





Cambio climático y demanda de riego del arroz (*Oriza sativa* L.) en Cuba

Climate change and irrigation demand for rice (Oriza sativa L.) in Cuba

 Julián Herrera-Puebla^{1*},  Carmen Duarte-Díaz¹,  Enrique Cisneros-Zayas¹ and  Felicita González-Robaina¹

¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric).

Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaria, Boyeros, La Habana, Cuba.

E-mail: carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu, enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu, felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu

*Autor para correspondencia: Julián Herrera-Puebla, e-mail: julian.herrera@iagric.minag.gob.cu

RESUMEN: Dado los posibles efectos del cambio climático (CC), expresados en el aumento de las temperaturas y la disminución de las lluvias, se prevé entre los principales impactos motivado por el CC para el cultivo del arroz en el país la reducción de la superficie de cultivo, debido a la menor disponibilidad de agua, cosechas de menor calidad y magnitud total. Teniendo en cuenta lo anterior, y la importancia de este cultivo para el país este trabajo se propuso estudiar el efecto de la variación de las lluvias utilizando el escenario climático SSP1 2.6 y tres modelos climáticos regionales (Hadm3-gc31-ll-SSP12.6, Mpi-esm1-2-hr-SSP126 y Mri-esm2-0-SSP126), con variables climáticas hasta el año 2050, utilizando el programa CropWat 8.0 para el cálculo de la demanda de riego en seis sitios distribuidos en la región Occidental (2), Central (2) y Oriental (2) del país. Con independencia del modelo estudiado para la evaluación de las precipitaciones hubo una disminución de los valores desde occidente hacia el oriente, con promedios de 1644, 1467,5 y 1239,1 mm año⁻¹ para la zona occidental, central y oriental, respectivamente; la demanda del agua fue superior en el modelo Hadgm3-gc31 con norma bruta promedio de los 6 sitios estudiados de 1337,5 mm para un ciclo de 130 días y superior en un 5,8 y 4,3 % para los modelos Mpi-esm1-2hr-SSP126 y Mri-esm2-0-126, respectivamente. Se sugiere continuar los estudios sobre el tema incluyendo el posible efecto de las temperaturas en la disminución tanto del ciclo como del rendimiento del cultivo.

Palabras clave: variabilidad climática, consumo de agua, modelaje.

ABSTRACT: Given the possible effects of climate change (CC), expressed in the increase in temperatures and the decrease in rainfall, it is expected among the main impacts motivated by CC for rice cultivation in the country the reduction of the crop area, due to the lower availability of water, lower quality crops and total magnitude. Taking into account the above, and the importance of this crop for the country, this work was proposed to study the effect of rainfall variations using the SSP1 2.6 climate scenario and three regional climate models (Hadm3-gc31-ll-SSP12.6, Mpi-esm1-2-hr-SSP126 and Mri-esm2-0-SSP126), with climatic variables until the year 2050, using the CropWat 8.0 program to calculate irrigation demand at six sites distributed in the Western (2), Central (2) and Eastern (2) regions of the country. Regardless of the model studied for the evaluation of rainfall, there was a decrease in values from west to east, with averages of 1644, 1467,5 and 1239,1 mm year⁻¹ for the western, central and eastern zones, respectively; water demand was higher in the Hadgm3-gc31 model with an average gross water demand of 1337,5 mm for the 6 sites studied for a 130 day cycle and 5,8 and 4,3 % higher for the Mpi-esm1-2hr-SSP126 and Mri-esm2-0-126 models, respectively. It is suggested that further studies on the subject be continued, including the possible effect of temperatures on the decrease of both the cycle and the yield of the crop.

Keywords: Climate Variability, Water Consumption, CropWat.

INTRODUCCIÓN

El consumo de arroz en Cuba se ha estimado en unos 70 kg per cápita anual, por lo que el país demanda unas 700 000 toneladas de este grano (Gutiérrez y Lau, 2019). La producción promedio de arroz cascara para los años 2018-2022 fue de 297 281 toneladas, lo que equivale aproximadamente a 134 000 toneladas de arroz consumo, mientras que para ese mismo quinquenio la importación promedio anual de arroz consumo fue de

477 480 toneladas ONEI-Cuba (2022), lo cual significa que el país ha requerido importar como promedio el 78% del arroz que consume. Las cifras anteriores indican la importancia de este cultivo para el país y la necesidad del incremento de su producción con vistas disminuir en la mayor medida posible de tan alto volumen de importación. A esta disyuntiva resalta el posible efecto a futuro del cambio climático sobre la producción de arroz en Cuba, sobre todo en cuanto a la posibilidad de suplir o no su demanda de agua.

Recibido: 20/04/2025

Aceptado: 18/09/2025

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

Contribuciones de los autores: **Conceptualización:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros, F. González. **Curación de datos:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros. **Análisis formal:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros. **Investigación:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros. **Metodología:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros, F. González. **Software:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros, F. González. **Supervisión:** J. Herrera, C. Duarte. **Validación:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros. **Redacción del borrador original:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros. **Redacción, revisión y edición:** J. Herrera, C. Duarte, E. Cisneros, F. González.

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



La Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CITMA-Cuba, 2020), prevé entre los principales impactos motivado por el CC para el cultivo del arroz en el país la reducción de la superficie de cultivo por aniego, debido a la menor disponibilidad de agua, cosechas de menor calidad y magnitud total.

Por otra parte, según *Hervis et al. (2019)*, las afectaciones potenciales más relevantes para el desarrollo de la agricultura se centran en las variables climáticas como la temperatura y la precipitación, a distintas escalas de tiempo y en dependencia de la región, donde en los cambios locales a futuro aumenta en 1,0°C la temperatura media anual y en 2,0°C la temperatura mínima media anual. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), en su sexto informe define las vías socioeconómicas compartidas (SSP), las cuales reemplazan a las nombradas Trayectorias de Concentración Representativas (RPC), estas vías socioeconómicas compartidas (SSP) como escenarios modelados, que se usan para explorar las emisiones futuras, el cambio climático, los impactos, las posibles estrategias de mitigación y adaptación, además, se vincula la proyección futura correspondiente de las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio de uso de la tierra bajo el argumento del SSP de referencia como una versión nueva y mejorada de los RCP (*Environment and Climate Change Canada, 2023*).

En particular, el SSP1-2.6 es un escenario que comienza en 2015 y tiene emisiones de GEI bajas, y emisiones de CO₂ que disminuyen hasta llegar a emisiones netas iguales a cero, alrededor o después de 2050, seguido de niveles variables de emisiones netas negativas de CO₂ (*Januta, 2021*). Es un escenario optimista desarrollado con el fin de simular un desarrollo compatible con la meta de 2°C (es improbable que se supere un calentamiento global de 2 °C, temperatura estimada: 1,5 °C), camino hacia un mundo sostenible y verde (*IPCC, 2021*).

