



RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://cu-id.com/2284/v13n1e01>

Estimación de las necesidades hídricas del cafeto a futuro sembrado en baja altitud

Estimation of the Water needs of Future Coffee Planted in Low Altitude

MSc. Víctor M. Tejeda-Marrero¹, Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas, Dra.C. Carmen Duarte-Díaz,
Dr.C Felicitá González-Robaina, Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Dr.C Yoima Chaterlán-Duruthy.

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

RESUMEN. El trabajo se desarrolló en “Ceiba Mocha” provincia Matanzas con el objetivo de estimar las necesidades hídricas del cafeto a futuro sembrado en baja altitud ante los efectos del cambio climático. Para el estudio se tomaron los datos climáticos del modelo PRECIS en el escenario climático RCPs (trayectoria de concentración representativa) 4.5, este escenario es uno de los recomendados por el Instituto de Meteorología de Cuba para evaluar el manejo del agua en función de las diferentes regiones climáticas y cultivos representativos como el cafeto. Para la estimación de las normas de riego a mediano plazo (hasta 2050), en función de los pronósticos de variabilidad climática se utilizó el programa de modelación CROPWAT 8.0. Por último, se comparó las normas de riego obtenidas con las que aparecen en la *Resolución 17/2020* del Instituto Nacional de Recursos hidráulicos. Los resultados muestran que habrá una disminución del 55% como promedio, en las normas netas totales de riego para el cafeto según el escenario RCP 4.5 en los próximos años para la región de “Ceiba Mocha”, lo que equivale a 3537,2 m³ ha⁻¹ con respecto a la actual. La mayor diferencia entre las normas netas totales y las normas netas reducidas para el escenario estudiado, se tienen en el año 2021 la que varía en un 87%, siendo menores para el año 2048 donde están en el orden del 10%.

Palabras clave: norma neta total, norma neta reducida, escenario climático, cafeto, modelación.

ABSTRACT. The work was carried out in “Ceiba Mocha” Matanzas province, with the objective of estimating the hydric needs of the coffee tree in the future planted at low altitudes in the face of the effects of climate change. For the study, the climatic data of the PRECIS model were taken in the RCPs climate scenario (representative concentration trajectory) 4.5, this climate scenario is one of those recommended by the Cuba Meteorology Institute to evaluate water management based on the different climatic regions. and representative crops such as coffee. For the estimation of irrigation standards in the medium term (up to 2050), based on climate variability forecasts, the CROPWAT 8.0 modeling program was used. Finally, the irrigation standards obtained were compared with those that appear in Resolution 17/2020 of the Hydraulic Resources National Institute. The results showed that there will be a decrease of 55% on average, in the total net irrigation duty for the coffee tree according to the RCP 4.5 scenario in the coming years for the “Ceiba Mocha” region, which is equivalent to 3537,2 m³ ha⁻¹ with respect to the current one. The greatest difference between the total net duty and the reduced net duty for the scenario studied is in 2021, which varies by 87%, being lower for the year 2048 where they are in the order of 10%.

Keywords: Total Net Irrigation Duty, Gross Net Irrigation Duty, Climatic Scenario, Coffee, Models.

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años la agricultura ha enfrentado como uno de sus principales retos la adaptación a las diferentes condiciones del clima (Hernando & Cornejo, 2014).

En el caso del cultivo del café, los efectos del cambio climático ponen en riesgo la producción y los medios de vida de los caficultores y sus familias en todo el mundo. Los cambios

¹ Autor para correspondencia: MSc. Víctor M. Tejeda-Marrero, e-mail: dirgeneral@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4310-9976>

Recibido: 12/05/2022.

Aprobado: 09/12/2022.

en los patrones de lluvia y temperatura, así como los eventos climáticos extremos, pueden afectar los ciclos de producción e impactar negativamente la producción de café (Coffee & Climate, 2016).

Según GTZ (2014), los cambios en la época lluviosa, su distribución e intensidad afectan el crecimiento de la planta de café, la cual requiere más de 150 mm de lluvia por mes en promedio durante la floración y maduración, seguidos por un periodo seco. El mismo autor refiere que las fuertes lluvias durante este periodo o la estación lluviosa rompen el proceso de floración. Diversas investigaciones muestran cómo se afecta el rendimiento si los eventos climáticos, por ejemplo altas temperaturas, se presentan durante periodos sensibles del ciclo de vida de la planta o durante la floración o fructificación. En estas condiciones los rendimientos se verán afectados negativamente, sobre todo si se acompaña de disminución de las precipitaciones.

Dicha situación conlleva a que los caficultores deban adaptarse a las nuevas condiciones del clima asumiendo prácticas que minimicen los efectos del aumento en temperatura y otros componentes del clima.

