

Influencia del clima cambiante sobre las necesidades de agua en plátano y banano en Cuba



<https://cu-id.com/2284/v14n4e01>

Influence of changing climate on water requirements of banana and plantain in Cuba

Carmen Duarte-Díaz*, Elisa Zamora-Herrera,
 Yoima Chaterlán-Durruthy, Roberto Martínez-Varona

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

RESUMEN: El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia del clima cambiante sobre las necesidades de agua para el riego de los cultivos plátano y banano en diferentes zonas de Cuba, con vistas a caracterizarlo y predecir las normas netas de riego totales y reducidas en función de la producción de los cultivos. El estudio se realizó en las tres regiones representativas del país; tales como, las localidades de Pulido (Artemisa), Sanguily (Ciego de Ávila) y Veguitas (Granma), utilizando el sistema de Información Geográfica, para su ubicación espacialmente. Las variables climáticas fueron tomadas del escenario climático RCP 4.5 W/m² equivalente al SSP2 4.5. En Pulido, se encontraron las mayores precipitaciones a futuro evaluadas, en relación a Sanguily y Veguitas, aunque porcentualmente en éste último lugar habrá mayor efectividad de las mismas. Los mayores valores de evapotranspiración de referencia en función del año climático se encuentran en las zonas oriental y central, aun cuando los valores absolutos no difieren mucho con un mínimo de 3,66 mm/día en Pulido para el año 2021 y un máximo de 4,32 mm/día en el año 2024 en Veguitas. En el plátano las normas netas totales a futuro oscilaron entre 175,3 mm anuales en Pulido y 587,6 mm en Sanguily, coincide, además, que las normas de riego más altas se requieren por los cultivos en los años donde la probabilidad de ocurrencia de la lluvia es del 50 y 75%. En el banano, las normas netas totales son más altas que las del plátano, propias del clon utilizado como referencia

Palabras clave: escenario climático, precipitación, evapotranspiración de referencia.

ABSTRACT: The aim of the study was to evaluate the influence of changing climate on water requirements for irrigation of banana and banana crops in different areas of Cuba, with a view to characterizing it and predicting total and reduced net irrigation standards depending on crop production. The study was carried out in the three representative regions of the country, such as Pulido (Artemisa), Sanguily (Ciego de Ávila) and Veguitas (Granma), using the Geographic Information System for their spatial location. The climatic variables were taken from the climate scenario CPR 4.5 W/m² equivalent to SSP2 4.5. In Pulido, we found the highest rainfall evaluated for the future, in relation to Sanguily and Veguitas, although the latter will be more effective in percentage terms. The highest reference evapotranspiration values depending on the climatic year are found in the eastern and central zones, although the absolute values do not differ much with a minimum of 3.66 mm/day in Pulido for the year 2021 and a maximum of 4.32 mm/day in the year 2024 in Veguitas. For bananas, the total net standards for the future ranged between 175.3 mm per year in Pulido and 587.6 mm in Sanguily, it is also agreed that the highest irrigation standards are required for crops in the years where the probability of occurrence of rainfall is between 50 and 75%. In bananas, the total net standards are higher than those of bananas, typical of the clone used as a reference.

Keywords: Climate Scenario, Precipitation, Reference Evapotranspiration.

*Autora para correspondencia: Carmen Duarte-Díaz, e-mail: carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu

Recibido: 12/01/2024

Aceptado: 10/09/2024

INTRODUCCIÓN

Dentro del Plan de acción para la implementación de las 63 medidas aprobadas para dinamizar la producción agropecuaria del Minag, República de Cuba (2021), en la Estrategia Económico Social MEP se aseguran las siembras de los cultivos de ciclo largo y los de ciclo corto que tendrán una atención diferenciada y preferencial, sobre todo los que son más demandados por la población, requieren menos insumos y aportan mayor rendimiento agrícola, entre ellos: yuca, plátano, malanga, boniato, calabaza, maíz tierno, pepino, habichuela y quimbombó, así como se priorizan los insumos para las producciones de arroz, frijoles, maíz, plátano, tomate, papa, huevo y carne de cerdo y también a los productores que logren los mejores rendimientos (Duarte et al., 2021). Se utilizaron las variables climáticas del escenario climático RCP 4.5 W/m² equivalente al SSP2, que considera una estabilización en las emisiones de gases de efecto invernadero a causa de la influencia de las políticas climáticas

En Cuba, el banano y el plátano constituyen una prioridad dentro del programa alimentario nacional, por su capacidad de producción durante todo el año, su elevado potencial productivo, el arraigado hábito de consumo y la diversidad de sus usos. Estos cultivos representan más del 40 % de la producción agrícola anual (Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical INIFAT, 2008) según Valentín et al. (2018).

El agua es un recurso económico, ambiental, cultural y de bienestar social limitado, es por ello, que la sociedad muestra un constante interés por el mismo. Según CEDEX (2012), a las incertidumbres sobre su disponibilidad y calidad se añaden actualmente las derivadas del impacto del cambio climático. La incertidumbre no es una excusa para la inacción: las herramientas, los métodos y los mecanismos de financiación están disponibles ahora y se requieren de actuar (Timboe & Canuto, 2017). Además, los administradores del agua en muchas regiones de América Latina enfrentan desafíos cada vez mayores para satisfacer necesidades sociales asociadas al agua, debido al rápido crecimiento demográfico y económico, la expansión del riego, los cambios en el clima y la hidrología, y la degradación de los recursos y ecosistemas de aguas subterráneas (Groves et al., 2021).

Los autores plantean que los riesgos del cambio climático relacionados con el agua dulce se acentúan significativamente a medida que aumentan las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI). Los últimos estudios de modelización estiman que, por cada grado de calentamiento global, aproximadamente un 7% de la población mundial estará expuesta a una disminución de los recursos hídricos renovables de al menos el 20%.

Las proyecciones de cambio climático de las variables atmosféricas y marinas están basadas en escenarios climáticos. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) seleccionó en su 5^o Informe de Evaluación AR5, IPCC (2013) cuatro escenarios basados en proyecciones futuras de forzamientos radiativos asociados a distintos niveles de calentamiento global, los denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP de sus siglas en inglés, Representative Concentration Pathways (Moss, et al., 2010). Los escenarios se denominan RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 y corresponden a los forzamientos radiativos para el año 2100 de 2,6 W/m², 4.5 W/m², 6.0 W/m² y 8.5 W/m², respectivamente según Losada (2022) y que en la actualidad se asocian a los desafíos socioeconómicos como SSP (Centro Regional del Clima para el oeste de Sudamérica, 2022).