En los estudios sobre la demanda de agua a futuro del cultivo del arroz en diversos países (*Gilanipour y Gholizadeh, 2016; Kyu y Truong, 2018; Hastarai et al., 2022; Agrawal et al., 2023* entre otros) ha sido ampliamente utilizado el programa CropWat desarrollado por *Smith (1992)*, en su versión más moderna CropWat 8.0 (*FAO, 2008*). El programa CropWat

calcula la evapotranspiración potencial utilizando la ecuación de Penman-Monteith, para lo que requiere datos de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, e insolación; a partir de estos datos y utilizando el coeficiente de cultivo puede calcular la evapotranspiración del cultivo para el sitio que se seleccione. Además, requiere de datos de lluvia, y suelos, este último dato, para el caso del arroz demanda un tratamiento diferente al resto de los cultivos tomando en cuenta que el arroz se cultiva en la mayor parte del mundo mediante riego por inundación. Todos estos datos se trabajan en sub-rutinas diferentes que luego el programa une para el cálculo de la demanda y programación del riego (*FAO, 2009*).

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo se planteó como objetivo estudiar el efecto de la variación de las lluvias utilizando el escenario climático SSP1-2.6 y tres modelos climáticos regionales (Hadgem3-gc31-ll-SSP1 2.6, Mpi-esm1-2-hr-SSP126 y Mri-esm2-0-SSP126), con variables climáticas hasta el año 2050, utilizando el programa CropWat 8.0 *FAO (2008)* para el cálculo de la demanda de riego del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La *Tabla 1* muestra la localización de los sitios estudiados, las coordenadas geográficas mostradas corresponden a la ubicación de la estación meteorológica utilizada.

Lluvias

Con vistas a organizar los datos requeridos por las diferentes sub-rutinas del programa CropWat, se realizó el análisis de las lluvias de los principales polos arroceros del país (*Tabla 1*) para el período 2022-2050.

Este análisis se realizó para 3 modelos y un mismo escenario SSP1-2.6:

- Hadgem3-gc31-ll-SSP1-2.6 (modelo1)
- Mpi-esm1-2-hr-SSP1-2.6 (modelo 2)
- Mri-esm2-0-SSP1-2.6(modelo 3)

Para el análisis de las lluvias se consideraron, según *Aleman et al., 2020*), 3 ciclos de cultivo de arroz, Frio (diciembre-mayo, ciclo 150 días), pre primavera (mayo-septiembre, ciclo 140 días) y primavera (julio-octubre, ciclo 110 días).

TABLA 1. Sitios de estudio

Sitio	Provincia	Coordenadas		Altura (m.s.m.m)
		Norte	Oeste	
Paso Real de San Diego	Pinar del Río	22°33'47"	83°18'26"	47
El Corojal	Artemisa	23° 29' 4,1"	83° 24' 6,26"	38
La Sierpe	Sancti Spíritus	21°46' 18,03"	79°16'6,22"	41
Vertientes	Camagüey	21° 52'68"	78° 22'58"	32
Jucarito	Granma	20°40'6,76"	76°33'10,12"	37
Yara	Granma	20°13'38,59"	76°57'3,40"	41

Los datos de lluvias fueron ordenados por meses dentro de cada año y calculada la lluvia ocurrida para cada ciclo de cultivo en el total de los 29 años estudiados para los principales polos arroceros del país, los cuales se muestran en la [Tabla 1](#).

Los datos de lluvia, ordenados como se describió anteriormente, fueron analizados para su uso posterior en el cálculo de la demanda de agua del cultivo siguiendo el procedimiento señalado por [FAO \(2016\)](#) para su uso en el programa CropWat 8.0.

Suelos

[Martínez et al., 2017](#)) realizaron una distribución de los tipos de suelos que predomina en los diferentes polos arroceros en cada provincia, la cual se muestra en la [Tabla 2](#).

[Ascanio et al. \(1980\)](#) basándose en la II Clasificación genética de los suelos de Cuba, agrupo los suelos arroceros de Cuba en 7 tipos según se muestra en la [Tabla 2](#), mientras que [Martínez et al. \(2017\)](#) realizaron una distribución de estos tipos de suelos en los diferentes polos arroceros en cada provincia.

A partir de los datos de las propiedades físicas de los suelos arroceros existentes en la base de datos del IAgriC, y los trabajos de [Simeón \(1979\)](#), [Ascanio et al. \(1980\)](#) y [Cid et al. \(2012\)](#), se preparó el fichero de propiedades de estos suelos según cada sitio, donde los tipos de suelo predominantes en cada uno fueron tomados del mapa de suelos 1:25 000 de cada una de las provincias donde se ubican los sitios de estudio.

De acuerdo a la distribución de suelos mostrada en la [Tabla 2](#), y las tres categorías en que los agrupó [Samaké \(1998\)](#), se elaboró la [Tabla 3](#) que muestra los parámetros utilizados en el módulo suelo del programa CropWat para cada sitio considerado en el estudio.

Coefficientes de cultivo

Los coeficientes de cultivo (Kc) fueron calculados para los sitios a estudiar, a partir de los Kc propuestos por

[Herrera-Puebla et al. \(2020\)](#) para la región occidental de Cuba utilizando la metodología propuesta por [Allen et al. \(2006\)](#). Para el cálculo del Kc inicial, en su metodología, [Allen et al. \(2006\)](#), establecieron que para el caso en que el arroz se desarrolla en campos inundados con una lámina de agua de 0,10-0,20 m, el valor de ETc durante la etapa inicial consistirá principalmente de la evaporación que ocurre de la superficie del agua.

El valor de Kc_{inicial} incluido por los autores antes citado es de 1,05 para un clima sub-húmedo con vientos ligeros a moderados, sin embargo, para las condiciones de la región occidental de Cuba, [Herrera-Puebla et al. \(2020\)](#), encontraron un valor del Kc inicial de 0,8, que fue el utilizado para la extrapolación de los coeficientes medio y final de los sitios adonde se calculará la demanda de riego. La [Tabla 4](#) muestra los coeficientes de cultivo para cada sitio de estudio y su comparación con los Kc propuestos por [Allen et al. \(2006\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las Lluvias

La [Figura 1](#) muestra el comportamiento de las lluvias anuales y por épocas para cada escenario en los sitios estudiados; en la misma puede observarse que independientemente del modelo hay una disminución de los valores de lluvia desde occidente hacia el oriente, con valores promedios de los tres escenarios de 1644, 1467,5 y 1239,1 mm año⁻¹ para la zona occidental, central y oriental, respectivamente. También el coeficiente de variación (C.V) de las lluvias anuales es mucho menor en la zona occidental y central que en la oriental, indicando esto una mayor consistencia en los valores promedios para esta región. En la zona occidental el escenario 2 (Mpi-esm1-2-hr-SSP126) mostró los mayores valores de lluvia anual promedio (1715,2 mm año⁻¹), mientras que, en la región oriental, los mayores valores correspondieron al escenario 1 (1287,2 mm año⁻¹) en el modelo Hadgem3-gc3SSP126.

