



## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL

<https://cu-id.com/2284/v13n2e01>

# Estimación a futuro de normas de riego del sorgo en la zona oriental de Cuba

## *Future Estimation of Sorghum Irrigation Norms in the Eastern Zone of Cuba*

MSc. Reinaldo Cun-González<sup>1</sup>, MSc. Martha Isabel Moinelo-Lavastida, Dr.C. Carmen E. Duarte-Díaz,

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas. MSc. Angel Luis Ramos-Tamayo.

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

**RESUMEN.** El trabajo se desarrolló con el objetivo de predecir a futuro los requerimientos hídricos del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), para la región oriental del país con la utilización del programa CROPWAT 8.0 y en función de la variabilidad climática para un período de 31 años (2020-2050). Para el estudio se tomaron los datos climáticos del modelo PRECIS utilizando el escenario climático RCPs 4.5, este 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. Se compararon las normas de riego estimadas con las presentadas en la Resolución 17/2020 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Los resultados obtenidos muestran que en esta zona la evapotranspiración de referencia estuvo por encima de las precipitaciones entre un 67 % y un 81% respectivamente, lo que indica la necesidad del riego. Las normas netas totales estimadas de riego para el sorgo en el escenario RCP 4.5 según la variabilidad climática en los próximos años, demuestran que habrá un incremento de las mismas entre 211 mm y 310,8 mm, lo que equivale a 2110 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 3108 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> con respecto a la actual. Las mayores diferencias entre la norma neta total y la reducida se tiene en Gibara, Holguín, esta varía en 29,6 mm. La reducción de la norma neta en la fase final del cultivo, (maduración cosecha), permite ahorros de agua con afectaciones a los rendimientos que no superan el 3%.

**Palabras clave:** escenario climático, modelación, variabilidad.

**ABSTRACT.** The work was developed with the objective of predicting the future water requirements of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), for the eastern region of the country with the use of the CROPWAT 8.0 program and based on climate variability for a period of 31 years. (2020-2050). For the study, the climatic data of the PRECIS model were taken using the RCPs 4.5 climate scenario, this is one of those recommended by the Cuban Institute of Meteorology to evaluate water management based on the different climatic regions. The irrigation standards dear were compared with those presented in Resolution 17/2020 of the National Institute of Hydraulic Resources. The results obtained show that in this area the reference evapotranspiration was above rainfall between 67% and 81% respectively, which indicates the need for irrigation. The estimated total net irrigation norms for sorghum in the RCP 4.5 scenario according to climate variability in the coming years, show that there will be an increase in them between 211 mm and 310.8 mm, which is equivalent to 2110 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and 3108 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> with respect to the current one. The greatest differences between the total net norm and the reduced one are found in Gibara, Holguín, this varies by 29.6 mm. The reduction of the net norm in the final phase of the crop, (harvest maturation), allows water savings with effects on yields that do not exceed 3%.

**Keywords:** Climate Scenario, Modeling, Variability.

## INTRODUCCIÓN

El sorgo de grano (*Sorghum bicolor* L. Monech), es un cultivo que ofrece perspectivas favorables para Cuba en relación a otros granos debido a que tiene menos requerimientos agrotécnicos, y presenta una mayor plasticidad respecto a la

época de siembra y el tipo de suelo (A. Pérez et al., 2010). En la actualidad existe una tendencia al incremento de este cultivo en el país por su capacidad de sustitución de importaciones de granos para alimento animal ya que se adapta bien a condiciones

<sup>1</sup> Autor para correspondencia: Reinaldo Cun-González, e-mail: reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5100-7902>

Recibido: 15/10/2022.

Aprobado: 13/03/2023

variadas de suelo, por lo que puede incluirse en la rotación con otros cultivos como arroz, y tabaco. Su grado de adaptación en ambientes desfavorables para su desarrollo ha sido estudiado en condiciones de suelos salinos por Castellanos *et al.* (1991), en la provincia de Holguín, en suelos con conductividades eléctricas elevadas, lo que redujo el rendimiento en un 0,45 % en relación al testigo, logrado 1,9 t ha<sup>-1</sup>. De acuerdo con Stichler *et al.* (2014), se tiene el falso criterio de que el sorgo es un cultivo rústico y por tanto demanda poca atención, lo que se debe a que el mismo puede sobrevivir y aún producir grano bajo las condiciones más adversas, pero al igual que otros cultivos el sorgo responde a las condiciones óptimas de cultivo y al manejo adecuado del riego.