En Cuba el clima a futuro pudiera caracterizarse por los cambios de la temperatura media del aire donde pueden elevarse hasta 4 °C, con una disminución de la precipitación anual que, según el escenario, oscilaría entre el 15 y el 63 %, acompañada del aumento de la evapotranspiración potencial y la evaporación real (CITMA-Cuba, 2015). Ello indudablemente conduce a pensar que las zonas cafetaleras de Cuba verán afectados sus producciones debido entre otras causas al déficit de agua, lo que hace necesario un estudio de las necesidades hídricas del café ante el nuevo escenario que permita una planificación adecuada de los recursos hídricos.

Una herramienta básica para los estudios del clima y para la planificación del agua son los denominados escenarios de cambio climático, que según Vargas et al. (2013) constituyen una descripción coherente, internamente consistente y plausible de una evolución futura posible del clima. Los escenarios no son predicciones, sino posibles alternativas que dependen de factores cuyo desarrollo no podemos predecir. En el caso del cambio climático antropogénico, está relacionado con la creciente

acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero.

Teniendo en cuenta los antecedentes, el presente trabajo se desarrolló con objetivo de estimar las necesidades hídricas del café a futuro sembrado en baja altitud ante los efectos del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en la UBPC “Ceiba Mocha” perteneciente al Empresa Agroforestal Matanzas en la provincia de Matanzas, sembrada de café con coordenadas geográficas latitud 22° 59' 25,9" N y longitud 81° 44' 10,5" O, a 1,7 km del poblado de “Ceiba Mocha” a una altura de 60,0 m sobre el nivel medio del mar.

Para el estudio se tomaron los datos climáticos del modelo PRECIS en el escenario climático RCPs (trayectoria de concentración representativa) 4.5, el cual no tiene un tratamiento secuencial como los SRES, sino una interacción que provoca un impacto y a la vez induce incertidumbre o limitación, por lo que fue preciso realizar una regionalización de la variable determinado su delta en función del valor definido como línea base tomado de la serie 1980-2005, lo que permitió realizar el ajuste necesario de las variables climáticas. Este escenario climático es uno de los recomendados por el Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba, para evaluar en cada sistema el manejo del agua en función de las diferentes regiones climáticas y cultivos representativos como es el caso del café.

Para la estimación de las normas de riego netas a mediano plazo (hasta 2050), en función de los pronósticos de variabilidad climática en el área de estudio se utilizó el programa de modelación CROPWAT 8.0.

El suelo del área está clasificado como Ferralítico Rojo según Hernández et al. (2005) y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades hidrofísicas por Cid et al. (2012).

Una vez procesada la información de partida se confeccionó la Tabla 1 que constituyen los datos de entrada a la ventana de suelo del programa *CropWat*.

TABLA 1. Datos de entrada del suelo en el programa *CropWat*

Sitio	Cc (cm ³ cm ⁻³)	PM (cm ³ cm ⁻³)	ATD (mm)	Da (g cm ⁻³)	Tasa Infiltración (m día ⁻¹)	Profundidad de raíces (m)
Ceiba Mocha	0,413	0,223	189,8	1,23	4,9	0,40

Leyenda: CC: Capacidad de campo, PM: punto de marchitez, ATD: Agua total disponible, Da: Densidad aparente.

Las necesidades hídricas fueron calculadas para toda la serie haciendo énfasis en los años hidrológicos húmedos, medio y seco. Para la selección de los años se realizó el estudio de una serie de 31 años (2020 – 2050) donde se determinó la probabilidad empírica a partir de la expresión:

$$P = (m - 0,3 / n + 0,4) \times 100$$

dónde,

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. El de probabilidad 25% denota un escenario húmedo, el 50% medio y 75% seco, según Pérez & Álvarez (2005).

Las fases de desarrollo fueron tomadas de Cisneros et al. (2015) por ser los datos disponibles, pero estos pueden cambiar en función de la región y su altitud geográfica (Tabla 2).

TABLA 2. Duración de las fases del café, 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 (Kc). Inicial: 1,01 medio: 1,04 final: 0,49 (Z. E. Cisneros, Rey, et al., 2015). Factor de sensibilidad (Ky): 0,52 (González et al., 2017).

Criterio de riego para la estimación de las normas netas totales

Tiempo de riego: regar cuando se alcance el agotamiento permisible.

Aplicación de riego: Regar el suelo hasta que alcance el valor de la capacidad del campo.

Eficiencia del riego: 90%. Riego Localizado.

Fracción de agotamiento permisible p= 40%.

Criterio de riego para la estimación de las normas netas reducidas

Para la reducción de las normas de riego se tuvo en cuenta los trabajos realizados por Valdés & Vento (1984) y Valdés et al. (1995) en Cuba, quienes ofrecen elementos para afirmar que el café 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 CO₂. Además, a partir del manejo agronómico del café 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 provocarían afectación en el rendimiento superior al 3%. En la Figura 1 se muestran los porcentajes de reducción en cada etapa.

