

Calibración y validación del modelo CSM-MANIHOT-Cassava en diferentes arreglos espaciales en la provincia Holguín, Cuba



<https://cu-id.com/2177/v32n2e05>

Calibration and Validation of CSM-MANIHOT-Cassava Model for Cassava Crop (*Manihot esculenta* C.) at Different Plant Spacing in Holguín Province, Cuba

✉ Sebastián Zayas-Infante^{I*}, ✉ Maura Isabel Rodríguez-Palma^{II}, ✉ Heriberto Vargas-Rodríguez^{III},
✉ René Florido-Bacallao^{IV}, ✉ Osmel Rodríguez-González^{IV}

^ICentro Universitario Municipal (CUM) Buenaventura, Calixto García, Holguín, Cuba.

^{II}Universidad de Holguín, provincia de Holguín, Cuba.

^{III}Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{IV}Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La yuca es un cultivo de marcada importancia a nivel global y constituye la base alimenticia de más de 500 millones de personas. En Cuba se cultiva en todas las provincias del país con significativos volúmenes de producción, sin embargo, persisten tecnologías que favorecen la presencia de procesos de degradación del suelo y limita sus potencialidades productivas. Los rendimientos alcanzados en el municipio de Calixto García oscilan alrededor de las 15 tha^{-1} , muy por debajo de la media nacional. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de calibrar el modelo CSM-MANIHOT-Cassava del DSSAT v4.6 y validar los coeficientes genéticos en función de los rendimientos para el clon “Señorita” en las condiciones de Holguín. Se realizaron experimentos en dos fincas de la CCS Julio Sanguily en fechas de plantación diferentes y empleando tres arreglos espaciales. Para la validación se emplearon rendimientos alcanzados por productores en la zona de estudio en campañas diferentes y se determinaron los valores de la **RMSEn**. Los resultados de la validación mostraron valores de **RMSEn** de 9.8% y 11.2% para las dos campañas empleadas, ello demuestra el adecuado ajuste del modelo y la factibilidad de su empleo para la yuca.

Palabras clave: modelación, DSSAT, coeficientes genéticos, rendimientos, yuca.

ABSTRACT: Cassava is a cultivation of marked importance at global level and it constitutes the nutritious base of more than 500 million people. In Cuba, it is cultivated in all the provinces of the country with significant production volumes, however, technologies that favor the presence of processes of degradation of the soils and limit their productive potentialities persist. The yields reached in Calixto García Municipality oscillate around 15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, very below the national average. This investigation was developed with the objective of calibrating the CSM-MANIHOT-Cassava of the DSSAT v4.6 and validating the genetic coefficients in function of the yields for the clone “Señorita” under the conditions of Holguín Province. The experiments were carried out in two properties of the CCS “Julio Sanguily” in different plantation dates and using three space arrangements. For the validation, yields reached by producers in the study area in different campaigns were used and the values of the **RMSEn** were determined. The results of the validation showed values of **RMSEn** of 9.8% and 11.2% for the 2 campaigns used, it demonstrates the appropriate adjustment of the model and the feasibility of its utilization for cassava.

Keywords: Modeling, DSSAT, Genetic Coefficients, Yields, Cassava.

*Autor para correspondencia: Sebastián Zayas-Infante, e-mail: ssayasi@uho.edu.cu

Recibido: 12/09/2022

Aceptado: 13/03/2023

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crants) es un cultivo de marcada importancia a nivel global y constituye la base alimenticia de más de 500 millones de personas en las regiones tropicales (CIAT-Colombia, 2013). Su producción mundial, solamente superada por la papa (FAO (2020)), manifiesta una tendencia al incremento y se espera que para el año 2050, su consumo supere el 8% en comparación con el año 2010, fundamentalmente en América Latina y el Caribe (Rankine et al., 2021; Scott, 2021; Lehman et al., 2022).