En Cuba, el riego es un factor que potencia los rendimientos ya que la distribución no homogénea de las precipitaciones imponen un periodo menos lluvioso en el año (de noviembre a abril) donde solo ocurre como media el 23% de la precipitación anual, según Rodríguez (2006) este periodo coincide con el óptimo para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos agrícolas fundamentalmente de ciclo corto, además es conocido que la agricultura bajo riego puede llegar a incrementar entre un 15 y 50% en las áreas de secano, cuestión importante para la contribución a la seguridad alimentaria (D. C. Duarte *et al.*, 2015). En nuestro país 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 (Centella *et al.*, 2015).

Los Modelos Climáticos son de gran importancia para explorar la posible evolución futura del clima, derivados de los escenarios de posibles emisiones de gases de efecto invernadero según Centella (2017), los cuales describen un estado probable del sistema climático ante uno o más tipos de forzamientos, según los expertos de cambio climático los escenarios RCP (Vías o Trayectorias de Concentración Representativa, RCP por sus siglas en inglés), son un instrumento básico para analizar la influencia de las fuerzas determinantes en las emisiones futuras de gases de efecto invernadero. Las cuatro vías RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2.6), dos escenarios de estabilización (RCP 4.5 y RCP 6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto de invernadero (RCP 8.5).

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 posibilidades alternativas que dependen de factores cuyo desarrollo no podemos predecir. El cambio climático antropogénico, está relacionado con la creciente acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero.

Según lo planteado anteriormente se desarrolla el presente trabajo con el objetivo de predecir a futuro los requerimientos hídricos del sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), para la región oriental del país con la utilización del programa CROPWAT 8.0 y en función de la variabilidad climática para un período de 31 años (2020-2050).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las zonas de estudios se encuentran ubicadas en las provincias de Holguín y Las Tunas, por ser estas las más representativas en la producción de sorgo. Se seleccionó a la Empresa Agroindustrial de Granos Gibara (Holguín) ubicada a una altura de 30 m sobre el nivel medio del mar (ms.n.m.) y a la Empresa Agroindustrial de Granos Jobabo, Las Tunas, a una altura de 107 m (ms.n.m), como se muestra en la Tabla 1.

**TABLA 1. Sitios seleccionados para el estudio de necesidades hídricas a futuro del sorgo**

Provincia	Sitio	Coordenadas		Altura (ms.n.m)
		Norte	Oeste	
Holguín	Gibara	21,1200	-76,1144	30
Las Tunas	Jobabo	20,9067	-77,2811	107

Para el estudio se tomaron los datos climáticos del modelo PRECIS en el escenario climático RCP (Vías o Trayectorias de Concentración Representativa) 4.5, el cual no tiene un tratamiento secuencial como los SRES (Special Report Emissions Scenarios), 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 determinando 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 RCP 4.5 fue modelado y caracterizado agroclimáticamente según proyecciones futuras para los municipios de Cuba por (Vázquez, 2021).

El suelo de ambos sitios está clasificado como Oscuro plástico no gleyzado Instituto de Suelos (1980) y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades hidrofísicas por Cid *et al.* (2012), como se muestra en la Tabla 2.

**TABLA 2. Propiedades hidrofísicas**

Sitio	Cc (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	PM (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	HTD (mm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Tasa Infiltración (m día <sup>-1</sup> )	Profundidad de raíces del sorgo (m)
Gibara	0,587	0,31	269	1,08	0,43	0,30
Jobabo	0,587	0,31	269	1,08	0,43	

*Leyenda:* CC: Capacidad de campo, PM: punto de marchitez, HTD: Humedad total disponible, Da: Densidad aparente.

Para la estimación de las normas de riego netas a mediano plazo (2023 al 2050), en función de los pronósticos de variabilidad climática en el área de estudio se utilizó el programa de modelación CROPWAT 8.0 de Allen (2006). El balance hídrico se estableció

entre los meses de diciembre a marzo, que corresponde al período poco lluvioso del año según Rodríguez (2006), coincidente con la campaña de riego. Se estimó la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) mediante la ecuación FAO-Penman-Monteith, la Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) con el método del Coeficiente Único del Cultivo (Allen et al., 2006). La precipitación efectiva se determinó de acuerdo al método de USDA ya que este es el más recomendado por la FAO según (Allen et al., 2006).

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:

$$P = \left( \frac{m-0,3}{n+0,4} \right) \times 100 \quad 1$$

donde:

m: número de orden;

n: número de miembros de la serie.