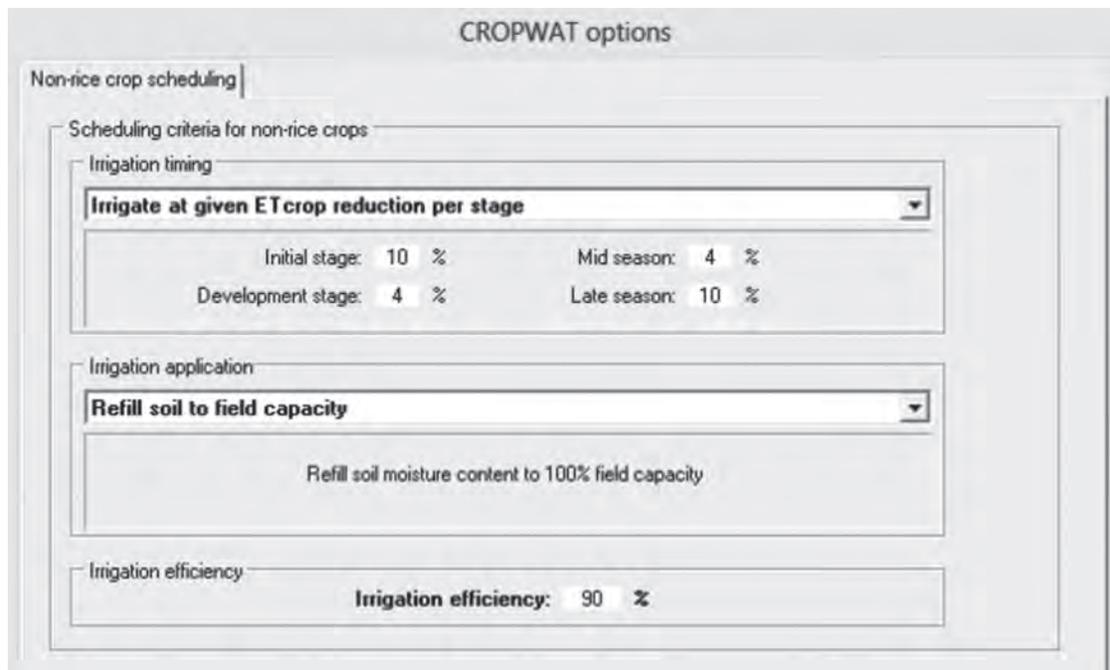


FIGURA 1. Criterio asumido para la determinación de las normas reducidas a futuro del café.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables climáticas del escenario RCP 4.5 (2020 – 2050) para “Ceiba Mocha”

En la Tabla 3 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 “Ceiba Mocha”.

TABLA 3. Valores promedios de las variables climáticas en la serie 2020-2050 de la estación meteorológica asociadas a Ceiba Mocha

Sitio	T máx. (° C)	T mín. (° C)	HR (%)	Vv (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)
Ceiba Mocha	31,17	22,30	75,7	1,49	1784,92

Leyenda: Tmáx: Temperatura máxima, Tmín: Temperatura mínima, HR: Humedad Relativa, Vv: Velocidad del viento.

Cuando se analiza el comportamiento de las variables precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0) para el sitio de estudio, se tiene que en la mayoría de los años de la serie las precipitaciones superan a la ET_0 con excepción de los años 2023, 2040, 2047, 2048 y 2050, Figura 2, para el escenario RCP 4.5, por lo que pudiera esperarse que en la programación del riego las normas netas totales serán inferiores a la de otros sitios cafetaleros. El comportamiento de estas variables climáticas en el escenario RCP 4.5 se corresponde con lo planteado por autores como Centella (2017) y Planos (2014) donde refieren que el modelo utilizado puede estar en la anomalía positiva, aunque las tendencias de los demás modelos indican una reducción en las precipitaciones a futuro.