Mayores forzamientos implican un contexto con menor esfuerzo de mitigación y temperaturas más altas, mientras que menores valores de forzamiento radiativo implican un mundo con más mitigación y, por tanto, menor aumento de la temperatura global según el autor anterior. Durante la primera mitad del siglo XXI los cambios esperados en las variables climáticas para los cuatro escenarios son muy similares, encontrando diferencias en las proyecciones de cada uno de ellos a partir de la segunda mitad del siglo. RPC 4.5 - “Escenario de estabilización” y SSP2. Los forzamientos radiativos se estabilizan antes de 2100 utilizando tecnologías y estrategias para reducir los GEIs y son recomendados como una herramienta básica para los estudios de planificación del agua, según Vargas et al. (2018).

Por otra parte, el IPCC (2001), planteó que la generación de escenarios regionales de cambio climático por su propia escala está sometida a incertidumbres, relacionadas con procesos naturales y sociales que son difícilmente tratables, por lo que quedan al margen de las proyecciones. Se suelen considerar las incertidumbres asociadas a las emisiones de gases con efecto invernadero, modelos globales, variabilidad interna del modelo, formulación de modelos regionales e imperfecciones en las condiciones de contorno. Como parte del estudio climático se decidió evaluar la influencia del clima cambiante sobre las necesidades de agua para el riego de los cultivos plátano y banano en diferentes zonas de Cuba como objetivo del trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las localidades representadas en la Tabla 1 donde se muestra la selección, las cuales abarcaron las tres regiones del país (occidente, centro y oriente); así como la Figura 1 mediante el uso de los sistemas de Información Geográfica ArcGIS (v.10.2.1) y MapInfo, para su ubicación espacialmente de éstas localidades.

TABLA 1. Localización de los sitios de desarrollo del plátano y el banano en representación de las zonas occidental, central y oriental

Provincia	Sitio	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.m)
		Norte	Oeste	
Artemisa	Pulido	22,77647	-82,6054	6
Ciego de Ávila	Sanguily	21,76836	-78,8924	35
Granma	Veguitas	20,31193	-76,9055	18

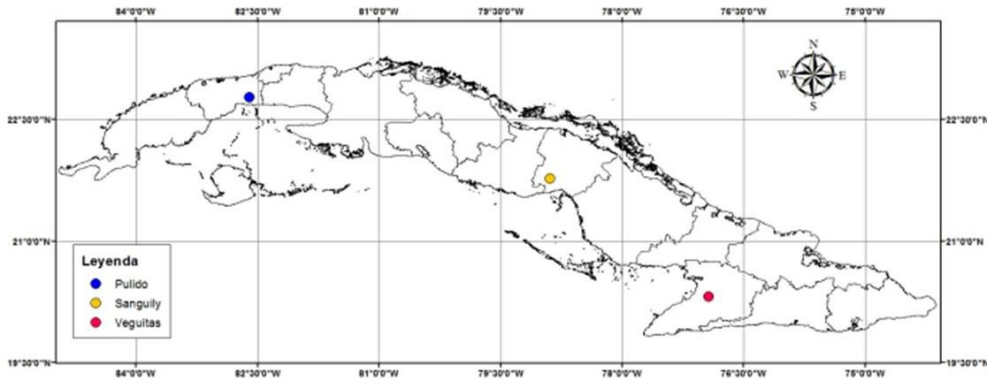


FIGURA 1. Localización de las áreas seleccionadas de plátano y banano de las provincias Artemisa (Pulido), Ciego de Ávila (Sanguily) y Granma (Veguitas).

Los valores de las variables climáticas utilizadas responden a las coordenadas geográficas, representativas de los macizos productivos de banano y plátano más significativos de Artemisa, Ciego de Ávila y Granma. Las mismas fueron tomadas del escenario climático RCP 4.5 W/m² equivalente al SSP2, que considera una estabilización en las emisiones de gases de efecto invernadero a causa de la influencia de las políticas climáticas [Hevis et al. \(2019\)](#) y a los efectos equilibrados de adaptación y mitigación según [Meinshausen et al. \(2020\)](#).

Los sitios que se presentan en la [tabla 1](#), corresponden a la representación de las zonas occidental, central y oriental ([Solano et al. 2003](#)), de acuerdo a los suelos predominantes ([Tabla 2](#)) de cada una y las variables del clima. Se trabajó con los suelos Ferralítico Rojo compactado y Aluvial de las zonas como se aprecia en la [Tabla 2](#)

En la selección de los parámetros de suelo se tuvo en cuenta que el factor de agotamiento crítico (p) representa el nivel crítico de humedad en el

suelo a partir del cual ocurre estrés por falta de agua, afectando a la vapotranspiración del cultivo y a su producción. Los valores se expresan como una fracción del Agua Totalmente Disponible (ADT) y, en general, varían entre 0,4 y 0,6, con valores más bajos para cultivos sensibles con sistemas radiculares superficiales bajo condiciones de alta evaporación, y valores más altos para cultivos densos, con raíces profundas y bajos índices de evaporación. Además, la fracción p es una función de la demanda de evapotranspiración de la atmósfera. Para el caso que nos ocupa tanto plátano como el banano tienen una máxima profundidad radicular de 0,6 m, por lo que se tomó como agotamiento crítico 0,45 donde la humedad del suelo fluctúa entre el límite superior del agua disponible en el suelo y la fracción de agotamiento igual a 0,45 de la humedad total disponible, estimando que no hay reducción del rendimiento del cultivo. La designación del valor 0,45 coincide con lo recomendado por [Caicedo et al. \(2015\)](#), para el banano.

TABLA 2. Tipos y características de los suelos estudiados

Sitio	Tipo de suelo	LSATDs (pss)	LIATDs (pss)	Da	TM inf (mm/día)	Agotamiento crítico (p)	Fuente
Pulido	Ferralítico Rojo compactado	33,9	22,8	1,20	50	0,45	(Caicedo et al., 2015)
Sanguily	Ferralítico Rojo compactado	33,9	22,8	1,06	50	0,45	Cid et al. (2012)
Veguitas	Aluvial	35,5	19,2	1,31	36	0,45	Cobos et al. (1975)

Leyenda: LSATDs límite superior del agua totalmente disponible en el suelo, LIATDs límite inferior del agua totalmente disponible en el suelo, Da: densidad aparente, TM inf: tasa máxima de infiltración

Para determinar los requerimientos hídricos a futuro de los cultivos plátano (CEMSA –) y banano (Parecido al rey), recomendado por [Caicedo et al. \(2015\)](#) y [Martínez et al. \(2015\)](#), se utilizó el programa de ordenador CROPWAT de [Allen et al. \(2006\)](#), versión 8.0 de [Swennenhuis \(2009\)](#), donde se utilizaron variables de cultivo y suelo a tiempo real a partir de las investigaciones in situ en la zona, representadas en la [Tabla 3](#).