En Cuba se cultiva la yuca en todas las provincias del país, sin embargo, persisten tecnologías de producción que favorecen la presencia de procesos de degradación del recurso suelo y limitan sus potencialidades productivas (Mojena y Bertolí, 2000). En el municipio de Calixto García los rendimientos obtenidos con la yuca se aproximan a las 15 t ha⁻¹ en el año 2020, cifra muy por debajo de las 30.5 t ha⁻¹ establecidas como el rendimiento potencial del cultivo a nivel nacional (ONEI-Cuba, 2021). Ante esta situación, se ratifica la importancia de buscar alternativas de uso agrícola acorde a las condiciones edafoclimáticas de los agroecosistemas orientadas a lograr incrementos sustanciales en los rendimientos en suelos degradados y bajo condiciones específicas de manejo y escenarios cambiantes de cambio climático (IPCC, 2021; FAO, 2022).

En este sentido, disponer de herramientas relacionadas con los modelos de simulación de cultivos es de gran utilidad (Moreno-Cadena et al., 2020; 2021; Rodríguez-González et al., 2020). El conocimiento de la manera en que el cultivo responde a las variaciones de las condiciones ambientales es un componente esencial para el diseño de adecuadas estrategias de manejo (Rodríguez-González et al., 2018; González-Viera et al., 2022).

La determinación de los coeficientes genéticos de un cultivar se puede obtener a partir de la calibración apropiada del modelo (Choudhury et al., 2018; Rodríguez-González et al., 2018; Rankine et al., 2021). Los coeficientes genéticos de los clones de yuca que se producen en Cuba no se incluyen en la base de datos de cultivares de DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). Es por ello que el objetivo de esta investigación es calibrar y validar los coeficientes genéticos seleccionados en función de los rendimientos para el cultivo de la yuca en las condiciones de la provincia de Holguín.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio

La investigación se desarrolló en el municipio de Calixto García, en la provincia de Holguín, situado geográficamente según el sistema de coordenadas Cuba Sur en los 20°53'58"N de latitud y a los

76°26'51"W de longitud y con una altitud de 104 m sobre el nivel del mar. En el territorio prevalecen los suelos Pardos Sialíticos con presencia de carbonatos (Hernández et al., 2015). La temperatura promedio anual es de 25,6°C y las precipitaciones oscilan entre 800 mm y 1200 mm anuales con largos periodos de sequía (ONEI-Cuba, 2021).

Calibración

Para determinar los valores de los coeficientes genéticos del clon de yuca "Señorita" se tomaron los datos de experimentos desarrollados en dos fincas de la CCS "Julio Sanguily". La plantación se efectuó el 17 de julio y el 20 de diciembre de 2020. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro réplicas, en parcelas experimentales de 25 m². Se emplearon tres arreglos espaciales diferentes: 0,90 m x 0,90 m; 1,20 m x 0,70 m y 2,0 m x 0,60 m con una densidad de 12 345 plantas·ha⁻¹, 11 904 plantas·ha⁻¹ y 8 333 plantas·ha⁻¹; respectivamente. Se empleó el clon "Señorita" de aceptable rusticidad, ciclo largo, porte erecto y es poco ramificada (INIVIT-Cuba, 2007). La plantación se realizó por el método manual en el fondo del surco y las labores fitotécnicas se realizaron según lo recomendado por (INIVIT-Cuba, 2007) y sin fertilización.

Recolección de los datos

Las observaciones de las variables seleccionadas se realizaron con una frecuencia mensual a partir de los 30 días después de la plantación (DDP) mediante muestreos destructivos. Se determinó la masa fresca y masa seca de cada estructura vegetativa (hojas, peciolos, tallos, semillas, raíces y raíces tuberosas) por separado mediante secado solar hasta masa constante y con ello se determinó la masa seca total de la parte aérea (gm⁻²), esta variable se obtuvo de la sumatoria de la masa seca de cada órgano.

El rendimiento agrícola se obtuvo en cada parcela experimental y luego se estimó para una hectárea, según lo recomendado por (Mojena y Bertolí, 2000). La masa seca de los órganos de la planta se determinó mediante el empleo de una balanza mecánica de laboratorio marca Bonvoisin, modelo MB2610 con capacidad de 2 610 g y una precisión de 0,1 g.

Preparación de los ficheros de entrada

Se crearon seis ficheros de entrada para correr el modelo CSM-MANIHOT-Cassava insertado en DSSAT v4.6: fichero X, fichero A, fichero T, fichero de suelo, fichero de clima y fichero de coeficientes genéticos. En los ficheros A y T se almacenaron los valores de las variables fisiológicas observadas en los experimentos y, posteriormente, se compararon con los valores simulados por el modelo para la calibración.