Se clasificaron cada uno de los años de la serie en función de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia. El de probabilidad 25% denota un escenario húmedo, el 50 % medio y 75 % seco, según (Pérez & Álvarez, 2005).

Las simulaciones se realizaron al sembrar el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), en el mes de diciembre con una duración de 120 días, según Canet et al. (2011) debe sembrarse en período seco (noviembre–febrero) para reducir los daños por exceso de humedad en la panícula y facilitar la cosecha.

El umbral de riego para todas las etapas de desarrollo fue de 45% del agotamiento y el riego se aplicó hasta humedecer el suelo al 100% de la capacidad de campo. Se asumió una eficiencia del riego de 70% ya que el sorgo se rota en estos sitios con el cultivo del arroz por lo tanto se riega con el mismo

sistema superficial y este valor de eficiencia es el indicado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en la Resolución 17 de 2020 (INRH-Cuba, 2020).

Se usó un coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para la etapa inicial de 0,40, para la etapa intermedia de 1,70 y para la etapa final de 0,80, (Herrera-Puebla et al., 2018). El coeficiente de respuesta sobre el rendimiento (K<sub>y</sub>) en el periodo inicial utilizado fue de 0,20 en el desarrollo de 0,50, en el periodo medio de 0,45, en el periodo final de 0,20, estos valores de coeficiente fueron utilizados por Moinelo, et al. (2021), para este cultivo y recomendados por Renault et al. (2007) Tabla 3.

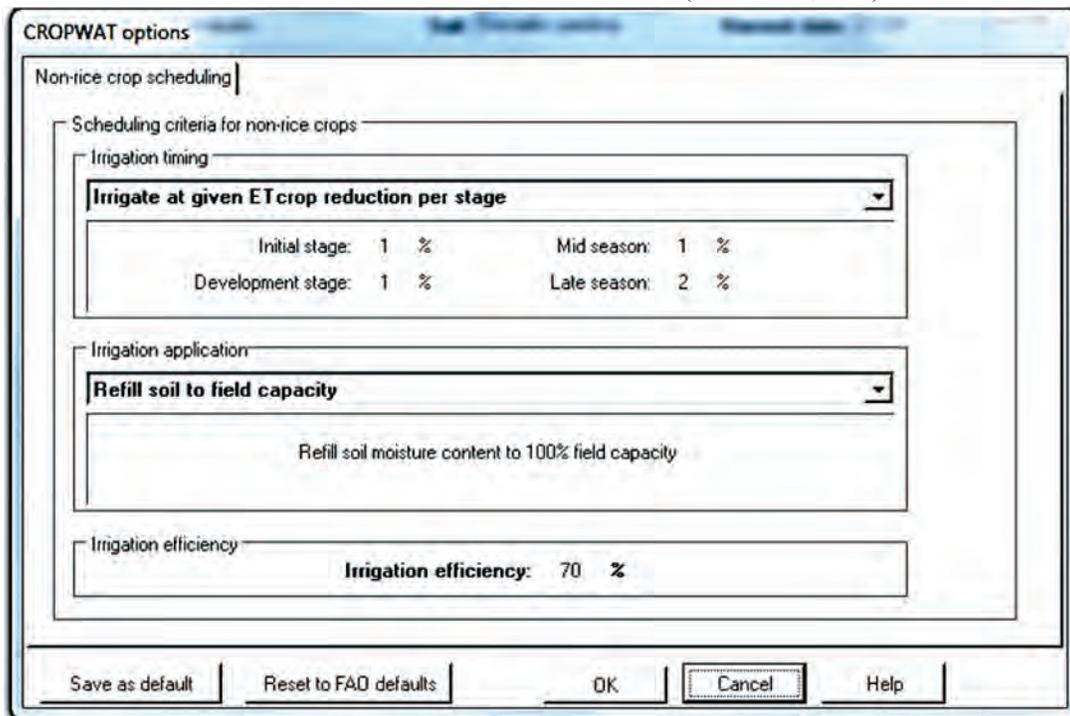
**TABLA 3. Coeficientes de K<sub>c</sub> y K<sub>y</sub> utilizados**

No	Fases	Promedio en días	K <sub>y</sub>	K <sub>c</sub>
I	Inicial	20	0,20	0,40
II	Desarrollo	35	0,50	
III	Medio	40	0,45	1,70
IV	Final	25	0,20	0,8

K<sub>y</sub>: Factor de respuesta del rendimiento, K<sub>c</sub>: Coeficiente de cultivo (Moinelo, et al., 2021).