Para el caso de la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) se tomaron los datos climáticos del modelo regional PRECIS, que es un sistema de modelado climático regional basado en PC, desarrollado por el Hadley Center de la Oficina de Meteorología del Reino Unido, recomendado para éstos estudios por [Centella et al. \(2008\)](#), utilizando información del RCP 4.5.

Se tomaron los valores de temperatura máxima, mínima, velocidad del viento y humedad relativa y se calculó como dato faltante la insolación teniendo en cuenta las coordenadas geográficas y los datos anteriores, con eso el programa calculó la radiación neta y la evapotranspiración de referencia, aplicando la ecuación de Penman-Monteith, según [Allen et al. \(2006\)](#).

Estas corridas para los cálculos de la ET_o y de la evapotranspiración de cultivo (ET_c) se hicieron para los años hidrológicos determinados en el período (25, 50 y 75% de probabilidad de lluvia) desde 2020 hasta 2050 e igual y se realizó para las precipitaciones totales y efectivas. Para la estimación de las normas de riego, se tuvo en cuenta regar cuando el suelo llegó a su agotamiento crítico (45% del agua totalmente disponible en el suelo), representando el nivel crítico de humedad del suelo, a partir del cual ocurre el estrés por falta de agua, afectando la evapotranspiración de cultivo y la producción y aplicando la norma hasta el límite superior del agua disponible en el suelo.

Se utilizó para el riego un sistema de riego por aspersión con una eficiencia de aplicación de 85%, considerando que su funcionamiento explotativo es adecuado para las condiciones suelo y cultivo.

Además, se utilizó la ecuación de Pearson III NC 48-35 (1984), para determinar la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones, en aplicabilidad de las normas en los períodos estudiados.

Se estimaron, además, con el programa las normas reducidas del cultivo según el manejo realizado a la ET_c para el período no crítico del plátano y el banano con reducciones del parámetro entre 90 y 70% en las fases vegetativa y o de maduración.

Se estableció una relación entre las normas de riego y los rendimientos del plátano y el banano a tiempo real, futuro total y con reducciones de las mismas, a partir del modelo R=0,0071 ET recomendado por [González et al. \(2013\)](#)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática en base a la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones

Precipitaciones

Primeramente se realizó la caracterización de los años hidrológicos para establecer las estimaciones de las variables del clima a utilizar.

Para la caracterización climática en base a las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia, se seleccionó el escenario RCP 4.5 (Representative Concentration Pathways, Vías de concentración representativa), caracterizado por las emisiones mundiales a largo plazo de gases de efecto invernadero, especies de corta vida y uso de la tierra, que estabiliza el 17 forzamiento radiactivo a 4,5 W/m² sin exceder nunca ese valor y que trata acerca de una estabilización en las emisiones de CO₂ y la temperatura ambiente como definieron [Castillo & Montero \(2017\)](#), el cual está asociado al SSP2 4,5 con un nivel medio de adaptación y mitigación ([Environment and Climate Change Canada, 2023](#); [Escoto et al., 2017](#); [Meinshausen et al., 2020](#)).

TABLA 3. Características de los cultivos plátano y banano

Cultivo	Variedad	Fases de desarrollo (días)	Kc (Martínez, 2015)	Ky (FAO 33, 1979)	Altura Máxima (m) (Martínez et al., 2015)
Plátano	CEMSA 3/4 (Musa AAB), talla media	Vegetativa (120)	0,67	1,2	1,40
		Floración (90)	0,99	1,4	
		Formación de fruto (110)		1,45	
		Maduración (40)	0,64	1,3	
		Total (360)		1,35	
Banano	Parecido al Rey (Musa AAA), talla baja	Vegetativa (120)	1,07	1,2	1,40
		Floración (90)	1,20	1,4	
		Formación de fruto (110)		1,45	
		Maduración (40)	0,8	1,3	
		Total (360)		1,35	

La [Tabla 4](#) expresa los años hidrológicos para cada sitio y su correspondencia con el volumen de pluviometría, los cuáles serán los que se utilizarán con sus variables climáticas a futuro hasta el 2050 en el programa Cropwat para la determinación de los requerimientos hídricos y la programación de riego

La [Figura 2](#), muestra la evaluación de las precipitaciones con una caracterización año a año, para el período 2020-2050, en las zonas occidental, central y oriental. [INSMET \(2022\)](#)

Las tendencias matemáticas que se tuvieron en los tres lugares al evaluar las precipitaciones en las diferentes zonas no son más que la forma de ajustarse el comportamiento de la variable estudiada y solo obedece a la selección de la ecuación que mayor ajuste tuvo sin tener en cuenta cual ha sido.

La línea de tendencia lineal representa un ajuste perfecto, usada con un conjunto de datos lineales, muestra que a futuro en el escenario RCP 4.5 las precipitaciones se reducen en la zona occidental en función de la probabilidad de ocurrencia. La tendencia polinómica, es indicativa de la fluctuación de los datos de precipitación en la zona central, siendo muy efectivo su análisis para casos como éste que incluye conjunto de datos suficientemente grande (31 años). En el análisis de las precipitaciones de la zona oriental con una tendencia ajustada logarímicamente, muestra que el ajuste de línea curva es perfecto con datos que disminuyen rápidamente, luego se estabilizan y vuelven a disminuir de forma rápida.

Entre todas, la tendencia lineal es la de mejor ajuste para datos simples como es el caso del análisis de las precipitaciones como variable climática en la zona occidental, no obstante, si los datos aumentan o se reducen rápidamente, la opción más viable es la tendencia logarítmica como es el caso de los datos de la zona oriental que se reducen al inicio, se estabilizan y al final ocurre un decrecimiento de los mismos. La tendencia de los datos a una ecuación polinómica ayuda al análisis de las pérdidas de la variable en el tiempo. Todo lo cual, predice que, en cualquiera de los casos las precipitaciones de las tres zonas han reflejado la mejor opción de tendencia según los datos disponibles y su comportamiento probabilístico. Según mostró la [CEPAL \(2020\)](#), en sus estudios de la precipitación anual promedio hacia el 2030, 2050 y 2080, en los países de la región México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana ésta variará en un amplio rango, dependiendo de la diversidad en

las condiciones topográficas, aunque en los últimos años no se han observado cambios importantes que indiquen una mayor o menor cantidad de lluvias, aunque sí se observa mayor variabilidad.

En Pulido como representación de la parte occidental se aprecia mayor diferencia entre las precipitaciones evaluadas en relación Sanguily (centro) y Veguitas (oriente), aunque porcentualmente en éste último caso habrá mayor efectividad de las precipitaciones, con independencia de los valores puntuales para cada sitio que están en el rango de las de las necesidades hídricas de los cultivos de plátano y banano. [Planos \(2020\)](#), asegura que una de las afectaciones de la disponibilidad de agua se acentúa por la influencia del cambio climático, aun no bien determinada, en la recarga de los acuíferos.