En el fichero X se almacenaron los datos de las condiciones de campo, tratamientos experimentales y opciones de simulación. Éste fichero almacena los datos de manejo de la producción del cultivo, separados en varias secciones. Para la confección del fichero de clima se utilizaron los valores de las variables meteorológicas (temperaturas máximas, temperaturas mínimas, precipitaciones diarias y radiación solar) de los meses en que se desarrollaron los experimentos, obtenidas de la Estación Meteorológica de La Jiquima, en el municipio de Calixto García, distante a unos 18 km aproximadamente del área experimental.

Calibración del modelo

Para obtener los valores de los coeficientes genéticos del clon de yuca “Señorita” se obtuvo los datos de suelo de las dos fincas a dos profundidades (0-10 cm) y de (10-20 cm), los datos climáticos de la estación meteorológica de La Jiquima y los datos de manejo del cultivo, los cuáles, fueron introducidos al DSSAT en forma de ficheros según procedimiento descrito por (Hoogenboom *et al.*, 2019).

El modelo CSM-MANIHOT-Cassava para DSSAT necesita ser calibrado mediante la obtención de los coeficientes genéticos para el clon estudiado, se requieren ajustar los parámetros relacionados con los aspectos fenológicos del cultivo (B01ND, B12ND, B23ND, B34ND, B45ND, B56ND) y los parámetros relacionados con el rendimiento (SR#WT, LAXS, SLAS, LLIFA), su definición se muestra en la [Tabla 1](#).

La exactitud de los parámetros se evaluó comparando los valores simulados con los observados en relación con el rendimiento e índice de cosecha. Para determinar la bondad de ajuste del modelo se calculó la raíz del cuadrado medio del error (*RMSE*) y la raíz del cuadrado medio del error normalizado (*RMSEn*) para lo cual se emplearon las siguientes ecuaciones ([ecuaciones 1 y 2](#)):

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Si - Oi)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSEn = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Si - Oi)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (2)$$

donde:

Si y *Oi*-valores simulados y observados

n-es el número de observaciones

\bar{O}_i -media de los valores de *O_i*.

Una simulación puede ser considerada de Excelente si la *RMSEn* es menor que el 10%, Buena si se encuentra entre 10% y 20%, Razonable si está entre 20% y 30% y Malo si es mayor que 30% (Rodríguez-González *et al.*, 2020; Moreno-Cadena *et al.*, 2021; Phoncharoen *et al.*, 2021). Para la calibración del modelo de simulación de cultivos se utilizaron los datos de los experimentos de julio de 2020 y diciembre de 2021.

Validación

Los coeficientes genéticos resultados de la calibración se copiaron en el archivo DSSAT.CUL para aplicarlos en las corridas del programa y evaluar el modelo; el mismo se validó utilizando los datos de rendimientos obtenidos por productores en la zona de estudio en las campañas de febrero de 2018 y mayo de 2020 y comparando los resultados de los valores observados con los valores simulados por el modelo. Se calcularon además los valores de *RMSE* y *RMSEn* para estos rendimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración

La evaluación mensual y el monitoreo sistemático de la fenología del cultivo proporcionaron los datos para la calibración del modelo para el cultivar cubano “Señorita”.

Los resultados obtenidos en las principales variables en las dos fincas entre los valores observados (*O_i*) y los simulados (*S_i*) y los indicadores de bondad de ajuste del modelo *RMSE* y *RMSEn* se muestran en la [Tabla 2](#).

En sentido general, para los tres arreglos espaciales en ambas fechas de plantación, los rendimientos del cultivo predichos mostraron una buena correspondencia en relación con los observados con *RMSE* = 1 687,30 kg·ha⁻¹. Un comportamiento similar mostraron los valores del índice de cosecha con *RMSE* = 0,107. Para éstos parámetros evaluados la *RMSEn* se comportó con valores entre el 10% y el 12% lo que demuestra un buen ajuste del modelo. En Tailandia, al determinar los coeficientes genéticos para cuatro clones de yuca en diversas fechas de plantación (mayo, junio y diciembre de 2016) con el empleo del modelo DSSAT se reportan valores de *RMSEn* entre 14,4% y 38,3% superiores a los obtenidos en esta investigación (Phoncharoen *et al.*, 2021).