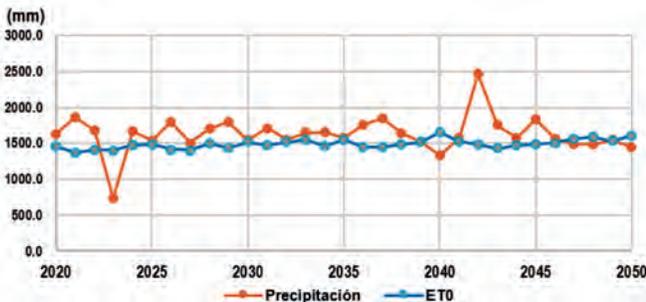
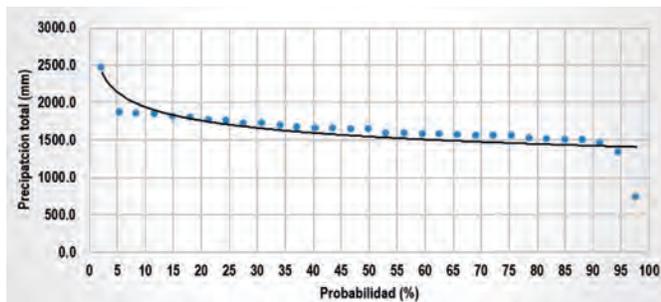


FIGURA 2. Balance hidrológico (2020-2050) para la zona de “Ceiba Mocha”.

La Figura 3 muestra el estudio de probabilidades para la región de “Ceiba Mocha” de la serie de 31 años (2020-2050), donde se clasifican los años según su probabilidad.



Año hidrológico	Año	Precipitación (mm)
Húmedo	2043	1749,98
Medio	2020	1629,25
Seco	2025	1538,48

FIGURA 3. Estudio de las precipitaciones en el escenario climático RCP 4.5 para el período 2020-2050 en Ceiba Mocha y clasificación de los años hidrológicos.

Comportamiento de la Evapotranspiración de Referencia (ET_0) en la serie 2020-2050

Un elemento a tener en consideración para la definición de las necesidades hídricas de un cultivo es la evapotranspiración de referencia (ET_0), en la Figura 4 aparece como se comportó dicho parámetro, es decir, la ET_0 real regionalizada

estimada a futuro según Solano-Ojeda *et al.* (2003) y la calculada a través del programa *CropWat* durante la serie de estudio 2020-2050 para la región de “Ceiba Mocha”, Matanzas. Puede observarse que presentan similar comportamiento y aun no definiendo la línea de tendencia, se prevé que en los próximos años exista un aumento en los valores de la misma.

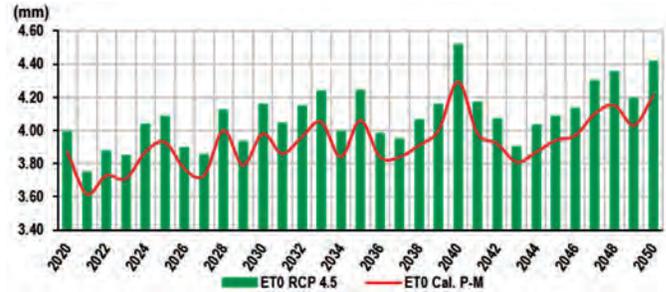


FIGURA 4. Estudio de la Evapotranspiración de Referencia (ET_0) para la serie 2020-2050 en “Ceiba Mocha”.

La diferencia entre la ET_0 regionalizada para el escenario RCP 4.5 y la calculada por el modelo *CropWat* a partir de la fórmula de Penman-Monteith varió entre 0,09 y 0,23 resultando que la propuesta por el modelo RCP 4.5 supera a la determinada por *CropWat* en un 16%.

En la Figura 5 se muestra como varió la ET_0 regionalizada y la evapotranspiración del cultivo (ET_c) determinada a través del modelo *CropWat*, obsérvese que la ET_c mantuvo el mismo comportamiento que la ET_0 a pesar de la zona presentar una alta pluviometría según el escenario RCP 4.5, la tendencia al aumento de los consumos de agua a futuro se corresponde con lo planteado por autores como Duarte *et al.* (2021) y Moinelo-Lavastida *et al.* (2021) realizando similares estudios con sorgo y frijol, respectivamente.

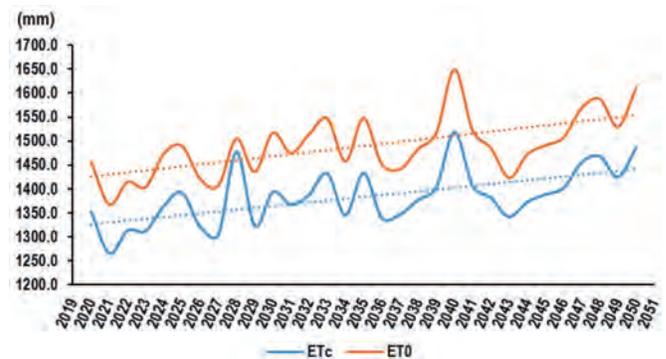


FIGURA 5. Comportamiento de la ET_0 y la ET_c para la serie 2020-2050 en Ceiba Mocha.

