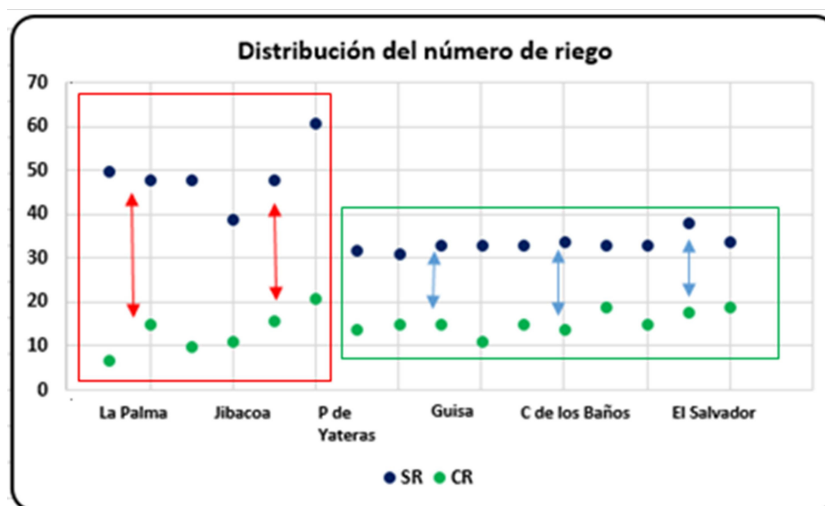


Figura 6. Diferencias en cuanto al número de riegos por sitios de estudio.

con normas reducidas oscilan en el rango de 7 y 21 riegos. Efectuando similar análisis para la región oriental se tiene que esta amplitud se reduce teniendo valores para normas totales de 31 y 38 riegos. Para las normas reducidas estos van desde 11 hasta 20 riegos, lo que significa un 56 % inferior con respecto a los de la región occidental y central como promedio.

Estudio de las normas netas totales y reducidas obtenidas con la programación del riego mediante el programa CropWat y la Resolución 17/2020 del INRH

En la [Tabla 7](#) se puede observar las normas netas totales aprobadas por el INRH en la [Resolución 17/2020 GOC-Cuba, \(2020\)](#) y las estimadas a través del programa *CropWat*. Para el sitio La Palma en los tres años hidrológicos las estimadas superan a la actual en porcentajes que varían entre 8,8 y 12, por lo que en el futuro para el escenario RCP 4.5 el café necesitará normas superiores a la actual para satisfacer las necesidades hídricas.

En la región central, representada por el sitio de Jibacoa en los años húmedo y medio las normas netas obtenidas a través de las corridas en el *CropWat* son inferiores a las actuales, sobre estimándose las aprobadas en la [Resolución 17/2020](#) entre un 25 y 15,3 % respectivamente. No ocurriendo lo mismo para el año seco donde supera a la actual en un 7,3 %.

En Palenque de Yateras es donde se predicen los mayores incrementos de las normas netas totales variando entre el 32,1 % para el año húmedo y 40,5 % para el año seco, en este sitio es necesario prestar especial atención en el manejo de los recursos hídricos a futuro, si se desea garantizar una producción de café de buena calidad teniendo en consideración el peso de los rendimientos de este sitio en la economía cafetalera cubana.

En los sitios Guisa y Cruce de los Baños es donde se tienen los menores incrementos en las normas netas a futuro, las que solo superan a las actuales entre un 4 y 8,4 %

en Guisa. En Cruce de los Baños se sobre estima la actual con respecto al futuro en un 1,4 % para el año húmedo y 4,2 % para el año seco.

Por último, en el sitio El Salvador los incrementos de las normas netas estimadas por el programa *CropWat* en comparación con las actuales varían entre 12,3 y 16,6 %.

Cuando comparamos la precipitación en este sitio con respecto a los demás se tiene que es de los lugares donde menos llueve con valor de 993,49 mm.

En sentido general para ninguno de los sitios estudiados la norma neta total estimada a futuro superan en más de un 50 % a las actuales, por lo que se pueden considerar como normales si se tiene en cuenta que para la mayoría de los escenarios según [Planos \(2014\)](#) y [Cortés et al. \(2013\)](#) tienden a una reducción importante de las precipitaciones y a un incremento significativo de la temperatura media del aire, variables climáticas que influyen directamente en el consumo de agua por los cultivos y por tanto al incremento de las normas de riego.