De manera similar, en estudios recientes desarrollados en Jamaica al evaluar este modelo para determinar los beneficios del potencial de irrigación para cuatro clones de yuca, (Rankine *et al.*, 2021) reportan valores de *RMSEn* entre 18,2% y 24,0% en dos de los clones evaluados, superiores a los obtenidos en esta investigación.

En este sentido, un estudio realizado para determinar los índices estadísticos más adecuados para evaluar modelos de simulación de cultivos concluye en que los índices *RMSE* y *RMSEn* son los que mejor muestran cuanto se desvían las simulaciones realizadas por un modelo, es por ello que se consideran los más apropiados para reflejar la calidad de las simulaciones de un modelo (Saldaña-Villota y Cotes-Torres, 2021).

En la [Figura 1](#) se muestra el comportamiento de los valores de los rendimientos observados y simulados en

TABLA 1. Calibración de los parámetros genéticos para el clon de yuca “Señorita”

Parámetros genético	Definición	Clon “Señorita”
B01ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la primera ramificación.	18,47
B12ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la segunda ramificación.	68,06
B23ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la tercera ramificación.	56,72
B34ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la cuarta ramificación.	125,20
B45ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la quinta ramificación.	0,00
B56ND	Coefficiente tiempo térmico cantidad de nudos en el momento de la sexta ramificación.	0,00
SR#WT	Relación entre número de raíces tuberosas y masa de la parte aérea de la planta.	0,550
SRFR	Fracción de asimilados máximos enviados a almacenarse en la raíz tuberosa.	6,705
LAXS	Área foliar máxima	295,0
SLAS	Área foliar específica	380,0
LLIFA	Tiempo térmico acumulado entre la expansión foliar completa e inicio de la senescencia de una hoja.	990
LPEFR	Fracción del peciolo de la hoja (fracción de la lámina + peciolo)	0,33
STFR	Fracción de asimilados del tallo destinados al crecimiento del dosel de la planta.	0,35

Fuente: Adaptado de (Rodríguez-González *et al.*, 2020).

TABLA 2. Comportamiento de las principales variables en la calibración

Fecha de plantación	Arreglo espacial	Rendimiento (kgha ⁻¹)		Índice de cosecha	
		O _i	S _i	O _i	S _i
15 de julio de 2020	0,90 m x 0,90 m	16 149	16 455	0,90	0,99
	1,20 m x 0,70 m	14 806	16 455	0,88	0,99
	2,0 m x 0,60 m	13 862	11 604	0,90	0,99
20 de dic de 2020	0,90 m x 0,90 m	16 561	17 377	0,90	0,99
	1,20 m x 0,70 m	14 766	17 377	0,88	0,99
	2,0 m x 0,60 m	12 564	13 863	0,90	0,99
RMSE			1 687,30		0,107
RMSEn			11,2%		10,7%

Fuente: Elaboración propia.

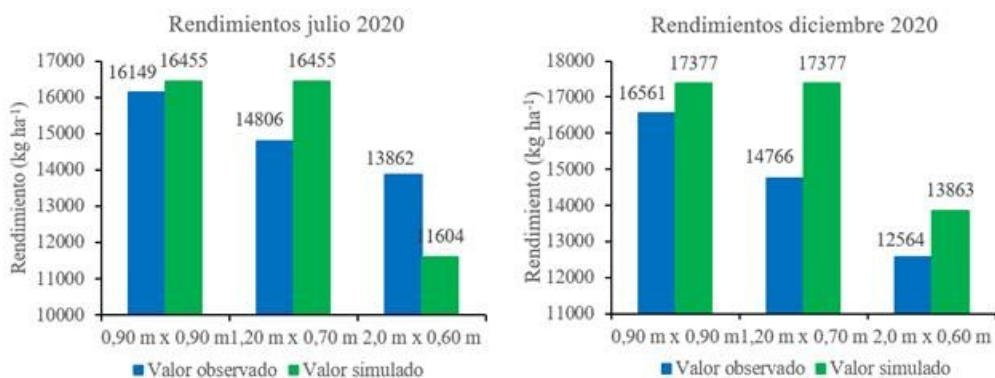


FIGURA 1. Comportamiento del rendimiento en los arreglos espaciales para cada experimento.

cada uno de los arreglos espaciales evaluados en los dos experimentos.

