

Agroindustria azucarera cubana: evaluación de los resultados del Programa Nacional durante el año 2025

Cuban Sugar Agroindustry: Evaluation of the Results of the National Program During the Year 2025

✉ Mérida Rodríguez Regal^{1*} y ✉ Raúl Sabadi Díaz²

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

²Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. E-mail: raul.sabadi@icidca.azcuba.cu

*Autor para correspondencia: Mérida Rodríguez Regal. E-mail: meridar.regal@gmail.com

RESUMEN: El Programa Nacional "Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar" alcanzó en 2025 un índice de cumplimiento del 95,1%, con 58 proyectos activos que integran a 11 instituciones académicas y de investigación. El presente trabajo analiza los principales resultados obtenidos durante dicho período, organizados en torno a cuatro dimensiones de impacto: generación de conocimiento científico, desarrollo tecnológico e innovación, transferencia y apropiación social, y formación de capital humano. Se examina, asimismo, el nivel de ejecución presupuestal y los factores contextuales que condicionaron el desempeño del programa. Los resultados se estructuraron en cuatro ejes estratégicos: (i) producción científica, con más de 30 publicaciones en revistas internacionales indexadas y más de 80 ponencias en eventos de reconocido impacto; (ii) desarrollo tecnológico e innovación, con un portafolio que comprende bioproductos (LEBAME, SURFULT, CODACER, CODAFUL, CBQ AgroG), más de 15 aplicaciones informáticas y sistemas de monitoreo georreferenciado; (iii) apropiación social y transferencia efectiva de resultados al sector productivo; y (iv) formación de capital humano avanzado, con la defensa de 20 tesis de diversas categorías y la capacitación de cientos de profesionales. El programa ejecutó el 93,4% del presupuesto contratado, equivalente a 95,99 millones de CUP, consolidando así un ecosistema multidisciplinario orientado a la modernización, sostenibilidad y resiliencia de la agroindustria azucarera cubana.

Palabras clave: ciencia, tecnología e innovación, transferencia tecnológica, capital humano, desarrollo sostenible.

ABSTRACT: The National Program "Development of the Sugarcane Agroindustry" reached a compliance rate of 95.1% in 2025, with 58 active projects involving 11 academic and research institutions. This paper analyzes the main results obtained during this period, organized around four impact dimensions: generation of scientific knowledge, technological development and innovation, transfer and social appropriation, and human capital formation. Additionally, the level of budget execution and the contextual factors that influenced the program's performance are examined. The results are structured around four strategic axes: (i) scientific production, with more than 30 publications in indexed international journals and over 80 presentations at high-impact events; (ii) technological development and innovation, with a portfolio that includes bioproducts (LEBAME, SURFULT, CODACER, CODAFUL, CBQ AgroG), more than 15 software applications, and georeferenced monitoring systems; (iii) social appropriation and effective transfer of results to the productive sector; and (iv) training of advanced human capital, with the defense of 20 theses of various categories and the training of hundreds of professionals. The program executed 93.4% of the contracted budget, equivalent to 95.99 million CUP, thus consolidating a multidisciplinary ecosystem aimed at the modernization, sustainability, and resilience of the Cuban sugar agroindustry.

Keywords: science, technology, and innovation, technology transfer, human capital, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria de la caña de azúcar constituye un sector históricamente estratégico para la economía cubana, con implicaciones directas en la seguridad alimentaria, la generación de divisas, el empleo rural y el suministro energético a partir de biomasa (Caballero & Michelena, 2023). Por su importancia se vincula al cumplimiento de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aprobados en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y abrazados de forma unánime por los actores políticos,

económicos, científicos y sociales de buena parte del mundo (PNUD, 2025).

En la actualidad, el sector enfrenta desafíos estructurales complejos: obsolescencia tecnológica, reducción de la superficie cultivada, variabilidad climática creciente, escasez de insumos y un acelerado éxodo de capital humano calificado. En este contexto, la investigación científica y la innovación tecnológica emergen como palancas esenciales para revertir la tendencia decreciente del sector y construir una agroindustria más resiliente, diversificada y competitiva (PCC, 2021).