Cuando se analizan los valores de coeficientes global de cultivo (K_c) para la zona de estudio teniendo en cuenta los valores de ET_0 y ET_c obtenidos del estudio anterior, los mismos están en el rango de 0,92 y 0,94 como promedio de 0,93 muy similar al obtenido por Cisneros, Rey, *et al.* (2015), para la zona de San Andrés Pinar del Río de 0,86 para café en producción y regado con un sistema de Riego Localizado.

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

En la Tabla 4 se puede apreciar el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo (ETc) en función del año hidrológico para la serie estudiada donde el mayor valor se tiene en el año 2040 con 1518,0 mm y el menor consumo en el año 2021 con 1264,2 mm. La estrategia de riego obtenida a través de la programación permite garantizar que la reducción en el rendimiento no sea superior al 3%.

TABLA 4. Distribución de la norma neta total, neta parcial y reducida para cada sitio en función del año hidrológico

Sitio	Años analizados	ETc (mm)	Norma neta total (mm)		Norma neta parcial (mm)		No. de riegos		Reducción Rendimiento (%)
			SR	CR	SR	CR	SR	CR	
Ceiba Mocha Matanzas	2020	1351,4	384,9	247,7	29,6	4,93	13	6	1,1
	2021	1264,2	95,8	40,2	31,9	31,93	3	1	0,5
	2022	1311,5	320,8	145,5	32,1	10,69	10	3	0,9
	2023	1311,1	813,6	557,4	37,0	3,08	22	12	2,6
	2024	1363,1	417,3	140,4	32,1	10,70	13	3	1,0
	2025	1390,9	645,0	281,9	32,3	5,38	20	6	1,5
	2026	1319,7	318,6	147,1	31,9	10,62	10	3	0,9
	2027	1302,1	320,1	241,3	32,0	6,40	10	5	1,3
	2028	1475,8	621,9	239,6	32,7	6,55	19	5	2,3
	2029	1321,4	320,0	188,2	32,0	6,40	10	5	1,0
	2030	1392,0	485,9	322,1	32,4	4,63	15	7	1,5
	2031	1366,0	409,5	47,7	31,5	31,50	13	1	0,9
	2032	1387,2	484,9	281,7	32,3	5,39	15	6	1,4
	2033	1431,1	517,5	240,1	32,3	6,47	16	5	1,5
	2034	1343,6	414,7	277,2	31,9	5,32	13	6	1,4
	2035	1431,8	509,4	237,0	31,8	6,37	16	5	1,0
	2036	1338,4	377,6	231,7	31,5	6,29	12	5	1,4
	2037	1345,4	385,0	189,8	32,1	8,02	12	4	1,3
	2038	1375,6	545,9	222,1	32,1	6,42	17	5	1,5
	2039	1402,2	582,2	324,3	32,3	4,62	18	7	1,5
	2040	1518,0	815,1	469,5	34,0	3,40	24	10	1,8
	2041	1404,7	487,4	333,1	32,5	4,64	15	7	1,5
	2042	1380,4	513,8	280,2	32,1	5,35	16	6	1,2
	2043	1340,7	291,6	147,5	32,4	10,80	9	3	0,9
	2044	1370,9	417,4	143,8	32,1	10,70	13	3	1,3
	2045	1387,3	325,4	135,3	32,5	10,85	10	3	1,1
	2046	1400,3	430,2	276,9	33,1	5,52	13	6	1,5
	2047	1453,9	556,6	192,7	32,7	8,19	17	4	1,3
	2048	1466,9	714,3	290,2	32,5	5,41	22	6	1,9
	2049	1423,4	548,4	236,2	32,3	6,45	17	5	1,2
	2050	1485,2	798,4	332,0	31,9	4,56	25	7	1,5

Legenda: SR: Sin reducción; CR: Con Reducción

En la misma tabla se muestra que las normas netas totales variaron en función del año, teniendo valores que van desde los 95,8 mm anuales hasta los 815,1 mm anuales. La norma neta total reducidas en correspondencia con los años, estuvo en el rango de 40,2 mm y los 469,5 mm anuales.

La norma neta parcial alcanzó valores que van desde 296,1 m³ ha⁻¹ a 369,8 m³ 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 donde informa valores de 250,0 m³ ha⁻¹.

Del análisis se puede estimar que las necesidades hídricas del café para un año húmedo (2043) es de 291,6 mm anuales, para un año medio (2020) de 384,9 mm anuales y para un año seco (2025) de 645,0 mm anuales los que pueden considerarse como confiables para la planificación de los recursos hídricos en la zona de estudio asumiendo el escenario RCP 4.5.