Como se puede apreciar en cinco de los seis tratamientos los valores de rendimiento simulados por el modelo son superiores a los rendimientos observados en los experimentos de campo, los mayores valores se corresponden a los arreglos

espaciales de 0,90 m x 0,90 m y 1,20 m x 0,60 m en el experimento plantado en diciembre de 2020 con 17 377 kg ha⁻¹, en este último tratamiento es donde se aprecia una mayor diferencia entre los valores de rendimiento observados y simulados entre los seis tratamientos con un valor de 2 611 kg ha⁻¹.

De manera general, en este indicador se obtienen los valores más elevados en el experimento plantado en diciembre de 2020 en los arreglos espaciales de 0,90 m x 0,90 m con 16 561 kg ha⁻¹ y 2,0 m x 0,60 m con 12 564 kg ha⁻¹, en comparación con los valores obtenidos en el experimento plantado en julio de 2020 en los arreglos de 0,90 m x 0,90 m con 14 149 kg ha⁻¹ y 2,0 m x 0,60 m con 11 604 kg ha⁻¹, estos resultados son atribuibles a que el experimento de diciembre de 2020 se plantó en la época óptima para este cultivo en Cuba por lo que los factores ambientales ejercieron una mayor influencia en el desarrollo y crecimiento del cultivo.

En el caso del arreglo espacial de 1,20 m x 0,70 m los rendimientos obtenidos fueron muy similares con 14 806 kg ha⁻¹ y 14 766 kg ha⁻¹ para los experimentos plantados en julio de 2020 y en diciembre de 2020, respectivamente. En estudios realizados en Jamaica para determinar el comportamiento de cuatro genotipos de yuca con el empleo del DSSAT, (Rankine *et al.*, 2021) reportan diferencias entre los valores observados y simulados de rendimiento de hasta 4 606 kg ha⁻¹, lo que no concuerda con los resultados de ésta investigación.

Por otra parte, en investigaciones recientes desarrolladas en Tailandia, (Photangtham *et al.*, 2022), reportan que para el rendimiento los valores observados en los experimentos de campo mostraron una tendencia a la disminución en la medida que se emplean arreglos espaciales más amplios, similar comportamiento muestran los valores simulados por el modelo, estos resultados coinciden con los obtenidos en esta investigación.

En la Figura 2 se muestran los valores observados y simulados del índice de cosecha para los dos experimentos.

En este indicador los valores observados y los valores simulados muestran un comportamiento similar, los mayores valores se corresponden a los índices de cosecha simulados por el modelo para los tres arreglos espaciales con un índice de cosecha de

0,99 para los dos experimentos. En el caso de los valores observados se aprecia que los mayores valores se observan en los arreglos espaciales de 0,90 m x 0,90 m y 2,0 m x 0,60 m con 0,90 y 0,90 para ambas fincas, respectivamente. El menor valor observado para el índice de cosecha se obtiene en el arreglo espacial de 1,20 m x 0,70 m con un índice de cosecha de 0,88.

Resultados similares al obtenido en esta investigación fueron observados en Tailandia al evaluar el potencial del CSM-MANIHOT-Cassava del DSSAT para simular la biomasa de dos cultivares en diferentes arreglos espaciales, (Photangtham *et al.*, 2022) reportan pequeñas diferencias entre los valores observados y los simulados por el modelo en este indicador en el tratamiento sin la aplicación de riego para los dos cultivares en los diferentes arreglos espaciales empleados. Por otra parte, (Rankine *et al.*, 2021) al evaluar mediante el DSSAT el comportamiento de cuatro genotipos de yuca en Jamaica, reportan muy poca variación entre los valores observados y simulados en este indicador para los cuatro clones de yuca estudiados.

Validación

La validación del modelo fue realizada mediante el empleo de los valores de los coeficientes genéticos resultados de la calibración del modelo y la comparación entre los valores observados y valores simulados de los rendimientos en las campañas de febrero de 2018 y mayo de 2020. Se determinó la **RMSE** y **RMSEn** para ambas campañas (Tabla 3).

Los rendimientos simulados tuvieron relación con los observados para las dos campañas, en la campaña de febrero de 2018 se obtuvo una **RMSEn** = 9,8% y en la campaña de mayo de 2020 se obtuvo una **RMSEn** = 11,2%. Estos resultados evidencian el buen ajuste del modelo de simulación DSSAT para el cultivo de la yuca en las condiciones de la provincia de Holguín.