Tabla 2. Tipos de suelos predominantes en las áreas arroceras de Cuba y Distribución por provincias ([Ascanio et al. \(1980\)](#) y [Martínez et al. \(2017\)](#))

Tipos	Suelos	Polos arroceros	Grupos de infiltración según Samaké (1998)
I	Oscuros plásticos gleyzados y húmicos, gley típico (de textura arcillosa pesada)	Matanzas, Sancti Spiritus Granma.	I
II	Oscuros plásticos gleyzados y gleyzados	Artemisa y Mayabeque	II
III	Gley Ferralíticos	Pinar del Río y Camagüey	III
IV	Oscuros plásticos gleyzados (de estructura granular hasta los 40 cm)	Matanzas, Sancti Spiritus Granma.	I
V	Gley húmicos típicos (de textura loamosa)	Granma	I
VI	Gley amarillento cuarcítico concrecionarlos laterizados	Pinar del Río, Camagüey	III
VII	Gley amarillento cuarcítico típico y concrecionarlos	Pinar del Río, Artemisa	III

Tabla 3. Parámetros a emplear en el módulo "suelos" del programa CropWat 8.0 para el cálculo de la demanda de riego en el arroz

Parámetro	Grupo I	Grupo II	Grupo III
	Matanzas, Sancti Spiritus, Granma	Artemisa, Mayabeque	Pinar del Río, Camagüey
Humedad Total disponible en el suelo (CC-CM, mm m ⁻¹)	270	250	170
Tasa máxima de infiltración de la lluvia (mm día ⁻¹)	17	17	43
Profundidad radicular máxima del cultivo (cm)	50	50	50
Agotamiento inicial de la humedad del suelo (como % de ADT (%))	100	100	100
Humedad del suelo inicialmente disponible (mm m ⁻¹)	0	0	0
Porosidad drenable (SAT-CC) %	5	9	9
Agotamiento crítico para grietas del fangueo (fracción)	0,6	0,6	0,6
Tasa máxima de percolación después del fangueo (mm día ⁻¹)	2,6	2,6	2,6
Disponibilidad de agua a la siembra (% de saturación)	0	0	0
Altura máxima de la lámina de agua (mm)	100	10	10

Tabla 4. Coeficientes de cultivo (Kc) para los diferentes sitios.

Coeficiente	Allen et al. (2006)	Paso Real y Corojal	La Sierpe y Sur del Jibaro	Vertientes	Jucarito	Yara y Veguitas	Kc promedio
Siembra de frío							
Kc _{inicial}	1,1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Kc _{medio}	1,2	1,40	1,30	1,30	1,30	1,13	1,29
Kc _{final}	1,05	1,3	1,18	1,19	1,23	1,23	1,23
Siembra de Primavera							
Kc _{inicial}	1,1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Kc _{medio}	1,2	1,33	1,40	1,30	1,31	1,21	1,31
Kc _{final}	1,05	1,23	1,30	1,20	1,21	1,17	1,22

En la zona central los escenarios 1 y 2 tuvieron similar valor de lluvias anuales (1456,5 mm año⁻¹); en todos los sitios estudiados el menor valor correspondió al escenario 3, con un valor promedio para todos los sitios de 1380,9 mm año⁻¹.

También para el período lluvioso, las lluvias en occidente y centro, así como el C.V, muestran valores superiores a la región oriental en los tres modelos estudiados. Sin embargo, para el período poco lluvioso, solo en el modelo 1 (modelo Hadgem3-gc31-ll-SSP1 2.6) hay una neta superioridad en el valor de las lluvias para la región occidental, pero también presenta los mayores valores de C.V.

El comportamiento de la lluvia mensual promedio de todos los sitios bajo estudio y para cada escenario se muestra en la Figura 2.

Para cualquiera de los modelos los menores valores de lluvia se encuentran en los meses de noviembre a abril correspondientes al período seco del año, y los mayores en los meses de mayo a octubre, donde puede observarse una disminución de las lluvias en los meses de julio y agosto equivalentes al 30, 20 y 20% para los modelos 1,

2 y 3, respectivamente, con relación al total de lluvias que ocurrirían en el resto de los meses del período lluvioso. Este período denominado campaña de frío, de acuerdo con Carrazana et al. (2013), se caracteriza por el mayor ciclo evolutivo y expresión del potencial de rendimiento, influenciado estos aspectos por el comportamiento de las temperaturas y la radiación solar, también le corresponde la mayor demanda de agua por un mayor ciclo evolutivo y el período lluvioso del año.

La Figura 3 muestra los valores de lluvia para cada período de siembra, escenario y sitio; como era de esperar, los valores de lluvia en el período 1 (Figura 3a, siembra en diciembre y duración del ciclo de 150 días) que corresponden al período de seca es el de menor lluvia total independientemente del sitio o modelo. Por su parte el período 2 (Figura 3b) donde el crecimiento del cultivo coincide con la época de lluvias, es el de mayor acumulado de precipitación también independiente del sitio y escenario. El período 3 (Figura 3c) muestra una situación intermedia entre los dos anteriores.

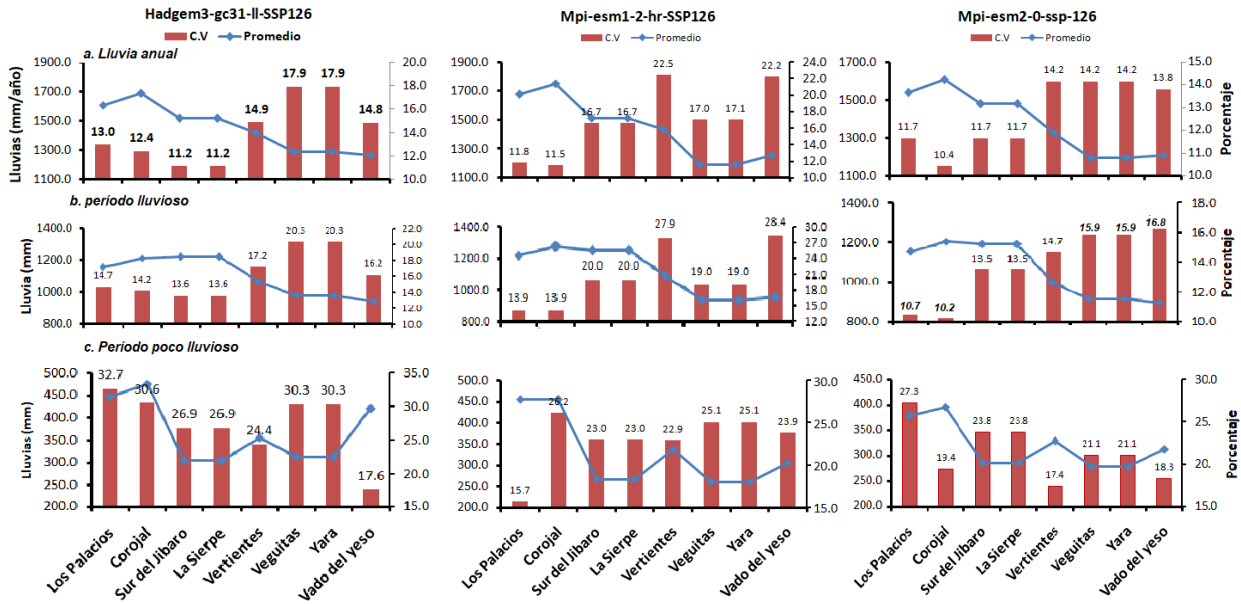


Figura 1. Lluvia promedio anual y por épocas en los tres escenarios para cada uno de los sitios bajo estudio.