Recibido: 20/01/2026

Aceptado: 12/05/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición, Supervisión: Mérida Rodríguez Regal. Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición, Supervisión: Raúl Sabadi Díaz.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para 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/>



En consonancia el Programa Nacional PN.002.000.21.05.23 "Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar" fue diseñado para dar respuesta sistémica a estos desafíos, articulando esfuerzos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en ocho objetivos estratégicos que abarcan desde el mejoramiento genético de variedades y la biotecnología aplicada, hasta la transformación digital del proceso agroindustrial, la bioeconomía circular y el desarrollo de un nuevo modelo de gestión de la ciencia y la innovación (ICIDCA, 2023). La entidad gestora, el ICIDCA, coordina una red de 11 instituciones ejecutoras que incluye centros de investigación de AZCUBA y siete universidades cubanas, lo que garantiza una cobertura multidisciplinaria e interinstitucional (ICIDCA, 2025).

El presente artículo sintetiza y analiza los principales resultados del programa en 2025, organizándolos en torno a cuatro dimensiones de impacto: generación de conocimiento científico, desarrollo tecnológico e innovación, transferencia y apropiación social, y formación de capital humano. Se discute asimismo el nivel de cumplimiento presupuestal y los principales factores contextuales que condicionaron la ejecución. El objetivo es proveer un relato académico riguroso que facilite la difusión de estos logros alcanzados y contribuya al debate científico sobre estrategias de innovación agroindustrial en contextos de recursos limitados.

DESARROLLO DEL TEMA

El presente estudio constituye una investigación de carácter documental-descriptivo, basada en el análisis sistemático de fuentes primarias institucionales. El corpus de información fue integrado por el Informe de Resultados del Programa Nacional PN.002.000.21.05.23 correspondiente al periodo 2025 (ICIDCA, 2025), los informes técnicos de avance de los 58 proyectos activos y los registros del Sistema de Gestión y Administración de Proyectos de I+D.

La selección y priorización de resultados se realizó mediante un marco analítico estructurado en cuatro dimensiones de impacto, generación de conocimiento científico, desarrollo tecnológico e innovación, transferencia y apropiación social, y formación de capital humano, definidas a partir de los objetivos estratégicos del programa y de los indicadores de evaluación establecidos en su convocatoria (ICIDCA, 2023). Los datos cuantitativos relativos a publicaciones, ponencias, proyectos y ejecución presupuestal fueron triangulados entre las distintas fuentes documentales para garantizar su consistencia y validez.

El análisis de la información siguió un enfoque mixto: los indicadores de producción científica, innovación tecnológica y formación de capital humano fueron examinados mediante estadística descriptiva, mientras que la valoración del impacto contextual, la transferencia tecnológica y la coherencia entre objetivos y resultados se abordó mediante análisis cualitativo de contenido.

La síntesis final se organizó conforme a los principios de reporte de resultados de programas de investigación aplicada, priorizando la trazabilidad de los logros con respecto a las metas comprometidas y la identificación de las condiciones estructurales que condicionaron la ejecución. Este enfoque garantiza la replicabilidad del proceso de análisis y permite comparar los resultados obtenidos con los de programas similares en contextos de agroindustria cañera a escala internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Generación de conocimiento científico

El programa generó un volumen significativo de nuevo conocimiento en 2025. Se produjeron más de 30 publicaciones en revistas científicas de alto impacto internacional, entre las que figuran *SugarTech*, *Oxidation of Metals*, *Carbon Resources Conversion* y *Revista Centro Azúcar* (SciELO), así como en revistas nacionales de referencia como *Cuba & Caña*, *Infociencia* e *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*.

Complementariamente, se elaboraron obras de referencia de largo alcance: un libro sobre gestión de tecnologías para el desarrollo de biorrefinerías azucareras, un diccionario enciclopédico bilingüe español-inglés de la industria azucarera y una obra dedicada a la historia científica del ICINAZ (1973-2011).