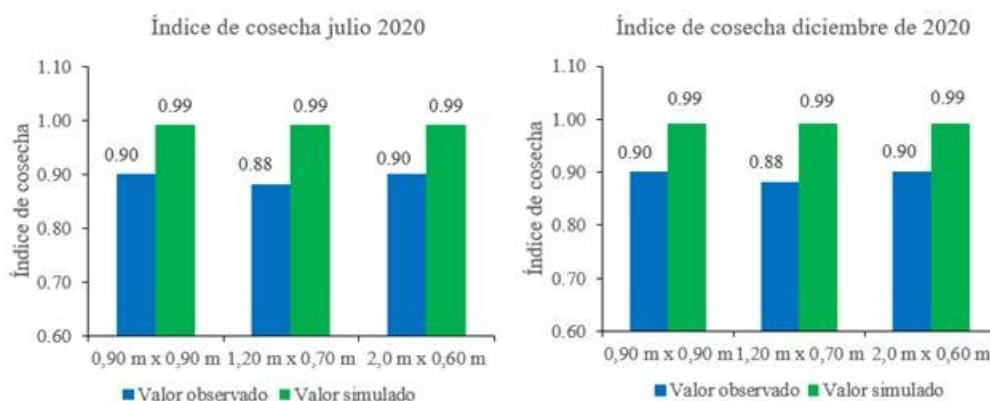


FIGURA 2. Valores observados y simulados del índice de cosecha para los dos experimentos.

TABLA 3. Validación de los resultados del modelo DSSAT para la yuca

Indicadores	Campaña de febrero de 2018		Campaña de mayo 2020	
	Oi	Si	Oi	Si
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	18 730	16 882	15 280	16 994
RMSE		1 848		1 714
RMSEn (%)		9,8		11,2

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- La determinación de los coeficientes genéticos del clon de yuca “Señorita” permitió establecer que el modelo DSSAT puede emplearse para modelar los componentes fisiológicos y el rendimiento de este cultivo en las condiciones de Holguín.
- Los resultados de la validación mostraron valores de **RMSEn** de 9.8% y 11.2% para las dos campañas empleadas, lo que demuestra el buen ajuste del modelo y la factibilidad de su empleo para la yuca en las condiciones de Holguín.
- Los parámetros genéticos que se obtuvieron en éste estudio pueden ser empleados para el análisis de sensibilidad en el futuro y con ello, proponer alternativas de manejo y escenarios de uso para el cultivo en agroecosistemas con características edafoclimáticas similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOUDHURY, A.; ISHTIAQUE, S.; SEN, R.; JAHAN, M.; AKHTER, S.; AHMED, F.; BISWAS, J.; MANIRRUZAMAN, M.; HOSSAIN, M.; MIAH, M.: “Calibration and validation of DSSAT model for simulating wheat yield in Bangladesh. Haya”, *The Saudi Journal of Life Sciences (SJLS)*, 3(4): 356-364, 2018, ISSN: 2415-6221, DOI: <https://dx.doi.org/10.21276/haya.2018.3.4.3>.

CIAT-COLOMBIA: *La Promesa de la Agricultura Tropical Hecha Realidad, [en línea]*, Inst. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Informe Anual CIAT 2012-2013, Colombia, 2013, Disponible en: http://ciat.cgiar.org/wpcontent/uploads/2013/06/informe_anual_2012.pdf, [Consulta: 10 de diciembre de 2021].

FAO: “OECD-FAO perspectivas agrícolas 2022-2031”, 2020, ISSN: 2218-4376, DOI: <https://dx.doi.org/10.1787/22184376>, Disponible en: <https://doi.org/10.1787/820ef1bb-es>, [Consulta: 19 de noviembre de 2021].

FAO: *Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe, [en línea]*, Inst. FAO, 37 periodo de sesiones, Quito, Ecuador, 12 p., 2022, Disponible en: <https://www.fao.org/about/meetings/regional-conferences/larc37/documents/es>.