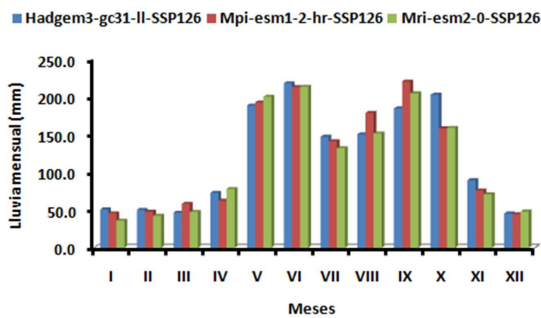


Figura 2. Lluvias mensuales promedio de todos los sitios para los tres modelos estudiados.

Las Tabla 5 muestran los valores calculados de la probabilidad de la lluvia para la región occidental y central y la región oriental. Como muestra la Tabla 5, existen diferencias, aunque ligeras, entre los coeficientes para cada sitio y época de siembra, esto es así porque Kc depende tanto de las condiciones climáticas (evapotranspiración potencial) como del desarrollo del cultivo, el cual determina la evapotranspiración del mismo.

De los resultados obtenidos, en cuanto a los parámetros de lluvias, coeficientes de cultivo y propiedades de suelo de los diferentes sitios en los que se determinará la demanda de agua a futuro del arroz, según el escenarios SSP1 2.6 y los 3 modelos estudiados, se observa la gran variación de las lluvias entre regiones, donde se muestra que independientemente del modelo hay una disminución de los valores de lluvia desde occidente hacia el oriente, con valores promedios de los tres escenarios 1644, 1467,5 y 1239,1 mm año⁻¹ para la zona occidental, central y oriental, respectivamente, lo cual de conjunto con las variaciones en los Kc y los tipos de suelos entre sitios impondrá variaciones en la demanda de riego del cultivo.

Las variaciones en las probabilidades de la lluvia entre años, regiones y modelos, demuestra lo acertado de escoger la lluvia del período en que se siembra el cultivo en lugar del año climático o hidrológico.

Dado que el período de siembra correspondiente al llamado "período frío" es donde se obtienen los mayores rendimientos y es donde también ocurren las mayores demandas de agua, se decidió, al calcular las demandas de agua a futuro del cultivo, trabajar solo con este período, ya que cualquier planificación de demanda de agua para proyecto de un sistema de riego para el cultivo de arroz estaría recogida en la demanda de este ciclo.

Balance Hídrico

El balance hídrico mostrado en la Figura 4, fue calculado a partir de los valores de ETo calculados mediante la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006) y las lluvias mensuales para cada modelo y sitio.

Como puede observarse en la Figura 4, en todos los modelos en igual escenario SSP1-2.6 hay un marcado desbalance entre las lluvias y la ETo en los meses correspondientes al período poco lluvioso. Mientras que en la región occidental y central este déficit desaparece a partir del mes de mayo, en la región oriental en los modelos 1 y 3 se mantiene durante todo el año, mientras que en el modelo 2, desaparece a partir del mes de agosto hasta el mes de noviembre.

Evapotranspiración del cultivo

Según Bouman *et al.* (2012), la ETc para un ciclo de cultivo de arroz varía entre 400 y 700 mm en los trópicos y de 800 a 1100 mm en regiones templadas, lo que significa del 56 al 53% del agua total entregada al cultivo de acuerdo con Renault (2004). A la mitad del ciclo del cultivo,

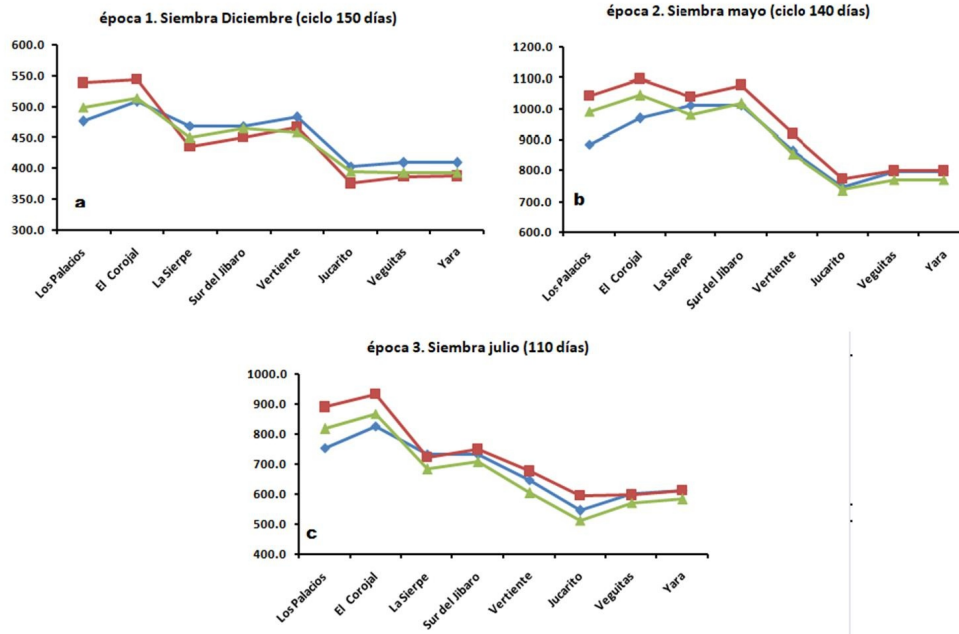


Figura 3. Valores promedios de lluvia para cada época de siembra, escenario y localidad.

cuando ya existe una cobertura completa del cultivo, el arroz evapotranspira a una tasa ligeramente superior a la evapotranspiración de referencia (ET_0), con tasas diarias de ET promedios de 4-5 mm día⁻¹ en estación húmeda tropical y 6-7 mm día⁻¹ en estación seca tropical, pero que pueden llegar hasta 10-11 mm día⁻¹ en las regiones áridas (Bouman et al., 2012).

Para las condiciones de Cuba, Herrera-Puebla et al. (2019), reseñaron los estudios sobre este parámetro en Cuba y mostraron valores que fluctuaron entre 657 y 1173 mm/ciclo de cultivo. Estos autores también compararon los resultados de estudios en lisímetros y datos estimados con el programa CropWat para la región de Los Palacios (Pinar del Río).

La Figura 5 muestra la Evapotranspiración del cultivo (ETc) promedio, en cada modelo, para el total de un ciclo de 130 días en arroz cultivado en la llamada época de frío.

De acuerdo a los datos de la Figura 5, la ETc del arroz para el período estudiado se encuentra dentro de los valores obtenidos en el mismo tanto a escala mundial como en el país. El modelo Mpi-esm1-2-hr-SSP126 (modelo 2), mostró los menores valores de ETc e inferiores en 3,9 y 8,3% a los modelos 1 y 3, respectivamente.

Al comparar los sitios estudiados entre sí, la Figura 6 muestra que independientemente del modelo, los mayores valores de ETc, siempre se encuentran en la región central, con valores promedios para los tres modelos que superan en el 18,9 y el 6,4% a los valores obtenidos en la región occidental y oriental, respectivamente.