### **Criterio de riego para la estimación de las normas netas reducidas**

Se redujo en un 2 % la norma neta aplicada (Figura 1), en la fase final del cultivo para provocar las menores afectaciones al rendimiento. En este caso se seleccionó esta fase debido a que el estrés durante la floración, el período de formación y llenado del grano afecta seriamente en el índice de cosecha, los componentes del rendimiento y la producción total (González-Robaina et al., 2018; Canet et al., 2011; Sankarapandian et al., 1993). Por otra parte, un exceso de humedad al final del ciclo del cultivo puede provocar daños en la panícula y dificultar en la cosecha (Canet et al., 2011).



**FIGURA 1.** Plantilla del programa CROPWAT para la opción de la norma de riego en la Fase final del ciclo del sorgo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

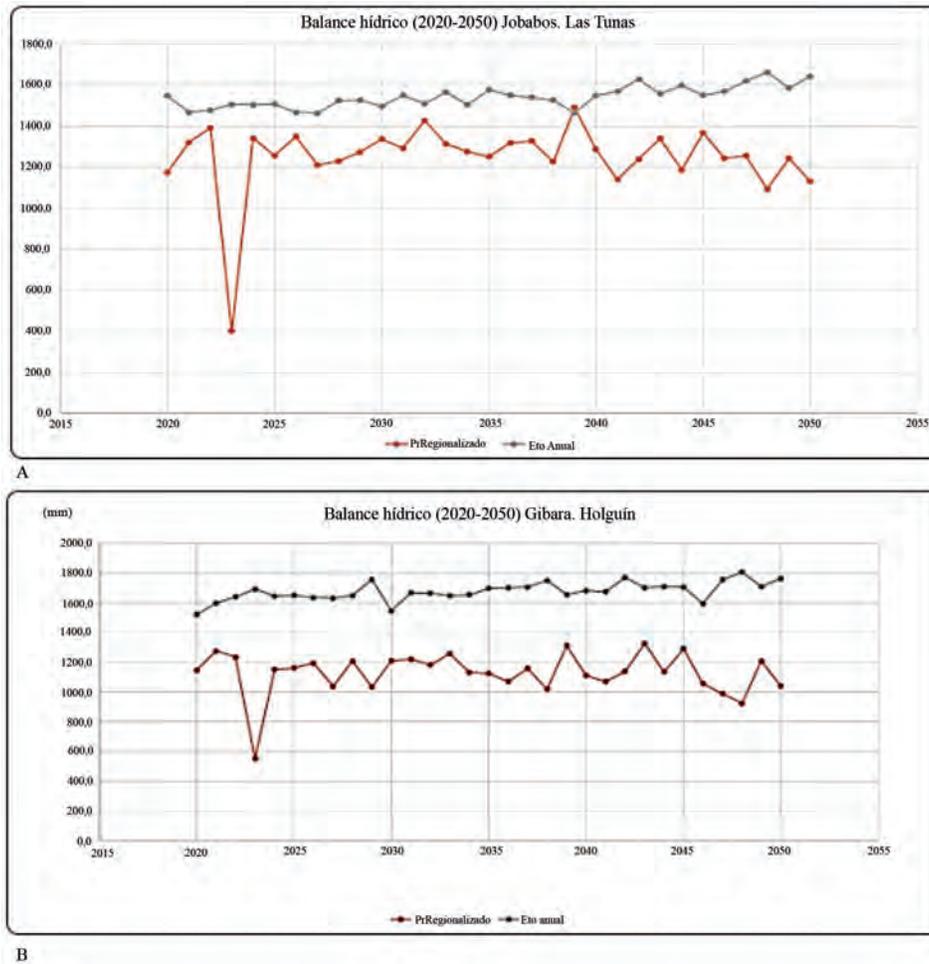
En la Tabla 4 se muestran los valores promedios de las variables temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones de la serie estudiada 2020-2050 para cada sitio de trabajo. Como se observa la temperatura máxima alcanzó el valor de 32,42 °C y la mínima varió entre 21,87 y 22,91 °C, la humedad relativa osciló en el rango de 78,15 y 79,14 % y la insolación entre 17,8 y 19,3 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>. La velocidad del viento varió entre 2,18 y 3,0 m s<sup>-1</sup>. Por último, la mayor precipitación se alcanzó en Jobabo, Las Tunas, con un valor de 1249,16 mm.