GONZÁLEZ-VIERA, D.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, O.; FLORIDO-BACALLAO, R.; VÁZQUEZ-MONTENEGRO, R.; SOCORRO-

QUESADA, M.A.: “Determinación de parámetros para la calibración del modelo DSSAT en el cultivo del maíz”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(4): 42-48, 2022, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.

HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. Ediciones INCA, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas ed., vol. 93, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-82-1.

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; SHELIA, V.; WILKENS, P.W.; BERETTIG-BRUNS, U.; KLOEPPER, J.W.; SENTHOLD A; CÓRCOLES, J.I.; MORENO, L.P.: “Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7 (www.DSSAT.net)”, En: *Advances in crop modelling for a sustainable agriculture*, Ed. Burleigh Dodds Science Publishing, Gainesville, Florida, USA, pp. 173-216, DSSAT Foundation, 2019, ISBN: 0-429-26659-6.

INIVIT-CUBA: *Instructivo técnico para el Cultivo de la yuca. Por un desarrollo ecológico y sostenible en armonía con la naturaleza y la sociedad, [en línea]*, Ed. ACTAF, Ediciones Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF) ed., La Habana, Cuba, 16 p., 2007, Disponible en: http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=30&cf_id=24, [Consulta: 11 de octubre de 2021].

IPCC: “Climate change 2021: The Physical Science Basis”, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment report of the intergovernmental Panel on Climatic Change”, En: *Working Group I to the Sixth Assessment report of the intergovernmental Panel on Climatic Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 2391, Eds. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou, 2021, DOI: <https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896>.

LEHMANE, H.; BA, R.; DAH-NOUVLESSOUNON, D.; SINA, H.; BELLO, O.D.; DEGNONVI, H.;

- BADE, F.T.; BABA-MOUSSA, F.; ADJANOHOON, A.; ALEMÁN-HURTADO, L.: “Cassava use in southern Benin: Importance and perception of actors involved in the value chain”, *African Journal of Agricultural Research*, 18(11): 919-932, 2022, ISSN: 1991-637X.
- MOJENA, M.; BERTOLÍ, M.: “Comportamiento del rendimiento y sus componentes en la yuca (Manihot esculenta Crantz) en agroecosistemas de intercalamiento con maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.)”, *Cultivos Tropicales*, 21(3): 61-66, 2000, ISSN: 1819-4087, e-ISSN: 0258-5936, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.786>.
- MORENO-CADENA, L.P.; HOOGENBOOM, G.; FISHER, M.J.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; PRAGER, S.D.; LOPEZ-LAVALLE, L.A.; PYPERS, P.; DE TAFUR, M.S.A.; WALLACH, D.; MUÑOZ-CARPENA, R.: “Importance of genetic parameters and uncertainty of MANIHOT, a new mechanistic cassava simulation model”, *European Journal of Agronomy*, 115: 1-14, 2020, ISSN: 1161-0301, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.1016/j.eja.2020.126031>.
- MORENO-CADENA, P.; HOOGENBOOM, G.; COCK, J.H.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; PYPERS, P.; KREYE, C.; TARIKU, M.; EZUI, K.S.; LOPEZ-LAVALLE, L.A.B.; ASSENG, S.: “Modeling growth, development and yield of cassava: A review”, *Field Crops Research*, 267: 1-13, 2021, ISSN: 0378-4290, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.1016/j.fcr.2021.108140>.
- ONEI-CUBA: *Anuario estadístico del municipio de “Calixto García”, Calixto García, Holguín, [en línea]*, Inst. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), Oficina Municipal de Estadística de Calixto García, Holguín, Cuba, 107 p., 2021, Disponible en: <http://www.onei.cu/aed2016/32Holguin/Municipios/07%20Calixto%20Garc%C3%ADa.pdf>, [Consulta: 21 de mayo de 2022].
- PHONCHAROEN, P.; BANTERNG, P.; CADENA, L.P.; VORASOOT, N.; JOGLOY, S.; THEERAKULPISUT, P.; HOOGENBOOM, G.: “Performance of the CSM-MANIHOT-Cassava model for simulating planting date response of cassava genotypes”, *Field Crops Research*, 264: 1-15, 2021, ISSN: 0378-4290, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.1016/j.fcr.2021.108073>.
- PHOTANGTHAM, A.; P Y; AGUILERA, N.; ALATA, N.S.; AITA, S.; ALFONSO, N.; BANTERNG, P.: “Capability of cassava model to determine biomass of two branching types at different plant spacings”, *Agriculture and Natural Resources*, 56(1): 73-84, 2022, ISSN: 2452-316X, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.34044/j.anres.2021.56.1.07>.
- RANKINE, D.; COHEN, J.; MURRAY, F.; MORENO-CADENA, P.; HOOGENBOOM, G.; CAMPBELL, J.; TAYLOR, M.; STEPHENSON, T.: “Evaluation of DSSAT-MANIHOT-Cassava model to determine potential irrigation benefits for cassava in Jamaica”, *Agronomy Journal*, 113(6): 5317-5334, 2021, ISSN: 0002-1962, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.1002/agj2.20876>.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, O.; FLORIDO-BACALLAO, R.; VARELA-NUALLES, M.: “Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba”, *Cultivos Tropicales*, 39(1): 121-126, 2018, ISSN: 1819-4087, e-ISSN: 0258-5936.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, O.; FLORIDO-BACALLAO, R.; VARELA-NUALLES, M.; GONZÁLEZ-VIERA, D.; VÁZQUEZ-MONTENEGRO, R.; MAQUEIRA-LÓPEZ, L.; MOREJÓN-RIVERA, R.: “Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104”, *Cultivos Tropicales*, 41(2): 1-16, 2020, ISSN: 1819-4087, e-ISSN: 0258-5936.
- SALDAÑA-VILLOTA, T.; COTES-TORRES, J.M.: “Comparison of statistical indices for the evaluation of crop models performance”, *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3): 9675-9684, 2021, ISSN: 2248-7026, e-ISSN: 0304-2847, DOI: <https://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.93562>.
- SCOTT, G.J.: “A review of root, tuber and banana crops in developing countries: Past, present and future”, *International Journal of Food Science & Technology*, 56(3): 1093-1114, 2021, ISSN: 1365-2621, e-ISSN: 0950-5423, DOI: <https://dx.doi.org/10.1234/ctv21i3.78610.1111/ijfs.14778>.