En la Figura 6 puede observarse la correspondencia entre las precipitaciones y las normas netas necesaria aplicar como suplemento de las mismas para satisfacer las necesidades hídricas del café, en el año 2023 es donde se produce la menor precipitación con 729,64 mm y la mayor norma parcial con 813,6 mm, mientras

que en los años 2042-2046 las precipitaciones son abundantes y se tienen las menores normas netas parciales. Lo anterior está en función de la distribución mensual de las lluvias lo que confirma la fiabilidad del modelo *CropWat* para estimar las necesidades de riego a futuro. Similar comportamiento ha sido informado por González-Robaina *et al.* (2018) trabajando con el modelo *AquaCrop*.

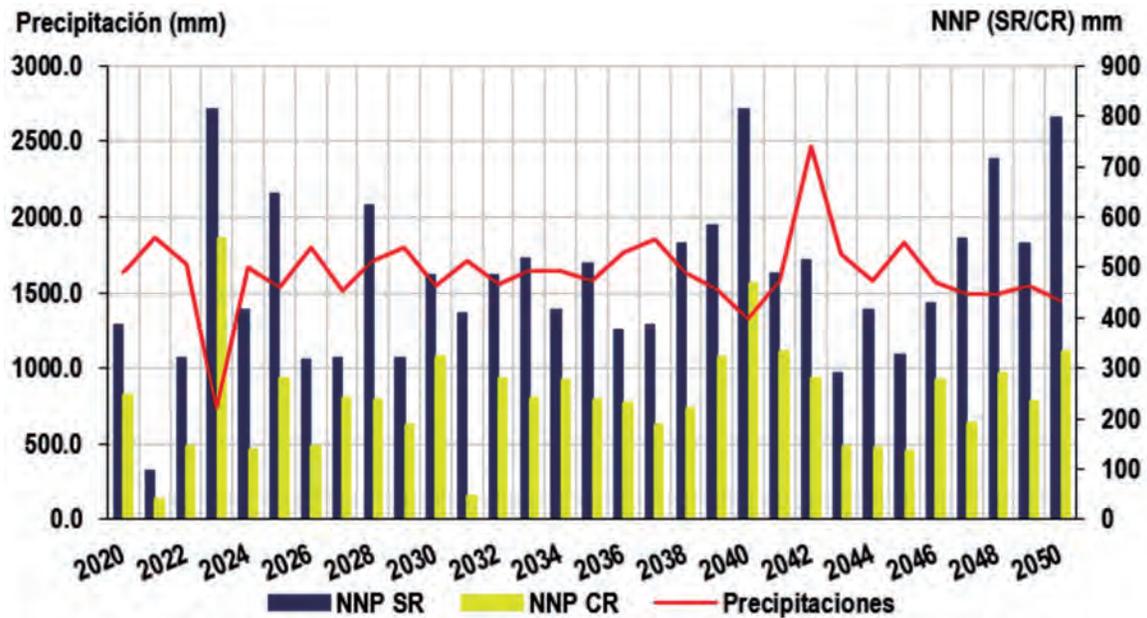


FIGURA 6. Distribución de las normas netas parciales (NNP), sin reducción (SR), con reducción (CR) y su relación con las precipitaciones por años en Ceiba Mocha.

En cuanto a los números de riego (Figura 7) se tiene que existe similar comportamiento. La menor diferencia se tiene en el año 2021 con 2 riegos y la mayor en el año 2050 con 18 riegos. Esto se corresponde con el año hidrológico, en el 2021 es donde se tienen las mayores precipitaciones para el escenario RCP 4.5 y en el 2050 la mayor norma neta parcial coincidiendo con un periodo poco lluvioso dentro de la serie estudiada. En el resto de los años las diferencias no sobrepasan el 28%.