**TABLA.4** Valores promedios de las variables climáticas en la serie 2023-2050 de las diferentes estaciones meteorológicas asociadas a los sitios de estudio

Sitio	T máx (° C)	T mín (° C)	HR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	Precipitación (mm)
Gibara Holguín	32,42	22,91	78,15	3,0	17,8	1128,29
Jobabo Las Tunas	32,27	21,87	79,14	2,18	19,3	1249,16

*Legenda:* Tmáx: Temperatura máxima, Tmín: Temperatura mínima, HR: Humedad Relativa, Vv: Velocidad del viento. R

Cuando se analiza el comportamiento de las variables precipitación y evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) en los sitios de estudio (Figura 2, A, B), se tiene que para esta zona oriental representada por Gibara y Jobabo el escenario RCP 4.5 muestra una ET<sub>0</sub> superior a las precipitaciones entre un 67 y un 81% respectivamente, en este caso el sitio de Jobabo presenta la mayor diferencia lo cual es indicativo de que las precipitaciones ocurridas no cubrirán las demandas climáticas, constituyendo un riesgo a nivel local para la agricultura futura. Se demuestra que será indispensable suplir las deficiencias hídricas con el riego de forma eficiente en cuanto al volumen aplicado, así como en cuanto al sistema de riego utilizado dada la poca disponibilidad de agua que se tendrá.



**FIGURA 2.** Balance hidrológico entre la ET<sub>0</sub> y las precipitaciones para las zonas de Jobabo, Las Tunas (A), Gibara, Holguín (B).

Las Figuras 3 y 4 muestran el estudio de probabilidades para los sitios de Jobabo (Las Tunas) y Gibara (Holguín) de la serie de 31 años (2020-2050), donde se clasifican los años según su probabilidad de ocurrencia. El valor R<sup>2</sup> obtenido varió entre 0,78 y 0,90 lo que indica la posibilidad de aplicar las ecuaciones de ajuste para calcular los valores anuales para los años del 25, 50 y 75% de probabilidad.

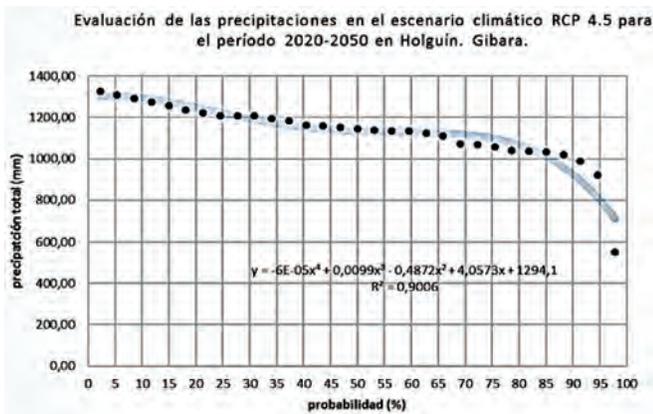


FIGURA 3. Estudio de las precipitaciones para la serie 2020-2050 en Gibara, Holguín y la clasificación de los años hidrológicos.

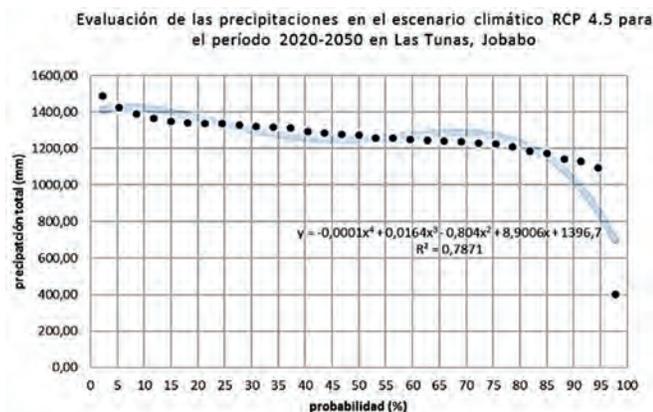


FIGURA 4. Estudio de las precipitaciones para la serie 2020-2050 en Jobabo (Las Tunas) y la clasificación de los años hidrológicos.