Evapotranspiración de referencia

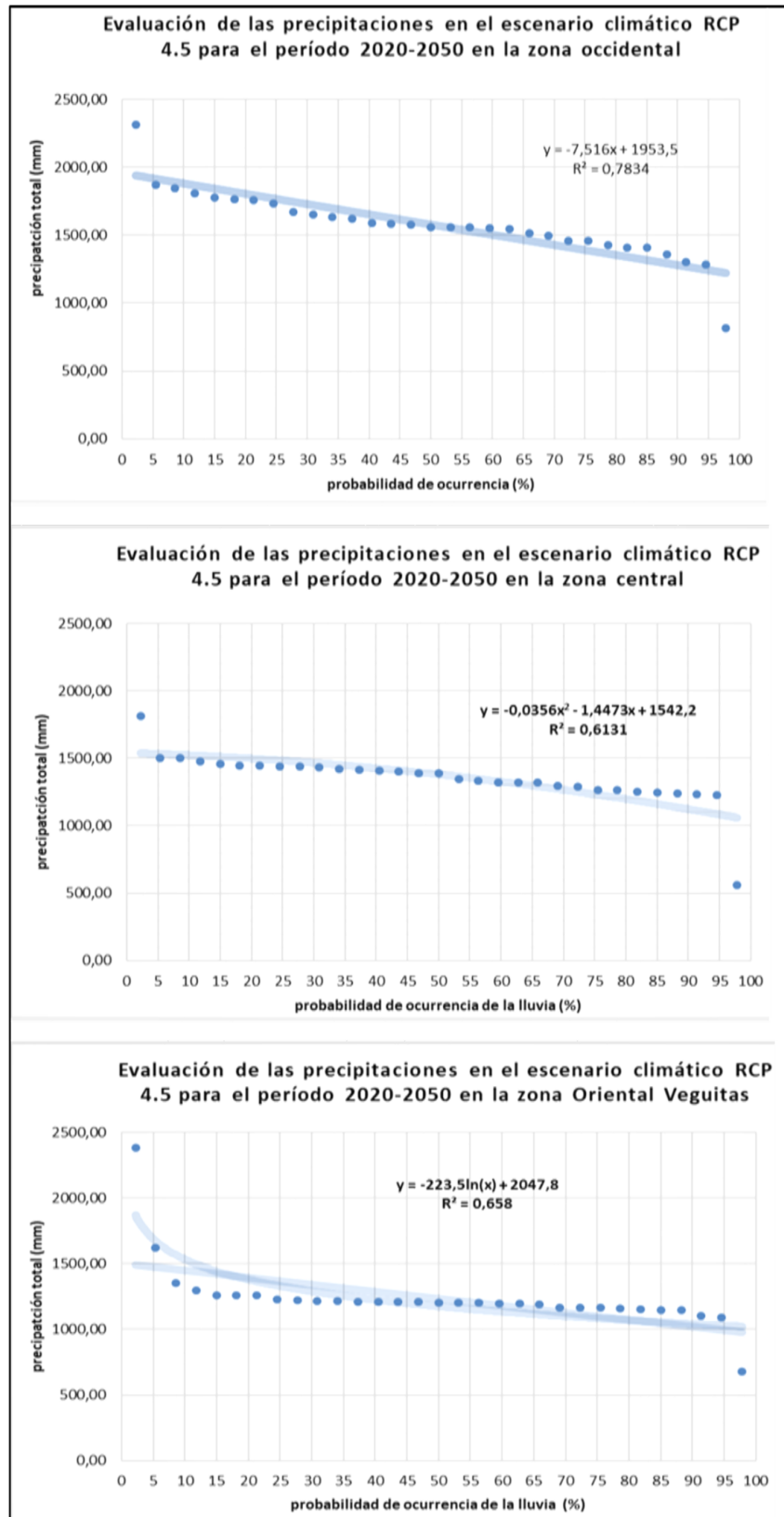
Fue calculada la evapotranspiración de referencia para los tres sitios y tres años hidrológicos por medio de la herramienta CROPWAT, como se muestran las capturas de pantalla, en las [Figuras 3, 4 y 5](#).

El comportamiento de la ET_0 en cada sitio se aprecia como lo indica la [Figura 3](#), una vez seleccionados los años hidrológicos al 25, 50 y 75% de probabilidad de la lluvia se evaluó la ET_0 para las zonas de Artemisa (Pulido), Ciego de Avila (Sanguily) y Granma (Veguitas), como representación climática de las zonas occidental, central y oriental según lo recomendado por [Solano et al. \(2003\)](#) para éstos análisis integrales de zonas.

Para mayor comprensión se realizó una [Tabla 5](#) de resumen, que permite evaluar mejor el comportamiento de las pérdidas de agua por demanda climática. Se aprecia que los mayores valores de evapotranspiración de referencia en función del año climático según el análisis de probabilidad de ocurrencia de la lluvia, se encuentran en las zonas oriental y central, no así para la occidental, aun cuando los valores absolutos no difieren mucho con un mínimo de 3,66 mm/día en Pulido provincia Artemisa para el año 2021 y un máximo de 4,32 mm/día en el año 2024 en Veguitas provincia Granma para un 15,3 % de diferencia. La evapotranspiración de referencia aumenta de occidente a oriente de 3,66 en Artemisa a 4,32 mm/día en Veguitas, Granma. Para los tres sitios evaluados hay diferencia en las pérdidas de agua evapotranspiración en los análisis de los años hidrológicos al 25, 50 y 75% de probabilidad de ocurrencia de la lluvia.

TABLA 4. Caracterización de los años hidrológicos según la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones para el período 2020-2050, por sitios de estudio

Sitio	Año hidrológico (% probabilidad de ocurrencia de la lluvia)		
	25 (húmedo)	50 (medio)	75 (seco)
Pulido	2021(1732,22mm)	2041 (1560,96 mm)	2027 (1456,37 mm)
Sanguily	2021 (1440,38 mm)	2022 (1387,88 mm)	2020 (1263,82 mm)
Veguitas	2040 (1225,55 mm)	2025 (1202,74 mm)	2047 (1164,80mm)



De una serie de 31 años desde 2020 hasta 2050 de datos de la lluvia, aportados por el [INSMET \(2022\)](#) se realizó el análisis de probabilidad, los cuales se presentan en la figura 2 (a) ajustada a una línea de tendencia lineal, (b) a una polinomial y la (c) a una ecuación logarítmica. En los casos analizados el coeficiente de determinación se encuentra entre 0,61 y 0,78.

FIGURA 2. Caracterización de las precipitaciones en las tres zonas de estudios.