Balance de agua en el Cultivo de arroz

Las demandas de agua para riego del arroz están muy relacionadas con el balance hídrico peculiar de este cultivo. El balance de agua del arroz puede representarse

brevemente por la fórmula de balance hídrico según (Ding et al., 2017):

$$\Delta H = I + R - E - T - P - D \quad (1)$$

donde ΔH es la variación de agua almacenada en la terraza, I el agua aplicada como riego y LI, E, T, P y D representan la lluvia caída, evaporación, transpiración, percolación y drenaje superficial, respectivamente.

La Figura 7, muestra los componentes del balance de agua en el cultivo acorde con los tres modelos climáticos estudiados, las pérdidas por consumo del cultivo más las pérdidas por percolación constituyen la porción mayoritaria que el riego debe reponer y como muestra la Figura 7, las lluvias constituyen un aporte entre 15 al 17 % en dependencia del modelo considerado

Demanda de riego del cultivo

Como se señaló anteriormente, la cantidad de agua a aplicar como riego en el cultivo del arroz depende de la ETc y de las pérdidas por percolación, ya que por razones agrotécnicas, el cultivo se mantiene casi todo el tiempo con una lámina de agua sobre el suelo entre 5-10 cm. La magnitud de esta lámina expresada como norma neta de riego depende de la longitud del ciclo del cultivo, de la demanda climática y de la capacidad de infiltración del suelo. La Tabla 6 muestra los valores de normas netas por sitios, para un cultivo con ciclo de 130 días, y siembra de frío, es decir siembra en diciembre y cosecha a principios de mayo.

Para el cálculo de la norma bruta de riego mostrada en la Tabla 7, se utilizó un coeficiente de eficiencia global del sistema de riego de 0,7, equivalente a la eficiencia que debe alcanzar un sistema ingeniero según la resolución 287/2015 (INRH-Cuba, 2015).

Tabla 5. Valores de probabilidad de la lluvia para los años, húmedo (25 %), medio (50%) y seco (75 %) para los diferentes sitios, época de siembra y escenario.

Sitio	Época	Meses	P (%)	Modelos					
				Hadgem-gc31-II SSP-1.26		Mpi.esn-1-2-hr SSP-1.26		Mpi.esn-2-0-hr SSP-1.26	
				Año	Lluvia total (mm)	Año	Lluvia total (mm)	Año	Lluvia total (mm)
Región Occidental									
Los Palacios	1	dic-mayo	25	2040	556,1	2029	599,9	2040	556,1
	1		50	2033	462,5	2035	507,7	2033	462,5
	1		75	2041	407,7	2037	453,8	2041	407,7
	2	mayo-sept.	25	2029	985,3	2039	1113,8	2046	1057,8
	2		50	2036	878,5	2032	1002,2	2048	962,1
	2		75	2047	816,1	2037	936,9	2033	906,2
	3	julio-nov	25	2042	852,9	2029	956,3	2049	861,8
	3		50	2023	744,7	2039	855,8	2047	794,5
	3		75	2045	681,5	2042	797,0	2041	755,2
Corojal	1	dic-mayo	25	2028	557,6	2029	603,8	2040	550,4
	1		50	2037	482,1	2035	514,3	2042	473,5
	1		75	2024	437,9	2037	462,0	2050	428,5
	2	mayo-sept.	25	2039	1038,3	2048	1171,1	2032	1093,3
	2		50	2036	931,5	2041	1057,4	2050	1002,5
	2		75	2033	869,1	2044	990,9	2042	949,4
	3	julio-nov	25	2042	899,9	2027	998,3	2026	909,6
	3		50	2024	791,7	2045	897,8	2048	835,4
	3		75	2047	728,5	2042	839,0	2045	792,0
Región Central									
Sur del Jibaro	1	dic-mayo	25	2043	503,5	2039	478,5	2029	499,9
	1		50	2026	449,4	2030	437,6	2047	445,9
	1		75	2038	417,7	2041	413,7	2036	414,4
	2	mayo-sept.	25	2039	1076,4	2027	1189,5	2050	1073,5
	2		50	2026	979,3	2041	1016,9	2036	983,4
	2		75	2032	922,6	2047	915,9	2023	930,7
	3	julio-nov	25	2028	800,5	2034	854,6	2037	756,7
	3		50	2042	700,7	2027	691,7	2029	679,8
	3		75	2048	642,3	2041	596,4	2032	634,8
La Sierpe	1	dic-mayo	25	2043	503,5	2039	477,2	2039	499,9
	1		50	2026	449,4	2038	436,0	2047	445,9
	1		75	2038	417,7	2041	411,9	2046	414,4
	2	mayo-sept.	25	2039	1076,4	2027	1189,5	2050	1073,5
	2		50	2026	979,3	2041	1016,9	2036	983,4
	2		75	2032	922,6	2047	915,9	2023	930,7
	3	julio-nov	25	2028	800,5	2029	854,6	2037	756,7
	3		50	2042	700,7	2027	691,7	2027	679,8
	3		75	2048	642,3	2041	596,4	2032	634,8

La misma resolución anterior establece normas netas que oscilan entre 1128 a 1186 mm, las cuales alcanzan valores brutos, para una eficiencia del sistema del 70% de 1611 a 1694 mm, muy por encima de los requerimientos reales del cultivo, por lo que a los efectos del balance nacional del agua se ha establecido una norma nacional neta de 1400 mm.

Estudios recientes de Cisneros *et al.* (2023) para los sitios Los Palacios, Corojal y La Sierpe, utilizando una serie histórica de lluvias y ETc de 13 años (2008-2020) y probabilidades de ocurrencia de las lluvias dentro del ciclo de cultivo (130 días, diciembre -mayo) produjeron los valores que se muestran en la [Tabla 7](#).

Sitio	Época	Meses	P (%)	Modelos					
				Hadm-gc31-II SSP-1.26		Mpi.esn-1-2-hr SSP-1.26		Mpi.esn-2-0-hr SSP-1.26	
				Año	Lluvia total (mm)	Año	Lluvia total (mm)	Año	Lluvia total (mm)
Region Oriental									
Vertientes	1	dic-mayo	25	2043	521,9	2046	506,1	2048	486,3
	1		50	2038	461,7	2027	444,2	2040	443,4
	1		75	2036	426,5	2042	407,9	2035	418,2
	2	mayo-sept.	25	2033	937,1	2025	1054,9	2026	919,5
	2		50	2050	823,4	2032	845,6	2036	819,7
	2		75	2036	756,9	2024	723,1	2047	761,3
	3	julio-nov	25	2047	723,1	2027	811,6	2029	646,5
	3		50	2041	609,4	2032	604,3	2048	579,6
	3		75	2038	542,9	2043	483,1	2030	540,5
Jucarito	1	dic-mayo	25	2032	455,5	2032	432,8	2034	440,8
	1		50	2033	395,5	2031	364,2	2026	390,6
	1		75	2036	360,4	2039	324,1	2035	361,2
	2	mayo-sept.	25	2041	828,9	2029	919,5	2029	823,8
	2		50	2045	736,7	2034	730,9	2038	728,1
	2		75	2036	682,8	2026	620,6	2040	672,2
	3	julio-nov	25	2024	623,5	2023	733,7	2039	572,0
	3		50	2032	533,4	2032	555,6	2049	509,5
	3		75	2045	480,7	2043	451,4	2033	473,0
Yara	1	dic-mayo	25	2025	444,1	2041	426,8	2033	416,8
	1		50	2045	389,4	2026	364,9	2026	379,7
	1		75	2026	357,3	2036	328,6	2035	358,0
	2	mayo-sept.	25	2041	878,9	2023	882,5	2026	835,4
	2		50	2050	752,1	2033	754,3	2037	732,1
	2		75	2036	677,9	2048	679,3	2038	671,7
	3	julio-nov	25	2042	694,2	2035	679,3	2026	641,9
	3		50	2035	568,0	2031	572,5	2030	549,7
	3		75	2026	494,2	2044	510,1	2025	495,8

