

Modelo agrometeorológico para el pronóstico del rendimiento agrícola de la caña de azúcar



Agrometeorological model for forecasting agricultural yield of sugarcane

<https://cu-id.com/2377/v30n3e02>

 Regla Z. Enrique Estévez¹,  Grethel L. Sieiro Miranda^{2*}

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana, Cuba.

²Centro Meteorológico Provincial Sancti Spiritus, Sancti Spiritus, Cuba.

RESUMEN: La investigación tiene como objetivo la elaboración de un modelo agrometeorológico de pronóstico del rendimiento agrícola azucarero. Se tomaron los rendimientos por cepas y totales, área de cada cepa y total, y edad de la plantación de 13 Unidades Empresariales de Base de las provincias Cienfuegos, Sancti Spiritus y Ciego de Ávila en el período 1980-2015; así como, registros mensuales de precipitación, temperatura media y evapotranspiración de siete estaciones meteorológicas. Se calculó el Índice Potencial Productivo según la fase fenológica en la que se encuentre para comprobar su grado de efectividad. Para el procesamiento estadístico se utilizó el tabulador Excel, STATISTICA versión 8.0.5 y el módulo matemático SciPy. La efectividad de las estimaciones de rendimiento agrícola obtenidas con el modelo presentado para las zafras 2011 - 2015, se comparó usando el coeficiente de determinación R^2 , analizando la relación establecida entre las variables regresoras y el predictando. El modelo de regresión lineal múltiple permite realizar pronósticos de rendimiento agrícola con precisión y ajuste, en dependencia de los escenarios comerciales concretos de la producción cañera del país. La provincia Ciego de Ávila revela, de las tres en estudio, el mayor grado de efectividad en la estimación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

Palabras claves: caña de azúcar, Cuba, Índice Potencial Productivo, pronóstico, rendimiento.

ABSTRACT: The objective of the research is the development of an agrometeorological model for forecasting sugar agricultural yield. The yields by strains and totals, area of each strain and total, and age of the plantation were taken from 13 Management Business Units in the Cienfuegos, Sancti Spiritus and Ciego de Ávila provinces in the period 1980-2015; as well as monthly records of precipitation, average temperature and evapotranspiration from seven meteorological stations. The Productive Potential Index was calculated according to the phenological phase in which it is found to verify its degree of effectiveness. For statistical processing, the Excel tabulator, STATISTICA version 8.0.5 and the SciPy mathematical module were used. The effectiveness of the agricultural yield estimates obtained with the model presented for the 2011 - 2015 harvests was compared using the coefficient of determination R^2 , analyzing the relationship established between the regressor variables and the predictand. The multiple linear regression model allows agricultural performance forecasts to be made with precision and adjustment, depending on the specific commercial scenarios of the country's sugarcane production. The province of Ciego de Ávila reveals, of the three under study, the highest degree of effectiveness in estimating the agricultural yield of sugar cane.

Keywords: sugarcane, Cuba, Productive Potential Index, forecast, yield.

INTRODUCCIÓN

La productividad de los cultivos está muy influenciada por las condiciones climáticas por lo que se han realizado muchos intentos de estimar el rendimiento de los cultivos utilizando datos meteorológicos y se han logrado grandes avances con el desarrollo del aprendizaje automático (Ha *et al.*,

2023). Hoogenboom (2000) afirma que hasta el 80% de la variabilidad de la producción agrícola se debe a la variabilidad de las condiciones climáticas, especialmente para la producción de secano. La azúcar derivada del cultivo es uno de los productos más demandados y comercializados en Cuba (Muñiz, 2022; Hernández *et al.*, 2023).