Las líneas temáticas de mayor producción científica incluyeron: modelos predictivos de provisión azucarera mediante series ARIMA e inteligencia artificial (redes LSTM, YOLOv8, EfficientNet-B2); caracterización fisico-química de aceites vegetales para biolubricantes y tensioactivos (Hernández et al., 2024; Díaz et al., 2022); protocolos moleculares para diagnóstico de patógenos (*Xanthomonas albilineans*, SCMMV, SCStV); análisis de corrosión en bioeléctricas que combustionan mezclas de residuos agrícolas cañeros y bagazo; y estudios sobre huella de carbono en el agroecosistema cañero.

Este conocimiento fue socializado en más de 80 ponencias y trabajos en eventos nacionales e internacionales de primera línea, como el XXXII Congreso de la ISSCT, el Simposio Internacional de Sanidad Vegetal SAVE 2025, el Congreso INCA y conferencias en Alemania, Rumania y México.

Desarrollo tecnológico e innovaciones

El portafolio de innovaciones tecnológicas del programa alcanzó niveles de madurez tecnológica TRL 6-7, con productos tangibles en cinco categorías principales: bioproductos, herramientas digitales y agricultura de precisión, ingeniería y mecanización, procesos industriales, economía circular y energía.

Bioproductos

El consorcio microbiano LEBAME (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Saccharomyces cerevisiae*) se consolidó como el resultado más generalizado del programa. En 2025 se consolidó el funcionamiento de

las 26 plantas previamente montadas y se extendió la producción a otras cinco, alcanzando un total de 31 instalaciones adscritas a centrales azucareros; este logro fue reconocido con el Premio de Innovación del Grupo AZCUBA 2025.

Adicionalmente, se obtuvo el tensioactivo SURFULT (jabón a partir de aceite de cera cruda de caña, con solicitud de patente presentada), los coadyuvantes agrícolas CODACER (a partir de aceite de cera) y CODAFUL (a partir de aceite fusel, solicitud de patente en elaboración), y el bioestimulante CBQ AgroG en fase avanzada de validación de campo.

En el ámbito de la biotecnología avanzada, se desarrolló el protocolo de transformación genética utilizando un gen cubano (Defensina) y como marcador de selección el herbicida Finale®, en colaboración con el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). A partir de dicho protocolo se obtuvieron líneas transgénicas de la variedad Ja60-5 para evaluar su resistencia ante los patógenos causantes de las enfermedades carbón y roya, respaldadas por tres licencias de bioseguridad.

Asimismo, resultaron significativos los resultados obtenidos mediante el empleo de nanopartículas de plata de producción nacional (CEA-CITMA) para la desinfección y el control de la contaminación microbiana de los medios de cultivo en la biofábrica (Hernández et al., 2022; Gómez et al., 2025).

Herramientas digitales y agricultura de precisión

Se desarrollaron o mejoraron más de 15 aplicaciones y plataformas informáticas, entre las que destacan SASEL 2025 (gestión del mejoramiento genético, con versión móvil APK), SRD-CA y Si_Riego (gestión eficiente del riego y drenaje), SERCIM (control de malezas), VIAR (analítica de resiliencia), LabraS (recomendaciones de labranza), CalFerSol (fertilización soluble) e InfoPOP 1.0 (monitoreo de suelos). Estas herramientas se articulan con infraestructuras de bases de datos geoespaciales para microelementos, salinidad, sequía y rendimiento en suelos cañeros, y con el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 para diagnóstico de salinidad mediante índices espectrales (NSDI, IS, NDVI).

Ingeniería y mecanización

Se diseñaron modificaciones mecánicas para las fertilizadoras FMCM-1 y TATU con el propósito de permitir la aplicación mecanizada eficiente de los nuevos abonos órgano-minerales AGROMENAS-G y NEREA. Se desarrollaron prototipos de celdas de carga para sistemas de pesaje a bordo de carretas cañeras, con solicitud de patente presentada, y se diseñaron tres modelos de aforadores de garganta recortada para hidrometría de explotación. En el ámbito energético, se aplicó la tecnología de tratamiento magnético del agua en el central Julio A. Mella, demostrando condiciones operativas óptimas a 450 mT de intensidad y un potencial relevante de ahorro energético.