CONCLUSIONES

- La estimación de las normas netas totales de riego para el café según la variabilidad climática en los próximos años para los sitios de estudio indica que habrá un incremento que van desde 8 447,0 m³·ha⁻¹ en La Palma (Pinar del Río) hasta 8 793,0 m³·ha⁻¹ en Palenque de Yateras (Guantánamo).
- Las mayores diferencias entre las normas netas totales y las normas netas reducidas para el escenario RCP 4.5 se tienen en la región occidental y central las que varían entre 48 y 78 %, siendo menores para la región oriental donde están en el rango de 17 a 51 %.
- Al comparar las normas netas totales estimadas con las aprobadas en la Resolución 17/2020, estas son superiores entre un 8,8 y 40,5 % lo que indica que habrá una fuerte presión sobre los recursos hídricos en las zonas cafetaleras estudiadas.

Tabla 7. Comparación entre la norma neta total estimada y la aprobada en la Resolución 17/2020 del INRH (GOC-Cuba, 2020)

Sitio	Probabilidad de precipitaciones (%)	Norma neta total estimada CROPWAT (mm)		Norma neta Total INRH (mm)	Diferencia	
		SR	CR		SR	% de incremento
La Palma Pinar del Río	25	862,3	190,5	770,6	91,7	10,6
	50	876,1	404,6		105,5	12,0
	75	844,7	264,6		74,1	8,8
Jibacoa Villa Clara	25	603,4	214,2	804,9	-201,5	0
	50	681,4	325,6		-123,5	0
	75	863,5	451,8		58,6	7,3
Guisa Granma	25	857,3	422,5	823,8	33,5	4,0
	50	858,3	575,1		34,5	4,2
	75	893,3	546,1		69,5	8,4
Cruce de Baños Stgo. de Cuba	25	775,3	615,7	786,0	-10,7	0
	50	753,1	504,9		-32,9	0
	75	863,7	600,8		77,7	9,9
Palenque de Yateras Guantánamo	25	826,8	522,2	626,0	200,8	32,1
	50	815,8	569,7		189,8	30,3
	75	879,3	576,9		253,3	40,5
El Salvador Guantánamo	25	886,6	702,0	789,5	97,1	12,3
	50	920,5	740,3		131,0	16,6
	75	895,0	746,1		105,5	13,4

Leyenda: SR: Sin reducción; CR: Con Reducción

- El criterio de reducir las normas netas para el cafeto en las fases iniciales de la floración-fructificación y la fase maduración cosecha permite ahorros de agua importantes con afectaciones a los rendimientos que no superan el 3 %.

AGRADECIMIENTO

Al Dr.C. Arcadio Ríos Hernández, por el tiempo dedicado a la revisión del documento en sus dos versiones español e inglés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAZAR, P.I.; CHIPANA, M.G.: Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación, mediante el método de riego por aspersión en la estación experimental choquenaira. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 3(3), 18-29, 2016, ISSN: 2409-1618.
- CAMEJO, N.; DÍAZ, Y.; HERRERA, J.: Requerimientos de agua de los cultivos sorgo, maíz y frijol en la “UEB Sierra Maestra” en el municipio Los Palacios, 72pp. Tesis (en opción al título de Ingeniero Hidráulico), Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, La Habana, Cuba.
- CENTELLA, A.: La estimación del clima futuro y los escenarios climáticos [Parte 1 y 2], Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba, La Habana, Cuba, 2017.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, Revista Ingeniería Agrícola, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2306-1545.
- CISNEROS, E.; REY, R.; ZAMORA, E.; GONZÁLEZ, F.: “Influencia del manejo del riego en el rendimiento del cafeto”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 15(2): 42-46, 2006, ISSN: 1010-2760.
- CISNEROS-ZAYAS, E.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.; MARTÍNEZ-VARONA, R.; LÓPEZ-SEIJAS, T.; REY-GARCÍA, Á.R.: “Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua-rendimiento”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(4): 5-11, 2015, ISSN: 2071-0054.
- CORTÉS, B.C.A.; BERNAL, P.J.; DÍAZ, A.E.; MÉNDEZ, M.J.: Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Valle del Cauca, Inst. FAO, Informe técnico proyecto de cooperación técnica TCP/COL/3302, Córdoba, Meta, Tolima y Valle del Cauca, Colombia, 62 p., 2013.
- DÍAZ, Y.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.: Estimación de los requerimientos de agua del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) en la región Los Palacios en Cuba, Ingeniería Agrícola, 6(4): 3-10, 2016, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761.