Sebastián Zayas-Infante, MSc., Profesor Auxiliar, Centro Universitario Municipal de Calixto García, Universidad de Holguín. Plaza de la Revolución # 6 Buenaventura, CP 84 200. Calixto García, Holguín, Cuba. Tel: (53) 24 35 7204,

e-mail: ssayasi@uho.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2710-4585>

Maura Isabel Rodríguez-Palma, MSc., Profesor Auxiliar, Departamento de Economía. Universidad de Holguín. Avenida XX Aniversario, vía Guardalavaca. CP 80100. Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Tel: (53) 24 48 1662,

e-mail: maurar@uho.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6132-5413>

Heriberto Vargas-Rodríguez, Dr.C., Profesor Titular, Departamento de Suelo y Agua. Universidad Agraria de la Habana. Carretera Tapaste y Autopista Nacional, km 23 y ½, CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Tel: (53) 47 526352,

e-mail: vargas@unah.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7825-2297>

René Florido-Bacallao, Dr.C., Investigador Titular, Dirección Desarrollo, Proyectos y Colaboración. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera a Tapaste km 3.5 Gaveta Postal 1, CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Tel. / Fax: (53) 86 3867.

e-mail: florido@inca.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4494-660X>

Osmel Rodríguez-González, MSc., Investigador, Departamento Informática y Comunicaciones. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera a Tapaste km 3.5 Gaveta Postal 1, CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. Tel. / Fax: (53) 86 3867.

e-mail: osmel@inca.edu.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6480-9971>

Conceptualization: S. Zayas. Data curation: S. Zayas, H. Vargas. Formal Analysis: S. Zayas, M.I. Rodríguez, H. Vargas, R. Florido, O. Rodríguez. Investigation: S. Zayas, M.I. Rodríguez, H. Vargas, R. Florido, O. Rodríguez. Methodology: S. Zayas, M.I. Rodríguez, H. Vargas, R. Florido, O. Rodríguez. Software: O. Rodríguez, R. Florido. Supervision: H. Vargas. Validation: H. Vargas, R. Florido. Writing - original draft: S. Zayas. Writing - review & editing: M.I. Rodríguez, H. Vargas, R. Florido, O. González.

The authors of this work declare no conflict of interests.

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher

This article is under license [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)