Como se puede observar en ambas Figuras (3 y 4), las lluvias disminuyen a medida que aumenta la probabilidad de

ocurrencia, coinciden en ambos sitios que el año de mayor humedad será el 2030 pero en Jobabo ocurrirá un 10 % de precipitaciones superior a la posible ocurrencia en Gibara. En cuanto al año medio (50%), en Gibara lloverá un 10% menos que en Jobabo y en cuanto a la clasificación de año seco (75 %), en Gibara lloverá un 14% menos que en Jobabo.

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

En la Tabla 5 se puede apreciar cómo se comportó la evapotranspiración del cultivo (ETc) en función del año hidrológico donde los mayores valores se tienen en Jobabo, (Las Tunas), para un año húmedo (2030) es de 666 mm anuales, para un año medio (2029) de 647,9 mm anuales y para un año seco (2038) de 668,3 mm anuales los que pueden considerarse como elementos de gran utilidad para la planificación de los recursos hídricos a futuro en la zona de estudio asumiendo el escenario RCP 4.5. Las normas netas variaron en función del año, obteniendo valores que van desde los 424 mm hasta los 565,6 mm en dependencia del sitio. La norma neta parcial alcanzó valores que van desde 37,5 mm a 38,7 mm, siendo superiores en un 4% en Gibara (Holguín), porque se aplicó un menor número de riegos (11). De forma general, los valores difieren muy poco para cada una de las probabilidades según el sitio de siembra, en esta época del año. Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos por Pérez et al. (2016) en la región occidental del país (Los Palacios), las normas netas fueron inferiores en un 50 %, debido a que las condiciones de suelo y clima son diferentes, pero existe cierta coincidencia en el número de riegos (11–12).

TABLA 5. Demandas de riego según el por ciento de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones y el efecto de la reducción de las normas en la reducción del rendimiento

Sitio	Probabilidad (%)	Etc. (mm)	Norma neta total (mm)		Norma neta parcial (mm)		No. de riegos		Reducción Rendimiento (%)
			NT	NR	NT	NR	NT	NR	
Jobabo. Las Tunas.	25	666	565,6	470,5	37,7	47,1	15	10	2,0
	50	647,9	525,4	482,8	37,5	48,3	14	10	2,2
	75	668,3	489,1	479,5	37,6	48,0	13	10	1,7
Gibara Holguín	25	652,9	424	398,5	38,5	49,8	11	8	1,9
	50	613,5	426	388,3	38,7	48,5	11	8	1,7
	75	629,9	424,1	398,5	38,6	49,8	11	8	1,9

Legenda: N.R: Norma Reducida aplicada al cultivo. NT: Norma Total aplicada al cultivo. Etc.: Evapotranspiración del cultivo.

Las normas netas reducidas en correspondencia con los años, alcanzaron de manera general valores entre 388,3 mm y 482,8 mm, estas representan el 91 % de la norma total aplicada. El sitio que alcanzó las mayores diferencias entre la norma total aplicada y la reducida fue Jobabo (Las Tunas), con un porcentaje medio de reducción de 10 %.

En cuanto a los números de riego, de manera general estos varían entre 8 y 10. El sitio de Jobabo (Las Tunas), alcanzó el mayor número de riegos (10), con menores valores de la norma neta parcial reducida (47,1 mm y 48,3 mm) en comparación con Gibara (Holguín), las que fueron de (48,5 mm y 49,8 mm). En estos casos se observa que la norma neta parcial reducida es superior a la neta parcial, esto se debe a que al reducir el número de riegos la norma parcial reducida a aplicar es mayor, también al dividir la norma total reducida entre el número de riegos reducidos se obtiene ese valor, resultados similares fueron obtenidos por Duarte

et al. (2021). Estos autores al predecir a futuro las normas netas de riego reducida de los cultivos arroz, frijol, café, piña y plátano presentaron valores superiores a la norma neta parcial a aplicar.

La estrategia de riego obtenida a través de la programación permitió garantizar que la reducción en el rendimiento no fuera superior al 3 %, al reducir en un 2% la norma a aplicar en la fase final del cultivo (maduración–cosecha) numerosos autores afirman que el sorgo es un cultivo resistente a la sequía Menezes et al. (2015); Stichler et al. (2014), por otra parte, Canet et al. (2011) plantea que en este cultivo, cuando ocurre estrés hídrico en la siembra y comienzo de la floración, durante la floración, formación y desarrollo del grano, ocasiona reducciones significativas en el índice de cosecha, los componentes del rendimiento y en la producción total.