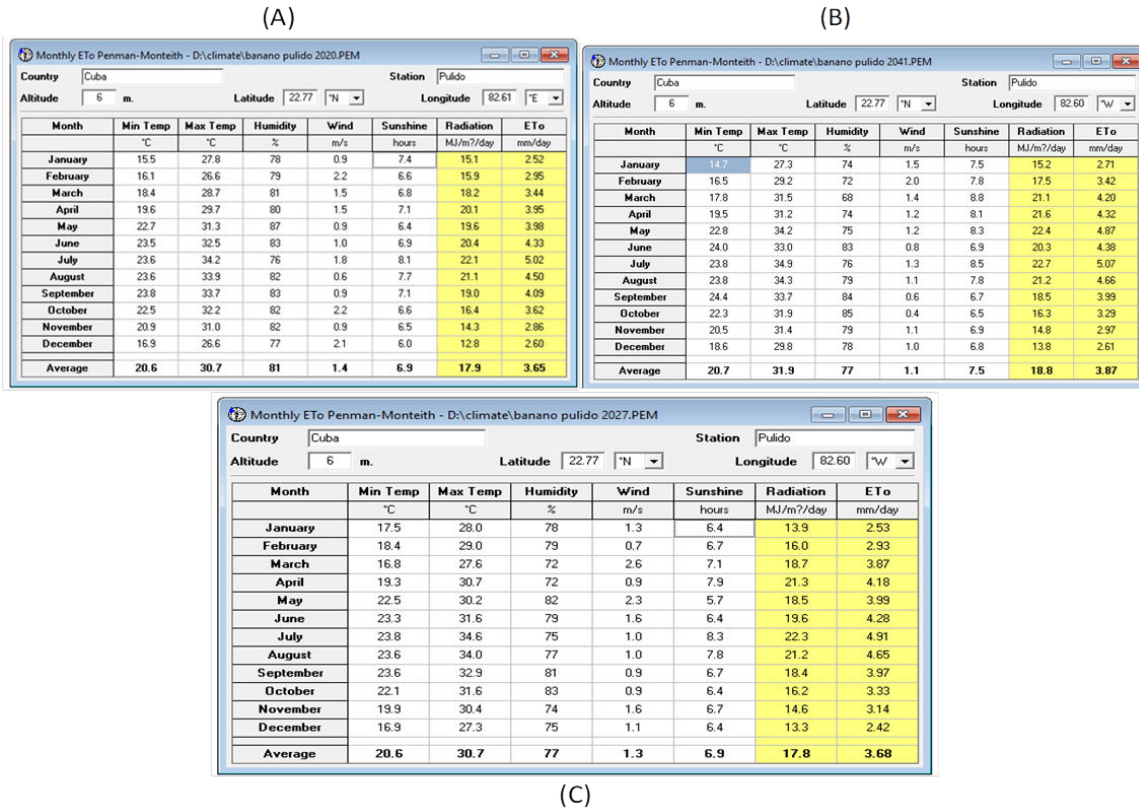


FIGURA 3. Evapotranspiración de referencia en el año 2020 (A) 25% prob. lluvia, 2041 (B) 50% prob. de la lluvia y 2027 (C) 75% prob. de la lluvia para plátano y banano en Artemisa.

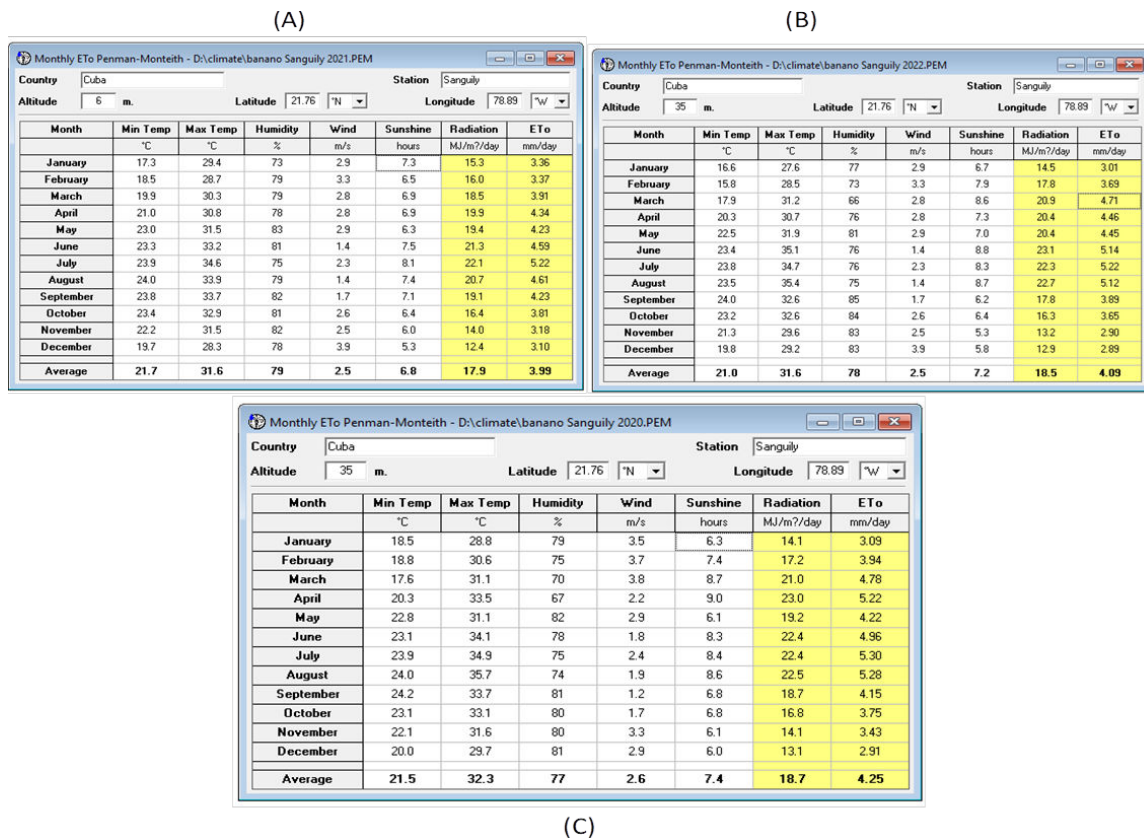


FIGURA 4. Evapotranspiración de referencia en el año 2021 (A) 25% prob lluvia, 2022 (B) 50% prob. de la lluvia y 2020 (C) 75% prob. de la lluvia para plátano y banano en Sanguly.