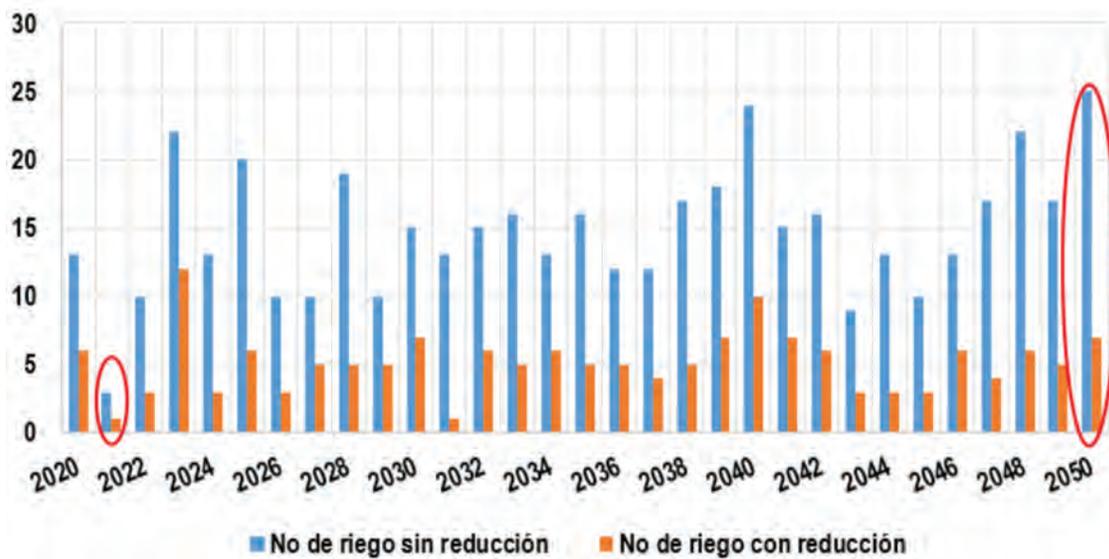


FIGURA 7. Diferencias en cuanto al número de riegos por años de estudio.

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 5 se puede observar la norma neta total aprobadas por el INRH GOC-2020-557-061-Cuba (2020)

para el riego del café en la provincia de Matanzas y las estimadas a través del programa *CropWat*. En la mayoría de los años las estimadas son inferiores a la actual con excepción de los años 2023, 2040 y 2050 donde son mayores, lo que indica en el futuro para el escenario RCP 4.5 el café necesitará normas inferiores a la actual para satisfacer las necesidades hídricas.

TABLA 5. Comparación entre la norma neta total estimada y la aprobada en la Resolución 17/2020 del INRH

Sitio	Año analizados	SR	Norma neta Total INRH 17/2020 (mm)	Diferencia	% de reducción
	2020	384,9		413,18	51,8
Ceiba	2021	95,8		702,28	88,0
Mocha	2022	320,8		477,28	59,8
Matanzas	2023	813,6		-15,52	
	2024	417,3		380,78	47,7
	2025	645,0		153,08	19,2
	2026	318,6		479,48	60,1
	2027	320,1	798,08	477,98	59,9
	2028	621,9		176,18	22,1
	2029	320,0		478,08	59,9
	2030	485,9		312,18	39,1
	2031	409,5		388,58	48,7
	2032	484,9		313,18	39,2
	2033	517,5		280,58	35,2
	2034	414,7		383,38	48,0
	2035	509,4		288,68	36,2
	2036	377,6		420,48	52,7
	2037	385,0		413,08	51,8
	2038	545,9		252,18	31,6
	2039	582,2		215,88	27,0
	2040	815,1		-17,02	
	2041	487,4		310,68	38,9
	2042	513,8		284,28	35,6
	2043	291,6		506,48	63,5
	2044	417,4		380,68	47,7
	2045	325,4		472,68	59,2
	2046	430,2		367,88	46,1
	2047	556,6		241,48	30,3
	2048	714,3		83,78	10,5
	2049	548,4		249,68	31,3
	2050	798,4		-0,32	0,0

En sentido general para los años estudiados la norma neta total estimada a futuro es inferior en más de un 50% a la actual, por lo que se puede considerar como no usuales si se tiene en cuenta que para la mayoría de los escenarios, según Cortés-Bello et al. (2013) y Planos et al. (2012), tienden a existir 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 en el escenario RCP 4.5 según la variabilidad climática, en los próximos años para la región de “Ceiba Mocha”, Matanzas, indica que habrá una disminución de las mismas como promedio en un 55% que equivalen a 3537,2 m³ ha⁻¹ con respecto a la actual.
- La mayor diferencia entre las normas netas totales y las normas netas reducidas para el escenario RCP 4.5, se tienen en el año 2021 la que varía en un 87%, siendo menores para el año 2048 donde están en el orden del 10%.
- El criterio de reducir las normas netas para el café 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%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centella, A. (2017). *La estimación del clima futuro y los escenarios climáticos* [Parte 1 y 2]. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
- Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 2(2), 25-31, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Cisneros, E., Rey, R., Zamora, E., & González, F. (2006). Influencia del manejo del riego en el rendimiento del café. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(2), 42-46, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- Cisneros, Z. E., González, R. F., Martínez, V. R., López, S. T., & Rey, G. Á. R. (2015). Respuesta productiva del café al manejo del riego. Función agua-rendimiento. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 5-11, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