En la Tabla 6 se pueden observar las normas netas totales aprobadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

(INRH), en la Resolución 17/2020 INRH-Cuba (2020) y las estimadas a través del programa CROPWAT 8.0. Se aprecia de manera general para los tres años hidrológicos un aumento en las normas netas estimadas, las que superan a las actuales en láminas de 209 mm y 310,8 mm, lo que representa entre un 102 % y un 121% respectivamente, por lo tanto, en el futuro para el escenario RCP 4.5 (zona oriental representada por Gibara y Jobabo), el cultivo del sorgo necesitará normas superiores a la actual para satisfacer las necesidades hídricas en esta región del país. En el sitio de Jobabo, (Las Tunas), se predicen los mayores incrementos de las normas netas totales. Según Bernal et al. (2013) y Planos (2014) para la mayoría de los escenarios va a existir una reducción importante de las precipitaciones y 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.

**TABLA 6. Comparación entre la norma neta total estimada y la aprobada por el INRH, Resolución 17/2020**

Sitio	Probabilidad precipitación (%)	Norma neta total estimada CROPWAT (mm) Sin Restricción	Norma neta Total INRH (mm)	Diferencia. (mm)
Jobabo. Las Tunas.	25	565,6	254,8	310,8
	50	525,4		270,6
	75	489,1		234,3
Gibara. Holguín	25	424	215,0	209
	50	426		211
	75	424,1		209,1

## CONCLUSIONES

- La estimación de las normas netas totales de riego del sorgo según la variabilidad climática en los próximos años para la región oriental, indican que habrá un incremento de las mismas entre 211 mm y 310,8 mm, lo que equivale a más de un 100% con respecto a la actual.

- 2) Las mayores diferencias entre las normas netas totales y las normas netas reducidas para el escenario RCP 4.5 se tienen en Jobabo (Las Tunas), con un 10% menos de reducción como promedio.
- 3) El criterio de reducir la norma neta para el sorgo en la fase final del cultivo, (maduración cosecha), permite ahorros de agua importantes con afectaciones a los rendimientos que no superan el 3%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). Food & Agriculture Org., ISBN: 92-5-304219-2.

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. FAO, 298, 0.*

Bernal, J., Díaz, E., Méndez, J., Cortés, C., Boshell, F., Mejías, P., Raes, D., Federes, E., & Stedutto, P. (2013). *Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Valle del Cauca* (Vol. 161). FAO Colombia, Bogotá.

Canet, R., Rivero, L., & Armenteros, M. (2011). *Manual para la producción del cultivo del sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench*. Instituto de Investigaciones de Granos. Segunda Edición. La Habana, Cuba.

Castellanos, A., Herrera, J., Irrragorry, R., Felipe, M., Rodríguez, A., Cabidoche, Y.-M., & Chossat, J. (1991). Efecto del drenaje en los vertisuelos sobre la salinidad y el rendimiento del sorgo de grano. *Memorias del Coloquio cubano-francés sobre mejoramiento y manejo de vertisuelos, Bayamo (Granma) Cuba, 15 al 20 de Abril, eds: R. Bouziguez, J.C. Favrot, Y.M. Cabidoche y J. Herrera, 359-361.*

Centella, A. (2017). *La estimación del clima futuro y los escenarios climáticos*. Fondo para el Medio Ambiente Mundial, PNUD, La Habana, Cuba.

Centella, A., Llanes, J., & Paz, L. (2015). *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (p. 228). Fondo para el Medio Ambiente Mundial, PNUD Grupo Nacional de Cambio Climático-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. *Revista Ingeniería Agrícola, 2(2), 25-31, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.*