*Autor para correspondencia: gseiromiranda@gmail.com

Recibido: 03/01/2024

Aceptado: 23/03/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Regla Zaira Enrique Estévez participó en la curación de datos, análisis formal, investigación, y redacción del borrador original. Grethel Lázara Sieiro Miranda participó en la conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, administración del proyecto, metodología, supervisión, redacción del borrador original y revisión y edición del documento final.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

En el país, tanto la superficie cosechada como la cultivada de la caña de azúcar decrece (Casanovas *et al.*, 2022) y en el año 2022, las afectaciones por eventos meteorológicos extremos en el sector agropecuario cubano ascendieron a 15193.5 millones de pesos. Cuba sufre una degradación progresiva de los recursos naturales para la producción de alimentos. Aunque posee 6.7 millones de hectáreas de superficie agraria, el rendimiento agrícola de caña de azúcar es de 34 t ha⁻¹ (ONEI, 2022); inferior al promedio regional y mundial para esta gramínea.

El Plan de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional (SAEN) del Estado cubano insiste en mejorar la gestión de trabajo en la organización de sistemas alimentarios locales, soberanos y sostenibles que integren la producción, transformación, comercialización y consumo de alimentos (Díaz *et al.*, 2021). Para garantizar el éxito y la sostenibilidad en este sentido es necesario crear capacidades para la toma de decisiones informadas (Torres *et al.*, 2022). El desarrollo de la modelación estadístico-matemática, permite dar respuesta a diversos problemas vigentes de investigación en el sector agrario (Fernández *et al.*, 2019).

El uso de la modelación dentro de la agricultura ha surgido como una alternativa de planificación e investigación. Los modelos de simulación aplicados a cultivos agrícolas son una categoría de modelos ambientales cuya aplicación más importante es poder predecir el rendimiento de los cultivos agrícolas en condiciones específicas y ser capaces de adaptarse al cambio de condiciones (Gálvez *et al.*, 2010).

El pronóstico del rendimiento de los cultivos es un componente importante de un sistema de alerta temprana para la planeación respecto a la seguridad alimentaria, así como para el comercio, el desarrollo de políticas y la asistencia humanitaria relacionadas con ella. Funciona como un importante indicador de los ingresos nacionales cuando la contribución del sector agrícola al producto interno bruto (PIB) de un país es alta (Jha *et al.*, 2019).

Este proceso de estimación del rendimiento constituye la base del desarrollo organizativo de la producción cañera y a través del mismo se establecen los compromisos nacionales e internacionales a cumplir a partir del azúcar a producir (Machado *et al.*, 2017). La disponibilidad de mejores herramientas mejora la eficiencia de la toma de decisiones al reducir los impactos negativos y permitir tomar ventaja de dichas variaciones meteorológicas (Arias, 2008; Sieiro - Miranda, 2015; González *et al.*, 2016).

La elección de un modelo de simulación de rendimiento para un cultivo se establece con la finalidad de reproducir su comportamiento en disímiles ambientes y analizar la respuesta ante estas variaciones (González *et al.*, 2016). En la literatura científica los autores reconocen su validez y citan los modelos de simulación de cultivos con mejores resultados registrados entre los que se encuentran el UNSAT, DRAINMOD, SWATRE/SWACROP, LEACHW, PREFLO, MACRO, STICS y APSIM (Gálvez y col., 2010).

Para la caña de azúcar como objeto de estudio, varios autores recomiendan la regresión lineal múltiple como el método más apropiado para elevar la eficiencia del pronóstico de rendimiento en la gestión agrícola del cultivo (González *et al.*, 2016; Gálvez *et al.*; 2010). El objetivo de la investigación fue elaborar un modelo agrometeorológico de pronóstico del rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron los rendimientos por cepas (t ha⁻¹), rendimientos totales (t ha⁻¹), área ocupada por cada cepa (ha), área total cañera (ha) y edad de la plantación (meses) de 13 Unidades Empresariales de Base (UEB) de las provincias Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila (Tabla 1) en el período 1980-2015. Los mismos fueron adquiridos a partir de la base patrimonial de datos del cultivo del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) según la Sala de Análisis Nacional del Grupo Azucarero AZCUBA.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las Unidades Empresariales de Base (UEB).