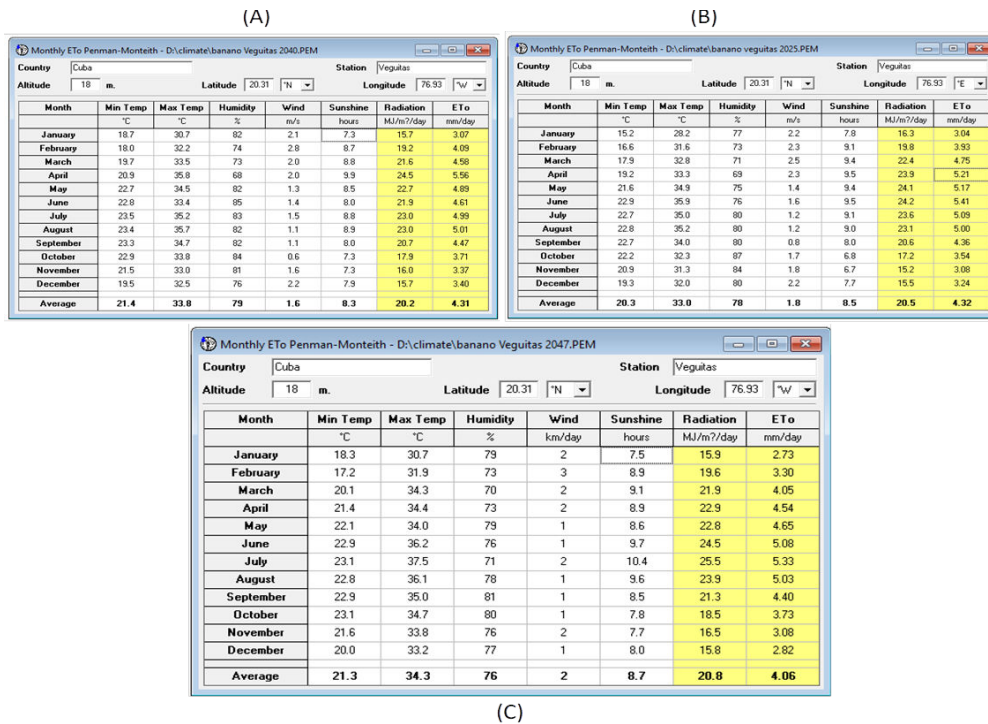


FIGURA 5. Evapotranspiración de referencia en el año 2040 (A) 25% probabilidad lluvia, 2025 (B) 50% probabilidad de la lluvia y 2047 (C) 75% probabilidad de la lluvia para plátano y banano en Veguitas.

TABLA 5. Resumen de la ET₀ por sitios y años hidrológicos en las tres zonas de estudio

Sitio	Prob.	Años	ET ₀ - PM
Pulido	25%	2021	3,66
	50%	2041	3,87
	75%	2027	3,68
Sanguily	25%	2021	3,99
	50%	2022	4,09
	75%	2020	4,25
Veguitas	25%	2040	4,31
	50%	2025	4,32
	75%	2047	4,06

Normas netas de riego totales y reducidas para los cultivos plátano y banano, según clima cambiante

La fecha de siembra fue el 1 de abril, fecha óptima para éstos cultivos, con la intensión que durante su desarrollo aprovechen el período lluvioso, recomendada por [Martinez et al. \(2015\)](#).

Para el riego de los cultivos de plátano y banano se utilizó sistema de riego localizado de alta frecuencia en explotación, con una eficiencia del 85% y se regó desde el agotamiento crítico de la humedad del suelo (0,45), hasta la capacidad de campo del suelo.

Los requerimientos hídricos de los cultivos plátano y banano se encuentran en la [Tabla 6](#).

La [Tabla 6](#), representa a los requerimientos hídricos de los cultivos plátano y banano, por sitios de estudio y representación de zonas. En el plátano las normas netas totales oscilan entre 175,3 y 372,3 mm anuales en Pulido (zona occidental), entre 475,0 y 587,6 mm

en Sanguily (zona central) y entre 550,7 y 232,9 mm en Veguitas (zona oriental), se aprecian diferencias entre las zonas, siendo los mayores aportes por concepto de norma de riego en las zonas central y oriental, coincidiendo que las normas de riego más altas se requieren por el cultivo en los años donde la probabilidad de ocurrencia de la lluvia es del 50 y 75%. En el banano las normas van desde 547,6 mm en Veguita hasta 1103,9 en Sanguily, coincidiendo éste último con igual tendencia a lo que probablemente ocurra en el plátano en el mismo lugar. No obstante, estos datos comprueban lo explicado con anterioridad a cerca de la contribución de las precipitaciones en el modelo PRECIS, en el escenario RCP 4.5, lo que no presupone que se tendrá baja disponibilidad de agua a futuro medio como se expresa en el IPCC (2017, 2023). Si comparamos éstas normas con las que actualmente se utilizan de la resolución 17/2020 del INRH de 840 mm para zona occidental y central y

TABLA 6. Requerimientos hídricos de los cultivos de plátano y banano

Sitio	Probabilidad de la lluvia (%) y año hidrológico	Etc (mm)	Norma neta (mm)		Diferencia entre normas (mm)	No. De riegos		Reducción Rendimiento. (%)
			Nn total	Nn r		Nn total	Nn r	
Pulido Artemisa Plátano	25 (2021)	1030,2	175,3	76,9	98,4	10	3	1,2
	50 (2041)	1089,2	372,3	295,7	76,6	17	10	2,2
	75 (2027)	1438,6	348,2	295,1	53,1	23	15	2,8
Pulido Artemisa Banano	25 (2021)	1438,7	698,5	472,0	226,5	34	18	2,2
	50 (2041)	1520,9	753,2	563,0	190,2	29	17	2,8
	75 (2027)	1438,6	785,4	612,9	172,5	37	21	2,8
Sanguily C, Ávila Plátano	25 (2021)	1161,9	475,0	267,1	207,9	55	8	1,9
	50 (2022)	1180,4	544,6	378,0	166,6	23	10	2,7
	75 (2020)	1232,9	587,6	370,6	217,0	25	11	2,2
Sanguily C, Ávila Banano	25 (2021)	1602,8	1016,4	693,9	322,5	42	22	2,9
	50 (2022)	1634,3	1050,7	800,9	249,8	34	26	2,9
	75 (2020)	1701,1	1103,9	931,9	172,0	48	31	2,3
Veguitas Granma Plátano	25 (2040)	1237,9	532,9	434,0	172,0	24	11	2,5
	50 (2025)	1231,7	550,7	392,5	98,9	24	13	2,1
	75 (2047)	1120,5	232,9	207,3	158,2	3	2	2,9
Veguitas Granma Banano	25 (2040)	1713,2	547,6	535,0	25,6	11	8	2,3
	50 (2025)	1710,1	659,4	553,4	12,6	14	8	2,2
	75 (2047)	1574,9	521,8	431,5	106,0	10	6	2,1

860 mm para la oriental se aprecia que en todos los casos hay una reducción de las normas estimadas a futuro hasta 2050 en general para plátano, dado fundamentalmente a que en la resolución se trabajó en fase experimental con datos totalmente originales y el caso que nos ocupa del estudio a futuro tiene una serie de variables de clima históricas y promediadas que pudieran estar influyendo en el valor total, no obstante, cualquiera de los dos valores reflejados de norma para el plátano ya sea el experimental en campo como el estimado por modelación pueden ser utilizados, por estar en el entono de lo que requiere la planta para las zonas estudiadas (Martínez, 2024).