Al comparar los valores de ETc mostrados en la [Tabla 7](#) con los mostrados en la [Figura 6](#), se puede notar que la ETc para el periodo estudiado en los tres modelos se incrementó como promedio en 32, 27 y 33 % para Los palacios, Corojal y la Sierpe, respectivamente, mientras que las lluvias disminuyen en un 4,4 y 15,2 % en Los Palacios y Corojal y se incrementan en 36,3 % para La Sierpe.

Los valores anteriores para estos tres sitios llevan a considerar que, bajo los escenarios climáticos estudiados, puede esperarse un incremento de la ETc del cultivo de aproximadamente un 30 %, relacionado con los incrementos esperados de las temperaturas.

Sin embargo, este incremento en la ETc, no conduce en todos los casos a un incremento en la demanda de riego del cultivo, la cual como muestra la [Figura 8a](#), está muy relacionado con el comportamiento de las lluvias ([Figura 8b](#)) en cada modelo.

Como muestra la [Figura 8a](#), en el modelo1 (Hadm3-gc31-II-SSP1.26), para los sitios Corojal y La Sierpe, la demanda de riego disminuye, aunque las lluvias solo son mayores en el sitio La Sierpe. En el modelo 2 (Mpi-esm1-2hr-SSP126), para el sitio Los Palacios, hay una

disminución de la demanda de riego a pesar de una ligera disminución de las lluvias, mientras que, para una mayor diferencia en las lluvias, en el sitio Corojal se incrementa la demanda de riego y en La Sierpe, en correspondencia con el incremento de las lluvias, la demanda de riego también disminuye. El modelo 3 (Mri-esm2-0-1.26) muestra un incremento en la cantidad de lluvias para todos los sitios y en correspondencia con ello, también disminuye la cantidad de agua demandada como riego. En estas variaciones en la cantidad de riego demandada influye no solo la cantidad de lluvia total caída durante el período de crecimiento del cultivo, sino también la distribución de la misma dentro de este ciclo, así como el tipo de suelo.

[Acharjee et al. \(2017\)](#), en Bangladesh, señalaron que la ETo se incrementó a futuro, debido principalmente al incremento de temperatura, mientras que los requerimientos potenciales de agua del arroz (ETc) disminuyeron en un 6,5 % y 10,9 % para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente para el 2050 y 8,3% y 17,6 % para estos respectivos escenarios en el año 2080 al compararlos con la línea base correspondiente al periodo 1980-2013.

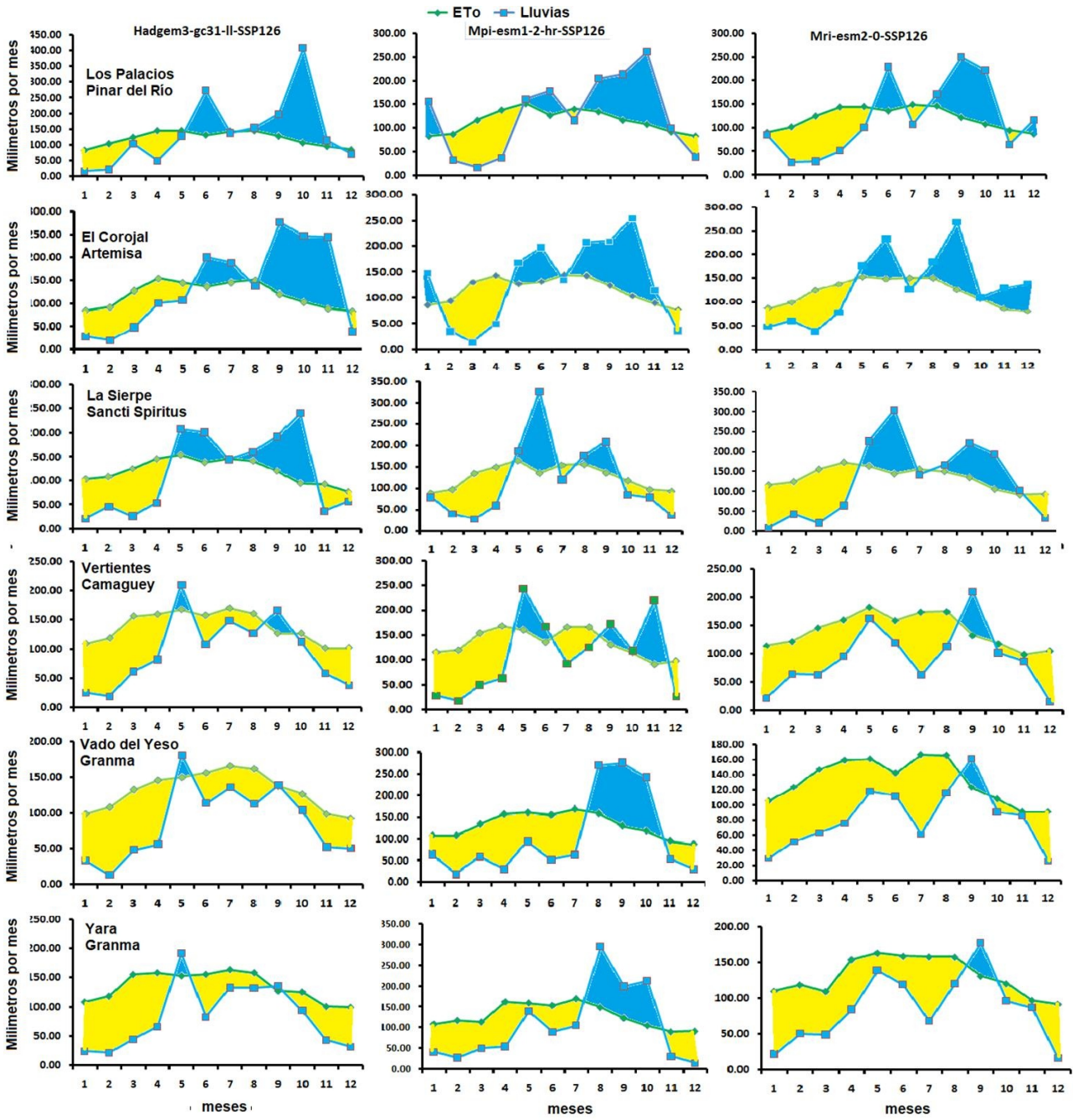


Figura 4. Balance hídrico anual para cada modelo y sitio estudiado.