Provincia	UEB	Latitud N	Longitud W
Cienfuegos	Ciudad Caracas	22° 22' 45"	-80° 16' 41"
	Antonio Sánchez	22° 16' 12"	-80° 52' 20"
	14 de Julio	22° 14' 44"	-80° 31' 54"
	Elpidio Gómez	22° 16' 42"	-80° 25' 22"
	5 de Septiembre	22° 26' 11"	-80° 31' 53"
Sancti Spíritus	Melanio Hernández	21° 59' 20"	-79° 18' 26"
	Uruguay	21° 55' 56"	-79° 10' 6"
Ciego de Ávila	Enrique Varona	22° 10' 19"	-78° 47' 46"
	Ecuador	21° 41' 29"	-78° 38' 3"
	Ciro Redondo	21° 58' 10"	-78° 39' 15"
	Primero de Enero	21° 56' 37"	-78° 25' 40"

Fuente: INICA (2020)

Se utilizaron los registros mensuales de precipitación (mm), temperatura media (°C) y evapotranspiración (mm/mes) para el período de análisis de siete estaciones meteorológicas (Tabla 2) ubicadas en las provincias incluidas en el estudio, pertenecientes a la Red Nacional del Instituto de Meteorología (INSMET) en el 2020, atendiendo las recomendaciones de la OMM en la Guía de Prácticas Meteorológicas (OMM, 2011).

Se calculó el Índice Potencial Productivo (IPP) según el modelo de balance hídrico correspondiente a la metodología aplicada por Herrera (2001). Este índice determina las afectaciones que puede tener una planta en su crecimiento y desarrollo por los déficits en la satisfacción de sus necesidades hídricas en su período de crecimiento y para su cálculo se utilizó. Depende de la disponibilidad de agua en el suelo que a su vez está en función del tipo de suelo (DAS), la evapotranspiración del cultivo (ETc), la profundidad del sistema radical (PR), el coeficiente del cultivo (Kc) y la disponibilidad de agua para el cultivo (DAC).

Una vez calculado el IPP se fijaron valores límites de cada parámetro por separado, manteniendo constante la variación estándar de la profundidad del sistema radical y el coeficiente del cultivo, según la fase fenológica en la que se encuentre para comprobar su grado de efectividad. Los valores de DAS, PR, Kc y DAC para calcular el IPP se tomaron de las guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Allen *et al.*, 1998). La ETc se calculó mediante el método de Penman - Monteith.

La investigación se ejecutó en tres fases: elección del modelo, desarrollo matemático del mismo y su correspondiente validación.

Elección del modelo

Para la elección del modelo se tuvo en cuenta que el mismo se establece con la finalidad de reproducir el comportamiento del cultivo ante los elementos climáticos estudiados y que presente facilidad matemática y adaptativa para recrear la relación funcional entre las variables independientes y el predictando (rendimiento). Se utilizaron como variables predictoras la temperatura media, precipitaciones, edad de la plantación, Índice

Potencial Productivo y rendimiento de las cepas del cultivo.

El modelo de regresión lineal múltiple es un modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre la variable de interés (Yt), las variables explicativas o regresores (Xn) y un término aleatorio (ε). Este modelo suele ser expresado como:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_N X_N + \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

Yt: variable dependiente, explicada o regresando

X1, X2, ..., Xn: variables explicativas, independientes o regresores

β0, β1, β2, ..., βn: parámetros o coeficientes ponderados

Desarrollo matemático del modelo

La estructura del modelo se implementó utilizando el tabulador matemático del software Microsoft Excel con una administración de memoria de tipado dinámico y un conteo de referencia, razón por la cual si las variables explicativas tienden a variar dentro de la muestra el predictando se ajusta a la relación funcional establecida. Se modeló el rendimiento comparando el valor real obtenido para cada UEB y el valor estimado, de forma independiente y total, mediante un análisis de regresión lineal múltiple.

El coeficiente ponderado (βn) que precede los rendimientos de cada cosecha expuestos en el modelo se calcularon con el software STATISTICA versión 8.0.5 y como no se tenía un registro representativo de las variables predictoras en el área de estudio se utilizó el módulo matemático SciPy (Python) para interpolar el resultado aplicando el método “Vecino más cercano”.