- Duarte, C., Zamora, E., Chaterlán, Y., Herrera, J., González, F., Bonet, C., Rodríguez, D., & Cisneros, E. (2021). *Predicción a futuro según la variabilidad climática de las normas netas de riego de los cultivos agrícolas de importancia en Cuba*, [Informe final de proyecto. Código P211CH001-055, Anexo 22]. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.
- Duarte, D. C., Herrera, P. J., López, S. T., González, R. F., & Zamora, H. E. (2015). Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4), 46-51, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- González-Robaina, F., Delgado-Acosta, 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. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(1), 3-12, ISSN: 2227-8761.
- Herrera-Puebla, J., González-Robaina, F., & Díaz-Pérez, Y. (2018). Consumo de agua y coeficientes de cultivo en el sorgo de grano (Sorgum vulgare L. Monech). *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3), 25-30, ISSN: 2227-8761.
- INRH-Cuba. (2020). *Resolución No. 17/2020. Índices de Consumo de agua* [Resolución ministerial]. Instituto Nacional de Recursos Hídricos. La Habana, Cuba.
- Instituto de Suelos. (1980). *Clasificación genética de los suelos de Cuba* (primera edición). Editorial Academia, La Habana, Cuba.
- Menezes, C., Saldanha, D., Santos, C., Andrade, L., Júlio, M. M., Portugal, A., & Tardin, F. (2015). Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 12675-12683.
- Moinelo, L. M., Duarte, C., Zamora, E., Herrera, J., & Vázquez, V. (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, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G., & Milián, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench). *Pastos y forrajes*, 33(1), 1-1, ISSN: 0864-0394.
- Pérez, R., & Álvarez, M. (2005). *Necesidades de Riego de la Caña de Azúcar en Cuba* (Vol. 2). Ed. Academia, La Habana, Cuba. ISBN 959-270-065-6.
- Pérez, Y., Herrera, J., & González, F. (2016). Estimación de los requerimientos de agua del sorgo (Sorghum vulgare L. Monech) en la región Los Palacios en Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 6(4), 3-10, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- Planos, E. O. (2014). *Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Sello Editorial AMA, La Habana, Cuba.
- Renault, D., Facon, T., & Wahaj, R. (2007). *Modernizing irrigation management—the Masscote approach*. FAO 637, Mapping System and Services for Canal Operation Techniques, Rome, Italy, ISBN 978-92-5-105716-2.
- Rodríguez, R. (2006). Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba Mapa Isoyético para el período 1961-2000. *Voluntad Hidráulica*, 98, 2-14, ISSN: 2227-8761.
- Sankarapandian, R., Krishnadoss, D., Muppudathi, N., & Chidambaram, S. (1993). Variability studies in grain sorghum for certain physiological characters under water stress conditions. *Crop improvement*, 20(1), 45-50, ISSN: 0256-0933.
- Stichler, C., McFarland, M. L., & Coffman, C. G. (2014). *Irrigated and dryland grain sorghum production, South and Southwest Texas*. Texas Agricultural Extension Service, Texas A & M University System, USA. <http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/5M—5-97,NewAGR14.pdf>
- Vargas, R. del C., Sánchez, G., & Rolón, J. (2013). *Proyecciones de cambio en la precipitación mediante Vías De Concentración Representativas a Nivel Cuenca* (pp. 1-16). Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Vázquez, R. (2021). *Modelación y caracterización agroclimática según proyecciones futuras para los municipios BASAL* [Componente modelación biofísica de cultivos (bioma). Presentación en el marco del “Resultado”. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba.

---

Reinaldo Cun-González, Inv. Auxiliar, 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: [reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu](mailto:reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5100-7902>

Martha Isabel Moinelo-Lavastida, 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: [martha.moinelo@iagric.minag.gob.cu](mailto:martha.moinelo@iagric.minag.gob.cu), [marthaiml1994@gmail.com](mailto:marthaiml1994@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5979-2127>

Carmen E. Duarte-Díaz, 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: [carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu](mailto:carmen.duarte@iagric.minag.gob.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7887-6289>

Enrique Cisneros-Zayas, 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: [enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu](mailto:enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1021-0680>

Ángel Luis Ramos-Tamayo, Ing., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [angelluisramos92@gmail.com](mailto:angelluisramos92@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9929-2407>

## CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

**Conceptualización:** Reinaldo Cun-González. **Curación de datos:** Reinaldo Cun-González, Martha Isabel Moinelo-Lavastida. **Análisis formal:** Reinaldo Cun-González, Martha Isabel Moinelo-Lavastida, Carmen E. Duarte-Díaz, Enrique Cisneros-Zayas. **Investigación:** Reinaldo Cun-González, Carmen E. Duarte-Díaz, Enrique Cisneros-Zayas, Ángel Luis Ramos-Tamayo. **Metodología:** Reinaldo Cun-González, Carmen E. Duarte-Díaz, Enrique Cisneros-Zayas, Ángel Luis Ramos-Tamayo. **Supervisión:** Reinaldo Cun-González. **Validation:** Reinaldo Cun-González, Enrique Cisneros-Zayas, Ángel Luis Ramos-Tamayo.

**Redacción–borrador original:** Reinaldo Cun-González. **Redacción–revisión y edición:** Reinaldo Cun-González, Martha Isabel Moinelo-Lavastida, Carmen E. Duarte-Díaz, Enrique Cisneros-Zayas, Ángel Luis Ramos-Tamayo.

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.