El número de riegos ha variado en función de la norma y la frecuencia de riego. Los riegos están entre 3 y 55 para el plátano según el sitio y se destaca que el mayor número de riego se aplicará en la zona central de Sanguily. En el banano, las normas netas totales son más altas que las del plátano, propia del clon utilizado como referencia, que necesita mayor volumen de agua para su desarrollo, aunque en general son normas netas pequeñas y solo en la zona central de Sanguily, se supera ésta norma neta de riego con la vigente en la Resolución 17/2020, por lo que hay que asegurar el desarrollo del cultivo mediante un manejo eficiente del agua disponible.

Las normas reducidas las cuales fueron estimadas por el programa reduciendo entre 2 y 5% en la etapa de maduración cosecha del cultivo, considerada como no crítica en el abastecimiento de agua para los cultivos y para que el rendimiento potencial no se rebase el 3% teniendo en cuenta que las condiciones sean estándar de manejo del suelo y del cultivo, sólo se establecerán para el caso en que no sea posible considerar el riego óptimo a la cuantía estimada, dada

por la reserva de agua con que se cuente en las fuentes de abasto, como lo es el caso del banano en la zona central de Sanguily.

El número de riegos ha variado en función de la norma y la frecuencia de riego. Los riegos están entre 10 y 48 para el banano según el sitio y se destaca que el mayor número de riegos se aplicarán en la zona central de Sanguily y con estabilidad entre el número de ellos. Las normas netas totales oscilan entre 521,8 y 1103,9 mm. Las más altas se requieren en el sitio de Sanguily (zona central) con 1057,0 mm de promedio y en los años analizados y en relación entre los otros sitios. Las normas totales superan las que están vigentes en la Resolución 17/2020 del INRH, mencionada anteriormente (820, 840 y 770 mm) respectivamente para las zonas occidental, central y oriental.

La Figura 6 representa la distribución esquemática del agua en el suelo en el proceso de redistribución de la misma en función de las precipitaciones totales y las realmente disponibles para la planta en la profundidad del suelo.

La Figura 7, expresa la variación en la distribución del agua en el suelo Ferralítico Rojo compactado al reducir la norma de riego con un ajuste en el manejo del agua al cultivo de banano al reducir la norma estimada en un 2% en la fase de maduración cosecha. En el manejo se ha disminuido el volumen de agua aplicado y la frecuencia de riego. El agua se encuentra por debajo de la curva que describe el agua realmente disponible para el cultivo. La primera curva representa el agua realmente disponible para la planta y la más profunda representa la totalmente disponible dentro del perfil del suelo, la cual depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo.

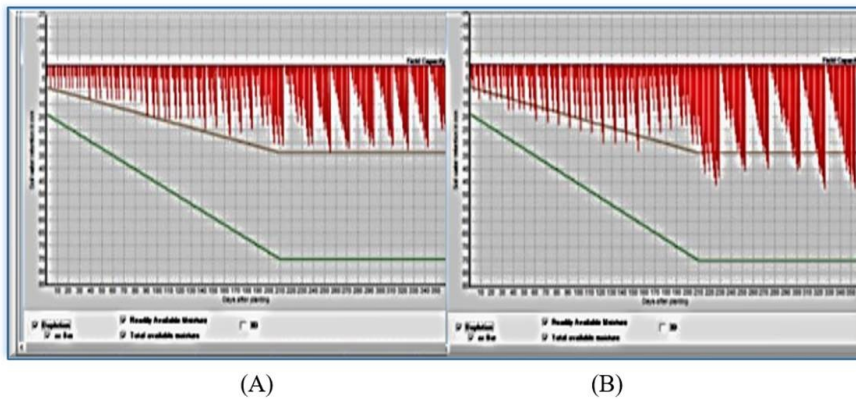


FIGURA 6. Distribución del agua en el suelo Ferralítico Rojo compactado, en riego con la norma completa (A) y con la norma reducida (B) en la última fase de desarrollo de los cultivos.

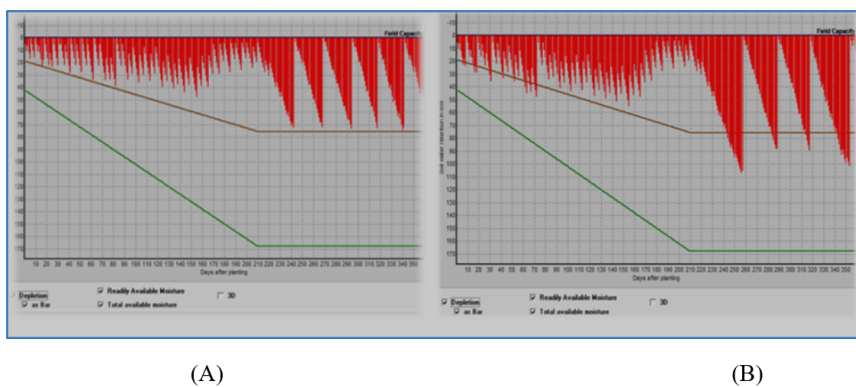


FIGURA 7. Distribución del agua en el suelo Aluvial, con riego de la norma completa y con la norma reducida en la última fase de desarrollo de los cultivos.

Se expresa en mm por metro de profundidad de suelo y es lo que establece las diferencias en la distribución del agua entre el suelo Ferralítico (Figura 6) y Aluvial (Figura 5).