Validación del modelo

La validación del pronóstico de rendimiento agrícola total obtenido del período 1980 - 2010, se ratificó mediante la comparación de los rendimientos reales de zafra de 2011 - 2015, con sus propias estimaciones.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas representativas del área de estudio.

Código	Provincia	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)
78335	Cienfuegos	Aguada de Pasajeros	22° 22' 22"	80° 49' 35"	28.34
78337	Sancti Spíritus	Trinidad	21° 46' 57"	79° 59' 20"	25.20
78341	Sancti Spíritus	Jibaro	21° 44' 20"	79° 13' 57"	30.17
78342	Sancti Spíritus	Topes de Collantes	21° 55' 10"	80° 00' 51"	767.33
78344	Cienfuegos	Cienfuegos	22° 11' 25"	80 26' 39"	42.00
78346	Ciego de Ávila	Venezuela	21° 45' 37"	78° 47' 51"	26.00
78347	Ciego de Ávila	Camilo Cienfuegos	22° 09' 49"	78° 46' 13"	16.00

Fuente: INSMET (2020)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pronóstico de rendimiento agrícola mediante la evaluación de un modelo de regresión lineal múltiple representa una alternativa que combina elementos deterministas y estocásticos, a partir de los rendimientos de las primaveras quedadas, las socas, los retoños y los fríos, siguiendo un orden de magnitud y variabilidad que involucra además la temperatura media, precipitaciones e IPP. Los valores de los coeficientes β_n asignan a cada variable un peso en el rendimiento agrícola total (Tabla 3). Tanto este tipo de modelo como el uso de estas variables predictoras han sido recomendados por varios autores (Gálvez *et al.*, 2012; González *et al.*, 2016; Sieiro - Miranda *et al.*, 2018).

Quedando definido en la Ec.1 las variables regresoras a utilizar en el modelo:

$$RT = \beta_0 + \beta_1 * (PQ) + \beta_2 * (S) + \beta_3 * (R) + \beta_4 * (F) + \beta_5 * (A) + \beta_6 * (E) + \beta_7 * (IPP) + \beta_8 * (Pc) + \beta_9 * (Tm) \quad (1)$$

Donde:

Rendimiento total agrícola (RT) y totales por cosecha: PQ (primaveras quedadas), S (socas), R (retoños), F (fríos). En el modelo se incluyó también el área total cañera (A), la edad de la plantación (E) y el índice potencial productivo (IPP).

El modelo parte de la variabilidad climática del medio y la composición de cepas que participan en

el proceso de producción de caña en cada Unidad Empresarial de Base.

Al determinar las características de ajuste del modelo para cada UEB, el mayor grado de efectividad ($R^2 = 0.98044$) corresponde a la UEB Ecuador (Ciego de Ávila) (Tabla 4), por lo que hay menor probabilidad de error al estimar el rendimiento agrícola mediante este modelo para las condiciones de las áreas cañeras pertenecientes a la mencionada UEB.

En la relación general encontrada entre el rendimiento agrícola real y el rendimiento estimado (Figura 1, 2 y 3) a partir del modelo para las provincias Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, se observó que en ninguno de los casos presenta diferencias significativas entre el valor estimado y el real. La variabilidad climática asociada a la caña de azúcar en el período generó pequeñas perturbaciones en el flujo de estimación y desciende de forma periódica a causa del incremento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones.

La relación directa que existe entre las variables regresoras y el predictando dictaminan el resultado final del pronóstico agrometeorológico que se desea ejecutar. Aunque se presentan comportamientos diferenciados entre cada provincia, el rendimiento agrícola estimado no excede de manera errática el valor real registrado coincidiendo los mejores ajustes con mayores R^2 . Todas las provincias obtuvieron relaciones superiores al 95 % siendo el mejor ajuste obtenido por la provincia Ciego de Ávila y el más bajo por la provincia Sancti Spíritus (Tabla 5).

Tabla 3. Valores registrados de β_n que ajustan el modelo de regresión lineal múltiple.