- Tejeda-Marrero *et al.*: Caracterización a futuro de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia, en diferentes zonas de Cuba
- Cisneros, Z. E., Rey, G. R., Martínez, V. R., López, S. T., & González, R. F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el café en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 23-30, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- CITMA-Cuba. (2015). *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba.
- Coffee & Climate. (2016). *La adaptación al cambio climático en la producción de café. Una guía paso a paso para apoyar a los productores de café en la adaptación al cambio climático*. Coffee & Climate. www.coffeeandclimate.org
- Cortés-Bello, C., Bernal-Patiño, J., Díaz-Almanza, E., & Méndez-Monroy, J. (2013). Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Valle del Cauca. *FAO, Bogotá, DC, Colombia*.
- Duarte, D. C., Zamora, H. E., Herrera, P. J., González, R. F., & Chaterlan, D. Y. (2021). *Manejo de las normas netas totales de riego en el frijol ante el cambio climático*. 11(4), 3-9, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- GOC-2020-557-061-Cuba. (2020). Resolución 17:2020. Índices de consumo de agua. Gaceta Oficial No. 61. *Gaceta Oficial de Cuba*, 61, 9-35, ISSN 1682-7511.
- González, R. F., Cisneros, Z. E., & Montilla, E. (2017). The coffee tree (*Coffea arabica* L.) response to water deficit in different development phases. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3), 4-11, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- González-Robaina, F., Ajalla, R., Díaz-Pérez, Y., Herrera-Puebla, J., López-Seijas, T., & Cid-Lazo, G. (2018). Simulación del efecto del estrés hídrico en el cultivo del sorgo en suelo Ferralítico Rojo. *Ingeniería Agrícola*, 8(1), 3-12, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- GTZ. (2014). *El cambio climático influye en la agricultura, la agricultura influye en el cambio climático*. GTZ, DC1010.pdf agosto de 2014. <http://www.riesgoycambioclimatico>
- Hernández, A., Ascanio, M., Morales, M., & Cabrera, A. (2005). 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. *La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)*, 18-59.
- Hernando, I. C., & Cornejo, H. J. C. (2014). *El cambio climático y su impacto en el cultivo del café*. ISBN: 9789070526320. www.solidaridadnetwork.org.
- Moinelo-Lavastida, M. I., Duarte-Díaz, C. E., Zamora-Herrera, E., Herrera-Puebla, J., & Vázquez-Montenegro, R. J. (2021). Predicción de normas netas de riego del sorgo en la zona occidental de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 11(3), 3-8, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- Pérez, R., & Álvarez, M. (2005). Necesidades de Riego de la Caña de Azúcar en Cuba. *Editorial Academia-IIRD, Formato digital. C. Habana, Cuba, Capítulos*, 2(3), 4.
- Planos, E. O. (2014). *Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. CITMA, Agencia de Medio Ambiente (AMA), La Habana, Cuba.
- Planos, G. E., Rivero, R., & Guevara, V. V. (2012). *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. CITMA, Agencia de Medio Ambiente (AMA), La Habana, Cuba.
- Solano-Ojeda, O., Montenegro-Vázquez, R., Martín-Menéndez, J. G., & Menéndez-García, C. (2003). Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 10(1), ISSN: 2664-0880.
- Valdés, R., Barrera, M. R., Pombo, F. R., & Vento, D. H. (1995). Caracterización del sistema de pigmentos foytosintéticos en plantas de cafetos. *Revista Chapingo, Horticultura*, 4, 29-32.
- Valdés, R., & Vento, H. (1984). Estudio del contenido de los principales productos de la fotosíntesis en plantas de *Coffea arabica* L. (Variedad Caturra) cultivadas bajo diferentes dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, 6(1), 111-122.
- Vargas, R. del C., Sánchez, G., & Rolón, J. (2013). Proyecciones de cambio en la precipitación mediante Vías De Concentración Representativas a Nivel Cuenca. *Universidad Autónoma de Tamaulipas*, 1-16, Tamaulipas, México.

Victor Manuel Tejeda-Marrero, MSc., 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, e-mail: dirgeneral@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4310-9976>

Enrique Cisneros-Zayas, Dr.C., Inv. Titular, 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; 645-1353a, e-mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu, cisnerozayasenrique@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1021-0680>

Carmen E. Duarte-Díaz, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7887-6289>

Felicita González-Robaina, Dr.C., 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: felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8245-4070>

Julián Herrera-Puebla, Dr.C., 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@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1015-6661>

Yoima Chaterlán-Durruthy, Dr.C., 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 ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8453-3394>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros Zayas. Curación de datos: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros-Zayas, Felicita González-Robaina. Análisis formal: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros-Zayas, Felicita González-Robaina, Julián Herrera-Puebla. Investigación: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros-Zayas, Carmen Duarte-Díaz, Felicita González-Robaina, Julián Herrera-Puebla, Yoima Chaterlán-Durruthy. Metodología: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros-Zayas, Yoima Chaterlán-Durruthy. Supervisión: Carmen Duarte-Díaz, Felicita González-Robaina, Julián Herrera-Puebla. Redacción-borrador original: Víctor M. Tejeda-Marrero, Enrique Cisneros-Zayas. Redacción-revisión y edición: Carmen Duarte-Díaz, Felicita González-Robaina, Julián Herrera-Puebla, Yoima Chaterlán-Durruthy.

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

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