CONCLUSIONES

- En Pulido, Artemisa, como parte occidental se representó el mayor volumen de las precipitaciones a futuro evaluadas, en relación con Sanguily (centro) y Veguitas (oriente), aunque porcentualmente en éste último caso habrá mayor efectividad de las precipitaciones, con independencia de los valores puntuales para cada sitio que están en el rango de las de las necesidades hídricas de los cultivos de plátano y banano.
- Los mayores valores de evapotranspiración de referencia en función del año climático y según el análisis de probabilidad de ocurrencia de la lluvia, se encuentran en las zonas oriental y central, no así para la occidental, aun cuando los valores absolutos no difieren mucho con un mínimo de 3,66 mm/día en Pulido provincia Artemisa para el año 2021 y un máximo de 4,32 mm/día en el año 2024 en Veguitas provincia Granma para un 15,3% de diferencia.
- En el plátano las normas netas totales a futuro oscilan entre 175,3 y 372,3 mm anuales en Pulido (zona occidental), entre 475,0 y 587,6 mm en Sanguily (zona central) y entre 550,7 y 232,9 mm en Veguitas (zona oriental), con diferencias entre las zonas, siendo los mayores necesidades de aportes por concepto de norma de riego en las zonas central y oriental, coincidiendo que las normas de riego más altas se requieren por el cultivo en los años donde la probabilidad de ocurrencia de la lluvia es del 50 y 75%. En el banano, las normas netas totales son más altas que las del plátano, propia del clon utilizado como referencia.
- Las normas reducidas estimadas por el programa Cropwat reduciendo el volumen de agua de riego entre 2 y 5% en la etapa de maduración cosecha del cultivo, considerada como no crítica en el abastecimiento de agua para los cultivos y sin rebasar el 3% del rendimiento potencial, sólo se establecerán para el caso en que no sea posible considerar el riego óptimo a la cuantía estimada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 298). Estudio FAO Riego y Drenaje 56.
- Caicedo, O., Balmaseda, C., & Proaño, J. (2015). Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2).
- Castillo, R., & Montero, R. (2017). Proyecciones de cambio climático del Sistema Ártico basado en el análisis de multi-modelos de los escenarios de emisiones de CO₂. *Revista de climatología*, 17, 28-39, ISSN: 1578-8768.
- CEDEX. (2012). *Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua* [Informe final]. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio Ambiente. Dirección general del agua.
- Centella, A., Bezanilla, A., & Leslie, K. (2008). *A study of the uncertainty in future Caribbean climate using the PRECIS regional climate model*. Community Caribbean Climate Change Center Tech. Rep.
- Centro Regional del Clima para el oeste de Sudamérica. (2022). *Escenarios y proyecciones CIIFEN 2022*.
- CEPAL. (2020). *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas.
- Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2), Article 2.
- Duarte, D. C. E., Herrera, Z. E., Herrera, P. J., Andrade, F. H., & Chaterlán, D. Y. (2021). Manejo de las normas netas totales de riego en el frijol ante el cambio climático. *Ingeniería Agrícola*, 11(4), 3-9, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- Environment and Climate Change Canada. (2023). *CMIP6 and Shared Socio-economic Pathways overview*. Environment and Climate Change Canada. <https://Climate-Scenarios.Canada.ca/?Page=cmip6-OverviewNotes>
- Escoto, A., Sánchez, L., & Gachuz, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): Nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(3), 669-693, ISSN: 0186-7210, Publisher: El Colegio de México AC. <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>
- González, R. F., Herrera, P. J., López, S. T., & Cid, L. G. (2013). Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 5-11, ISSN:1010-2760, e-ISSN: 2071-0054,.
- Groves, D., Miro, M., Syme, J., Becerra, O. A. U., Molina, P. E., Saavedra, G. V., & Vogt, S. A. (2021). *Planificación de infraestructura hídrica para el futuro incierto en América Latina*. HAL Id: halshs-03318141. <https://shs.hal.science/halshs-03318141>
- Hevis, G. G., Riverol, M. H., Vargas, C. R., Sánchez, T. E. G., Duarte, D. C. E., González, R. F., & Herrera, P. J. (2019). Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca San Diego ante escenarios de cambio climático. *Ingeniería Agrícola*, 9(2), 21-31, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- INSMET. (2022). *Comunicación personal sobre análisis de las variables de precipitación del escenario climático RCP 4.5 del modelo regional PRECIS*. INSMET, La Habana, Cuba.
- IPCC. (2001). *Tercer Informe de Evaluación de la ONU*. Cambio Climático. 45pp.
- IPCC. (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US.
- Losada, I. J. R. (2022). *Reporte para la formulación de la propuesta regional proyecto: Fortalecimiento de la capacidad de adaptación de las comunidades costeras de Cuba y Panamá al cambio climático a través del intercambio binacional de mejores prácticas para la gestión climática y la seguridad alimentaria local*. Fundación Latinoamericana de Innovación Social (FLIS).
- Martínez, R., Rodríguez, M. R., Solano, O., & Duarte, C. (2015). *Necesidades netas totales de agua para el riego de Bananos y Plátanos en Cuba* [Código: 07R172. 2015]. IAgriC, La Habana, Cuba.
- Martínez, V. R. (2024). *Comunicación personal de experto en cultivos de plátano y banano* [Comunicación personal]. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba.
- Meinshausen, M., Zebedee, R., Nicholls, J., Lewis, J., Matthew, J. G., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, G., Daniel, J. S., Andrew, J., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, S. A., Montzka, P.

- J., Reimann, S., ... Ray, R. L. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S., Van Vuuren, D., & Wilbanks, T. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 1(463), 747-756.
- Planos, G. E. O. (2020). Aproximación a los recursos hídricos potenciales en Cuba al 2030. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(1), 48-62, ISSN: 1680-0338 versión On-line ISSN: 2788-6050.
- Solano, O., Menéndez, C., Vázquez, R., Menéndez, J., & Martín, M. (2003). Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 10(1), Article 1.
- Swennenhuis, J. (2009). *CROPWAT*, (Versión 8.0),. Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO, Roma, Italia.
- Timboe, I., & Canuto, J. G. (2017). *ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático* [Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua Miembros y asociados de ONU-Agua]. Miembros y asociados de ONU-Agua.
- Valentín, Y., Hernández, A. A., Gómez, R., López, A., Vázquez, R., & Alonso, J. D. (2018). Fitófagos de banano y plátano bajo condiciones de cambio climático en Cuba. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 141-157, ISSN: 2215-3896. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.8>
- Vargas, C. R. D. C., Sánchez, G., & Rolón, J. C. (2018). *Proyecciones de cambio en la precipitación mediante vías de concentración representativas a nivel cuenca* División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Carmen E. Duarte-Díaz, Dra.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

Elisa Zamora-Herrera, MSc., Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: Elisa.Zamora@iagric.minag.gob.cu.

Yoima Chaterlán-Durruthy, Dra.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu.

Roberto Martínez-Varona, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: roberto.martinez@iagric.minag.gob.cu.

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

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES: **Conceptualización:** C. Duarte. **Curación de datos:** C. Duarte y R. Martínez. **Análisis formal:** D. C. Duarte, Y. Chaterlán, R. Martínez y E. Zamora. **Investigación:** C. Duarte, Y. Chaterlán, E. Zamora. **Metodología:** C. Duarte y R. Martínez. **Supervisión:** C. Duarte. **Validación:** C. Duarte, Y. Chaterlán y E. Zamora. **Redacción-borrador original:** C. Duarte. **Redacción-revisión y edición:** C. Duarte, Y. Chaterlán, E. Zamora y R. Martínez.

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.

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/)