Coefficientes	Variable predictorora	Cienfuegos	Sancti Spíritus	Ciego de Ávila
β_0	-	56.09913	-6.76433	2.739382
β_1	PQ	0.21649	0.09460	0.111678
β_2	S	0.06539	-0.01834	0.058954
β_3	R	0.82145	0.93471	0.777160
β_4	F	-0.05220	0.09324	0.055523
β_5	A	-0.00001	-0.00001	0.000008
β_6	E	0.00382	0.20405	0.550423
β_7	IPP	0.00002	-0.05047	-0.110329
β_8	Pc	-0.00124	-0.00070	0.000269
β_9	Tm	-2.23087	0.25418	-0.068266

Tabla 4. Resumen de las características de ajuste del modelo por Unidad Empresarial de Base (UEB).

Provincia	UEB	R	R^2	ET	DE
Cienfuegos	Ciudad Caracas	0.94714	0.89708	4.58390	11.20111
	Antonio Sánchez	0.98843	0.97699	2.03430	10.73156
	14 de Julio	0.95854	0.91881	4.71780	13.05356
	Elpidio Gómez	0.96004	0.92167	4.27750	12.05871
Sancti Spíritus	5 de Septiembre	0.97116	0.94315	4.50860	15.08526
	Melanio Hernández	0.98845	0.97703	2.10790	11.13003
	Uruguay	0.98808	0.97630	1.60290	8.33133
Ciego de Ávila	Enrique Varona	0.91954	0.84555	4.98600	9.80945
	Ecuador	0.99017	0.98044	2.26890	12.99235
	Ciro Redondo	0.93588	0.87587	4.95540	10.96408
	Iro de Enero	0.98721	0.97459	2.84430	14.27030

R, coeficiente de regresión múltiple; R^2 , coeficiente de determinación; ET, error de estimación; DE, desviación estándar

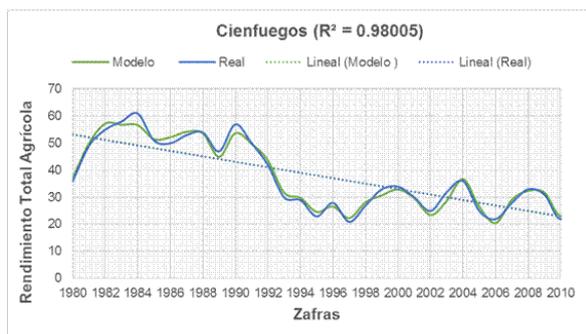


Figura 1. Relación general entre el rendimiento estimado y el rendimiento real a partir del modelo de regresión lineal múltiple en la provincia de Cienfuegos (Modelo 1).

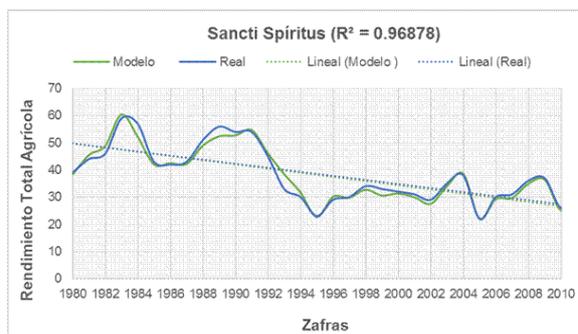


Figura 2. Relación general entre el rendimiento estimado y el rendimiento real a partir del modelo de regresión lineal múltiple en la provincia de Sancti Spiritus (Modelo 2).

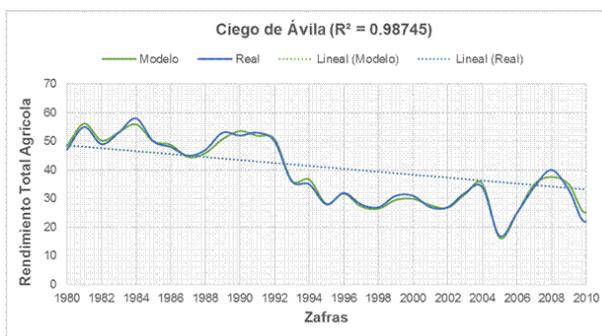


Figura 3. Relación general entre el rendimiento estimado y el rendimiento real a partir del modelo de regresión lineal múltiple en la provincia de Ciego de Ávila (Modelo 3).