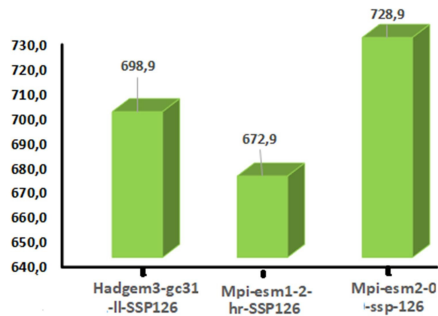


Figura 5. Evapotranspiración del cultivo promedio en los tres modelos para el escenario SSP1 2.6.

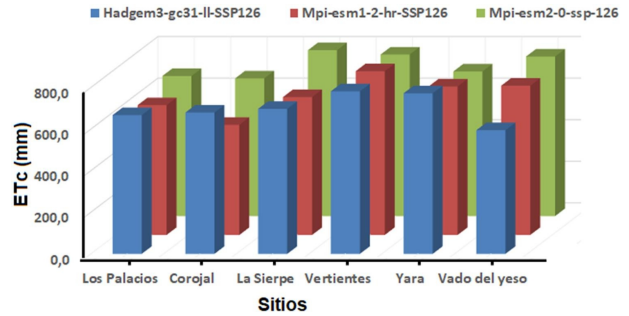


Figura 6. Evapotranspiración del cultivo según modelo y sitio estudiado.

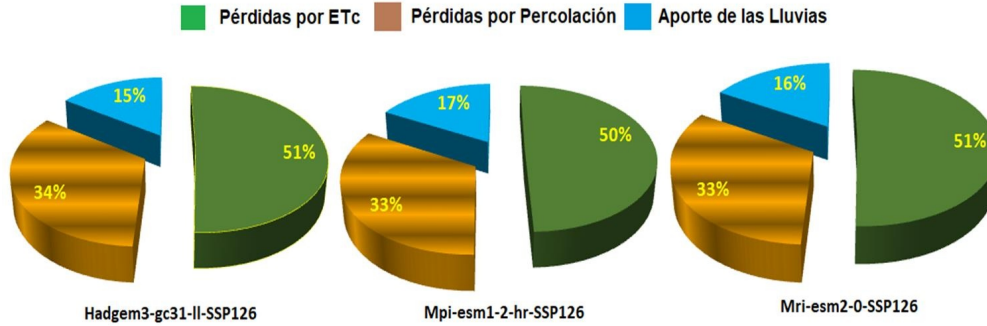


Figura 7. Componentes del Balance Hídrico del arroz para cada modelo.

Tabla 6. Valores de las normas netas y brutas (mm) para un ciclo del cultivo de arroz de 130 días en diferentes sitios y modelos climáticos

Sitios	Modelos					
	Hadgem3-gc31-II-SSP126		Mpi-esm1-2-hr-SSP126		Mpi-esm2-0-ssp-126	
	Demanda de Riego (mm/ciclo)		Demanda de Riego (mm/ciclo)		Demanda de Riego (mm/ciclo)	
	Neta	Bruta	Neta	Bruta	Neta	Bruta
Los Palacios	1026,8	1466,9	971,8	1388,3	1025,8	1465,4
Corojal	891,4	1273,4	982,4	1403,4	655,8	936,9
La Sierpe	840,9	1201,3	736,8	1052,6	951,1	1358,7
Vertientes	1061,2	1516,0	1049,7	1499,6	952,3	1360,4
Yara	962,0	1374,3	843,1	1204,4	849,1	1213,0
Jucarito	835,1	1193,0	747,4	1067,7	938,1	1279,1
Promedio		1337,5		1269,3		1279,1

Tabla 7. Requerimientos de agua del arroz para cada sitio estudiado, en función de las probabilidades de ocurrencia de precipitaciones para la época de siembra (diciembre-mayo) 130 días Tomado de Cisneros et al. (2023).

Sitio	Probabilidad Precipitación (%)	Lluvia (mm)	ETc (mm)	Norma neta total (mm)	Pérdidas por percolación total (mm)
Los Palacios Pinar del Río	75	256,3	493,4	1023,88	580,4
EL Corojal Artemisa	75	287,0	488,0	891,80	415,5
La Sierpe Santi Espíritus	75	150,9	540,1	1027,78	411,8

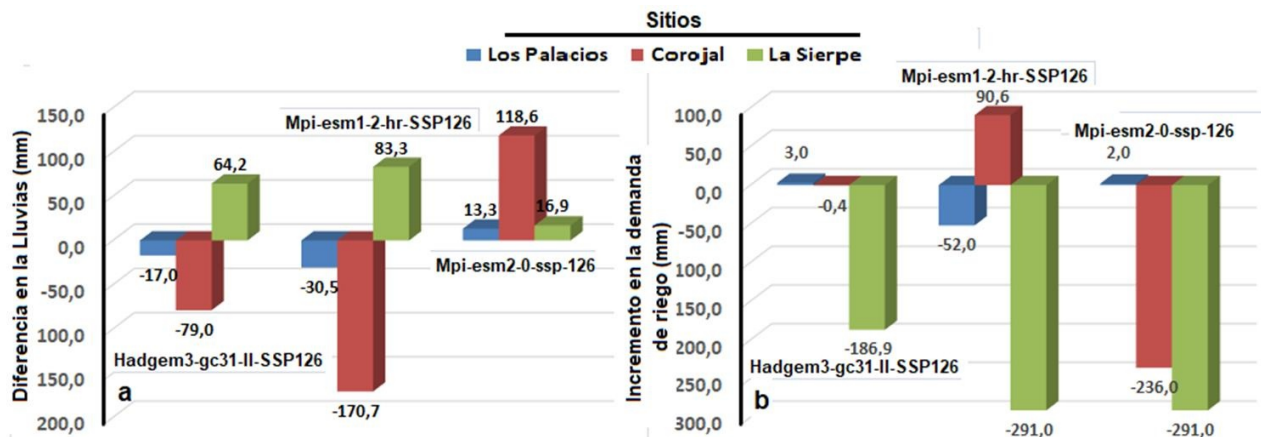


Figura 8. Diferencias en la cantidad de lluvias (a) en relación a la línea base (2008-2020) y variación de la Demanda de riego (b) para tres sitios según los tres modelos climáticos estudiados.