- FLORES, G. H.; OJEDA, W. B.; FLORES, H.; SIFUENTES, E.; MEJIA, E.: Simulación del rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el norte de Sinaloa usando el modelo Aquacrop. *Agrociencia*, 47(4): 347-359, 2013.
- GARCÍA, R.Y, RAMÍREZ B.M, PAUMIER F.Y.: La actividad cafetalera en la comunidad del plan turquino de farallones de Moa. DELOS. Desarrollo Local Sostenible Grupo Eumed.net/Universidad de Málaga y Red Académica Iberoamericana Local Global Indexada en IN-Recs; LATINDEX; DICE; ANECA; ISOC y DIALNETVol 6. Nº 16 Febrero 2013. www.eumed.net/rev/delos/16
- GOC-CUBA: “Resolución 17- 2020 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)”, Gaceta Oficial de la República de Cuba: 35, ISSN: 0864 I-0793, e-ISSN: 1682-7511, GOC 2020-557-061, 2020.
- GONZÁLEZ-ROBAINA, F.; CISNEROS-ZAYAS, E.; MONTILLA, E.: “Respuesta al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.) en diferentes fases de desarrollo”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3): 4-11, 2017, ISSN: 2071-0054.
- HERNÁNDEZ, A.; ASCANIO, M.; MORALES, M.; CABRERA, A.: Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria, Inst. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba, 18-59 p., 2005.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PÉREZ-JIMENÉZ, J.M.; MESA-NÁPOLES, Á.; FUENTES-ALFONSO, E.; BOSCH-INFANTE, D.: Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba., Ed. Instituto de suelos, 1999.
- IPCC: Sexto Informe de Evaluación, 2023.
- IS-CUBA: clasificación genética de los suelos de cuba, Ed. Editorial Academia, La Habana, Cuba, primera ed., La Habana, Cuba, 28 p., 1980.
- JÄGERMEYR, J.; MÜLLER, C.; RUANE, A.C.; ELLIOTT, J.; BALKOVIC, J.; CASTILLO, O.; FAYE, B.; FOSTER, I.; FOLBERTH, J.A.; FUCHS, K.; GUARIN, J.R.; HEINKE, J.; HOOGENBOOM, G.; LIZUMI, T.; JAIN, A. K.; KELLY, D.; KHABAROV, N.; LANGE, S.; ROSENZWEIG, C.: Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, 2(11), 873-885, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>.
- LEGRÁ, E.: Comunicación personal. Director general del grupo Café, Cacao y Coco perteneciente al Grupo Agroforetal (GAF) del Ministerio de la Agricultura (Minag)., 2022.
- NELSON, G.C., ROSEGRANT, M.W., KOO, J., ROBERTSON, R., SULSER, T., ZHU, T., RINGLER, C., MSANGI, S., PALAZZO, A.; BATKA, M., MAGALHAES, M., VALMONTE-SANTOS, R., EWING, M. Y LEE, D.: Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Washington, D.C. 30pp, 2009.
- PÉREZ, R.; ÁLVAREZ, M.: Necesidades de Riego de la Caña de Azúcar en Cuba, Ed. Academia, primera ed., La Habana, Cuba, 219 p., 2005, ISBN: 959-270-065-6.
- PLANOS, E.O.: Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba., Ed. Sello Editorial AMA, La Habana, La Habana, Cuba, 2014, ISBN: 959-300-044-5.
- ROJAS, O.E. Determinación del potencial agroecológico del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. *Turrialba* 39(3): 279-287, 2018.
- VALDÉS, C.R.; VENTO, D.H.: “Estudio del contenido de los principales productos de la fotosíntesis en plantas de *Coffea arabica* L. var. Caturra cultivadas bajo diferentes dosis de nitrógeno”, *Cultivos Tropicales*, 6(1): 111-122, 1984.
- VALDÉS, R.; BARRERA, M.; POMBO, F.; VENTO, D.: “Caracterización del sistema de pigmentos foytosintéticos en plantas de cafetos”, *Revista Chapingo, Horticultura*, 4: 29-32, 1995.
- VASALLO-RODRÍGUEZ, L., MONTES-ESPÍN, R., ESCARRÉ-ESTEVE, A., BONET-JORNET, A., FERNÁNDEZ-SANTANA, I.: Los cafetales de sombra y la conservación de la diversidad biológica. El contexto cubano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 122-126, 2020.