Tabla 5. Grado de efectividad del modelo, período 2011 - 2015.

Provincia	R	R ²	ET	DE
Cienfuegos	0.98919	0.97850	2.02240	5.98711
Sancti Spiritus	0.97947	0.95937	2.28280	4.37049
Ciego de Ávila	0.99346	0.98697	1.44830	4.98539

R, coeficiente de regresión múltiple; R², coeficiente de determinación; ET, error de estimación; DE, desviación estándar

Estos resultados muestran coeficientes R y R² a los planteados por [González et al. \(2016\)](#) para todo el país y por [Sieiro - Miranda et al. \(2018\)](#) para la UEB Jesús Rabí. Resultados similares fueron informados por [Ramírez et al. \(2019\)](#) para el municipio Aguada de Pasajeros, provincia Cienfuegos.

El rendimiento estimado de esta forma, puede ser considerado como rendimiento máximo que depende en gran medida de las condiciones climáticas del año y las características del proceso productivo, por tanto, a la media de esas condiciones climáticas le corresponde también una media de rendimiento máximo o rendimiento potencial del área de estudio.

CONCLUSIONES

Se concluye que:

- El modelo de regresión lineal múltiple permite realizar pronósticos de rendimiento agrícola con precisión y ajuste, en dependencia de los escenarios comerciales concretos de la producción cañera del país.

- La provincia Ciego de Ávila revela, de las tres en estudio, el mayor grado de efectividad en la estimación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

REFERENCIAS

Gálvez, G. 2008. "Modelación del crecimiento de las plantas". En: Seminario internacional de modelación de cultivos. ISSN 0258-5936.

Alessandro, J. W.; Paloma, M. S.; Carolina, G. L.; Paul, H. M.; Glauca, M. S. 2010. 'Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content'. *Plant Biotechnology Journal*, 8:263-276, ISSN: 1467-7644, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x>.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome. ISBN 92-5-104219-5.

Arias, E.S. 2008. *Diagnóstico de rendimientos de caña de azúcar utilizando factores climatológicos*