CONCLUSIONES

- Con independencia del modelo estudiado para la evaluación de las precipitaciones a futuro hay una disminución de los valores desde occidente hacia el oriente, cuyos promedios de los tres modelos tuvieron 1644, 1467,5 y 1239,1 mm año⁻¹ para la zona occidental, central y oriental, respectivamente.
- De los modelos climáticos globales estudiados bajo el escenario SSP1-2.6, la demanda del agua fue superior en el modelo Hadgem3-gc31 con norma bruta promedio de los 6 sitios estudiados de 1337,5 para un ciclo de 130 días y superior en un 5,8 y 4,3 % para los modelos Mpi-esm1-2hr-SSP126 y Mri-esm2-0-126, respectivamente.
- El efecto esperado del incremento de las temperaturas predicho en los estudios sobre el cambio climático para Cuba, sin duda conducirá a un incremento del consumo potencial de agua del cultivo (ETc), sin embargo, el incierto comportamiento de las lluvias entre sitios y modelos para el escenario SSP1-2.6 conduce a una variabilidad en cuanto a la demanda de riego del cultivo, la cual se ve fuertemente influenciada por la cantidad de lluvia ocurrida dentro del ciclo y por la distribución de las mismas.
- Otra posible fuente de variación en la demanda a futuro de riego en el cultivo, y no estudiado en este resultado, pero si reseñado por diferentes autores, fundamentalmente en Asia, es la disminución potencial del ciclo del cultivo debido al incremento de las temperaturas, lo cual además de disminuir la demanda de agua, podría también traer aparejado la disminución del rendimiento del cultivo, lo cual debería ser objeto de próximos estudios en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARJEE, T.K.; LUDWIG, F.; VAN HALSEMA, G.; HELLEGERS, P.; SUPIT, I.: "Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh", *Agricultural water management*, 194: 172-183, 2017, ISSN: 0378-3774.
- AGRAWAL, A.; SRIVASTAVA, P.K.; TRIPATHI, V.K.; MAURYA, S.; SHARMA, R.; DJ, S.: "Future projections of crop water and irrigation water requirements using a bias-corrected regional climate model coupled with CROPWAT", *Journal of Water and Climate Change*, 14(4): 1147-1161, 2023, ISSN: 2040-2244.
- ALEMÁN, L.A.; MENESES, J.; MARTINEZ, J.; POLÓN, R.; HERRERA, J.; LEÓN, O.: *Manejo del agua.*, Ed. Ministerio de la agricultura, Instituto de Granos, Instructivo técnico del arroz ed., vol. I, La Habana, Cuba, 2020, ISBN: 978-959-285-065-1.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: "Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos", *Roma: FAO*, 298(0), 2006.
- ASCANIO, O.; BOUZA, H.; HERNANDEZ, A.; AGAFONOV, O.: "Principales propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos arroceros de Cuba.", *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, 3, 1980.
- BOUMAN, B.A.M.; HAEFELE, S.M.; HIZZI, G.; PENG, S.; HSIAO, T.C.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al Agua*, Ed. International Rice Research Institute, Estudio FAO Riego y Drenaje, FAO ed., vol. 56, Roma, Italia, 2012, ISBN: 971-22-0219-4.
- CARRAZANA, J.A.; MARTÍNEZ, J.; COLOM, L.; FONTOVA, M.: "Uso Eficiente del agua en el Cultivo del Arroz", En: *VIII Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. INRH, Cuba*, Ed. Instituto Nacional de Recursos, Hidráulicos, La Habana, Cuba, 2013.
- 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.; HERRERA, J.; CUN, R.; GONZÁLEZ, F.; CHATERLAN, Y.; DOMÍNGUEZ, C.: *Estimación de las normas totales netas de riego en tres polos arroceros de Cuba*, Inst. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGric), Informe técnico de Introducción de resultados de Investigación, La Habana, Cuba, 10 p., 2023.
- CITMA-CUBA: *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Ed. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, República de Cuba, La Habana, Cuba, 2020, ISBN: 978-959-300-170-0.
- DING, Y.; WANG, W.; SONG, R.; SHAO, Q.; JIAO, X.; XING, W.: "Modeling spatial and temporal variability of the impact of climate change on rice irrigation water requirements in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China", *Agricultural water management*, 193: 89-101, 2017, ISSN: 0378-3774.
- ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA: *CMIP6 and Shared Socioeconomic Pathways overview, 'en línea'*, ClimateScenarios.Canada, 2023, Disponible en: <https://ClimateScenarios.Canada.ca/?Page=cmip6-OverviewNotes>.
- FAO: *CropWat 8.0 for windows 2000-2008*, Food Agricultural Organization (FAO), Rome, Italy, 2008.
- FAO: *Cropwat 8.0 for windows user guide*, Food Agricultural Organization (FAO), Rome, Italy, 2009.
- FAO: *Cropwat 8.0 for windows user guide*, Food Agricultural Organization (FAO), Rome, 2016.
- GILANIPOUR, J.; GHOLIZADEH, B.: "Prediction of rice water requirement using FAO-CROPWAT model in North Iran under future climate change", *Preprints*, 2016.

- GUTIÉRREZ, S.D.; LAU, S.B.: “Metodología para la formación del precio del arroz en Cuba”, *Revista Cubana De Finanzas Y Precios*, 3(1): 91-101, 2019.
- HASTARAI, A.A.; WIBOWO, A.; TAMBUNAN, M.P.; PUTRO, D.A.: “Projection of The Effect of Climate Change on Crop Water Requirements for Rice Plants in Majalengka Regency”, En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ed. IOP Publishing, vol. 1111, p. 012021, 2022, ISBN: 1755-1315.
- HERRERA-PUEBLA, J.; HERVIS-GRANDA, G.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.; DUARTE-DÍAZ, C.: “Estudio sobre el balance hídrico del arroz en Cuba”, *Ingeniería Agrícola*, 9(3), 2019, ISSN: 2227-8761.
- HERRERA-PUEBLA, J.; MENESES-PERALTA, J.; DUARTE-DÍAZ, C.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.; HERVÍS-GRANDA, G.: “Determination of Crop Coefficients for Estimating Evapotranspiration in a Paddy Field in Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3): 05-20, 2020, ISSN: 1010-2760.
- INRH-CUBA: *Resolución 287/2015, Anexo 2. ÍNDICES DE CONSUMO: Normas de Riego Netas Totales para los Cultivos Agrícolas*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Presidencia del INRH, La Habana, Cuba, 2015.
- IPCC: *Cambio climático 2021. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, La Habana, Cuba, 40 p., 2021, ISBN: 978-92-9169-358-0.
- JANUTA, A.: “Que significan los cinco futuros del informe de la ONU sobre el clima”, *es.euronews.com*, 2021.
- KYU, S.L.; TRUONG, A.D.: “Predicting future water demand for Long Xuyen Quadrangle under the impact of climate variability”, En: *Acta Geophysica*, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0176-4>.
- MARTÍNEZ, J.; HERRERA, J.; MENESES, J.: *Los suelos para el cultivo del arroz y su relación con el riego. En: Manejo integrado del riego en el cultivo del arroz*, Inst. Instituto de Investigaciones del Arroz- Instituto de Ingeniería Agrícola, Informe de proyecto, La Habana, Cuba, 2017.
- ONEI-CUBA: *Anuario Estadístico de Cuba 2022*, La Habana, Cuba, 2022, ISBN: 978-959-7119-62-3.
- RENAULT, D.: *Rice is Life. International Year of Rice, ‘en línea’*, FAO, Rome, Italy, 2004, Disponible en: www.rice.org.
- SAMAKÉ, M.: *Familias de curvas de infiltración para los suelos arroceros cubanos y sus aplicaciones en el diseño de sistemas de riego para estos suelos*, Instituto Superior Agropecuario de la Habana (ISCAH)- Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Tesis en Opción al Grado de MSc., Provincia Habana, Cuba, 1998.
- SIMEÓN, F.: “Características de las propiedades hidrofísicas de los principales suelos agrícolas de Cuba”, *Voluntad hidráulica*, 16(49-50): 16-23, 1979.
- SMITH, M.: *CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management*, Ed. Food & Agriculture Org., 1992, ISBN: 92-5-103106-1.