- múltiples. Tesis para optar por el título de Ingeniero en Administración de Agronegocios. Escuela Agrícola Panamericana de Zamorano, Honduras. 2008. 28 p. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/da398d02-1b5d-4786-b364-e7b5a5784b9f/content>, [Consulted: abril 16, 2024].
- Bravo Mosqueda E.; G. Medina García; J. A. Ruíz Corral, A. D. Báez González y V. Mariles Flores. (2012). Cambio Climático y su Impacto Potencial en el Sistema Producto Caña de Azúcar en el Área de Abasto del Ingenio Adolfo López Mateos. INIFAP. Publicación Especial Núm. 11. Sto. Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca, México. 43 p.
- Casanovas, E.; Suárez del Villar, A.; Álvarez, A.; Avilleira, I. 2022. “Valoración de la seguridad alimentaria cubana a partir de la superficie agrícola explotada y los rendimientos agrícolas”. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(5):304-314, ISSN: 2218-3620.
- Díaz, M.; Triana, Y.; Brizuela, P.; Rodríguez, R.J.; Giráldez, R.; Blanco, J. 2021. “Soberanía alimentaria y educación nutricional desde la ciencia de la sostenibilidad: observatorio SAEN+C Pinar”. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), ISSN: 2218-3620.
- Fernández L.; Rangel L.; Guerra C.W.; Del Pozo J. 2019. “Modelación Estadístico-Matemática en Procesos Agrarios. Una aplicación en la Ingeniería Agrícola”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(2), ISSN: 2071-0054.
- Gálvez, G.; Ferrer, M.; Lamela, C. 2012. El rendimiento en la caña de azúcar. Algunas relaciones con la biología y el manejo agronómico del cultivo. *Revista Cuba & Caña*, ISSN 1028-6527.
- Gálvez, G.; Sigarroa, A.; López, T.; Fernández, J. 2010. Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Revista Cultivos Tropicales*, 31: 60-65, ISSN: 1819-4087.
- González, A.N.; Ferrer, M.; Vera, A.; Gálvez, G.; Acosta-Pérez, P.P.; Sieiro-Miranda, G.L.; González, M.; Betancourt, G. 2016. Modelos para estimar el rendimiento agrícola en Cuba a partir de la composición de cepas y la lluvia de mayo a octubre. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50 (1): 59-66, ISSN: 2410-8529.
- Ha, S.; Kim, Y.T.; Im, E.S.; Hur, J.; Jo, S.; Kim, Y.S.; Shim, K.M. 2023. “Impacts of meteorological variables and machine learning algorithms on rice yield prediction in Korea”. *Int J Biometeorol* 67: 1825-1838, ISSN 1432-1254, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02544-x>.
- Hernández, I.; Nápoles, M.C.; Maqueira, L.A.; Battistoni, F. 2023. “Contribución al conocimiento de la interacción Rhizobium-arroz (*Oryza sativa* L.). Oportunidades para la biofertilización del cultivo”. *An Acad Cienc Cuba*. ISSN 2304-0106. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1329>.
- Hoogenboom, G. 2000. “Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103:137-157, ISSN: 0168-1923.
- INICA. 2020. Ubicación de las Unidades Empresariales de Base. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba.
- Jha, P.K.; Athanasiadis, O.; Gualdi, S.; Trabucco, A.; Mereu, V.; Shelia, V.; Hoogenboom, G. 2019. “Using daily data from seasonal forecast in dynamic crop models for yield prediction: A case study for rice in Nepal’s Terai”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265:349-358, ISSN: 0168-1923.
- Machado, I.; González, M.; Viñas, Y.; Mesa, J. M. 2017. Propuesta metodológica para el control del manejo de las plantaciones de caña. En: Congreso DIVERSIFICACIÓN [CD-ROM], ISBN 978-959-16-3592-1. [Consulted: abril 16, 2024].
- Muñiz, M. 2022. *El cultivo de maíz (Zea mays L.). Plagas agrícolas*. Mancha de asfalto. Monografía en opción al Título Académico de Master en Ciencias Agrícolas. Universidad de Matanzas. 68 p.
- ONEI. 2022. Anuario Estadístico de Cuba 2022. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu/anuario-estadistico-de-cuba-2022>.
- Ramírez, M.; Rodríguez, D.; Ramírez, F.; Barcia, S. 2019. “Variables meteorológicas y desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros”. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(sp):354-366, ISSN: 0864-151X.
- Sálmon, Y.; Rodríguez, R.; Rosales, A.; Martínez, D. 2017. “Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento industrial durante dos cosechas en el cultivo de la caña de azúcar”. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(3):269-275, ISSN: 0864-151X.
- Sieiro – Miranda, G. L. 2015. *Influencia de variables meteorológicas en el rendimiento de la caña de azúcar*. Tesis en opción al título de Licenciatura en Meteorología. Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Universidad de La Habana, Cuba. 67 p.
- Sieiro – Miranda, G. L.; Acosta, P.P.; Soler, L.; Guillen, S. 2018. Modelación del rendimiento agrícola de caña de azúcar en función del efecto de las precipitaciones. En: Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas INCA 2018, Varadero, Matanzas. [Consulted: abril 16, 2024]
- Soto, O.; Gálvez, G.; Sigarroa, A. 2004. Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. *Revista ATAC*, 63(2): 50-55, ISSN: 0138-7553.
- Torres, C.C.; González, M.M.; Ramírez, J.F.; Marín, L.G. 2022. “Articulación del plan de soberanía alimentaria con las estrategias de desarrollo”. *Coodes* 10(1), ISSN 2310-340X.

Regla Z. Enrique Estévez. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CUJAE Km. 1½, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléfonos: (537) 260 2571, (537) 262 4436-38. E-mail: regla.enrique@inica.azcuba.cu.
Grethel L. Sieiro Miranda. Centro Meteorológico Provincial Sancti Spíritus. Comandante Fajardo final s/n, Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba. E-mail: gsiromiranda@gmail.com.