Procesos industriales y economía circular

Se desarrollaron propuestas de cinco escenarios de producción integrada para mejorar la eficiencia de las plantas de derivados de la EAA Antonio Sánchez, con procedimientos para la producción de acetato de isoamilo (a partir de aceite fusel), acetato de etilo (a partir de cabezas de la destilación alcohólica) y ron a partir de meladura. La conversión de subproductos de la caña en insumos de alto valor agregado responde al enfoque de biorrefinería que orienta la modernización del sector cañero a escala global (Ramos et al., 2014; Sabadí, 2023). Se estableció asimismo la RED AGROSOLAR para el diagnóstico de soluciones fotovoltaicas en cooperativas cañeras, formándose 32 profesionales en energía fotovoltaica.

En el marco de la economía circular, se propuso una estructura diversificada de producciones de alimento animal en la industria azucarera como biorrefinería, con tecnologías continuas de producción de alimento animal - miel urea bagacillo y miel amoniaca - más eficientes que las existentes, acompañadas de la presentación de dos patentes e instructivos tecnológicos para unidades ganaderas. Este modelo de gestión local busca optimizar el encadenamiento entre las producciones de alimento animal y ganadero, contribuyendo a la soberanía alimentaria local y nacional.

Energía

Se propuso un modelo de parque de bioenergía para la industria azucarera cubana, integrado por el central azucarero, la destilería y la planta de biogás. Se realizaron diagnósticos energéticos en tres centrales azucareros, aplicando un procedimiento desarrollado en el marco de los proyectos del programa. Se estudió el comportamiento de la combustión de mezclas de residuos agrícolas cañeros (RAC) y bagazo con y sin pretratamiento, así como su efecto corrosivo, y se generó un diseño conceptual de una instalación experimental versátil para estudios de combustión, deposición, ensuciamiento, erosión y corrosión de biomásas. Complementariamente, se emitió un conjunto de recomendaciones técnicas para mitigar la corrosión en bioeléctricas que combuscionen mezclas RAC-Bagazo (Rivas et al., 2025).

Apropiación social y transferencia tecnológica

La transferencia efectiva de resultados constituyó un pilar explícito del programa. Se establecieron espacios de colaboración directa con el INICA, la Empresa Geominera del Centro y las plantas de ron de AZCUBA mediante talleres, asesorías técnicas y pruebas industriales conjuntas. Los proyectos asesoraron directamente a instancias políticas y de gobierno provincial (Buró Provincial del Partido, CITMA de Villa Clara), y colaboraron con empresas específicas como la EAA Fernando de Dios y el central Julio A. Mella para diagnosticar estructuras productivas y aplicar nuevas tecnologías.

La comunicación del conocimiento se materializó en más de 283 boletines temáticos digitales de la plataforma Vigintel (distribuidos a 8 252 usuarios), 21 informes técnicos especializados, 14 plegables divulgativos sobre riego, drenaje y prácticas agroecológicas, y siete videos tutoriales sobre software y tecnologías desarrolladas. Se actualizaron contenidos curriculares universitarios en las carreras de Ingeniería Agrícola, Química e Industrial, y se inició la Maestría en Tecnología de Producción de Azúcar y Derivados en colaboración con la CUJAE, con participación activa de técnicos del sector productivo.

Un resultado de especial relevancia en términos de apropiación social fue la generalización del bioproducto LEBAME en 31 plantas productoras asociadas a los centrales azucareros. Este avance representa la culminación de un proceso sostenido de escalado y transferencia tecnológica, que convierte un resultado de laboratorio en una solución productiva de alcance nacional.

Formación de capital humano

El programa tuvo un impacto sustantivo en la formación de investigadores y técnicos especializados. Contribuyó directamente al desarrollo de más de 20 tesis, nueve de grado, tres de maestría y cuatro de doctorado, dos de ellas aún en proceso, en temáticas como balance carbono-captura en caña de azúcar, agricultura de conservación, biotecnología vegetal, diseño de hidrolizadores y modelación de biorrefinerías. Se dirigieron además decenas de trabajos de diploma en las carreras de Ingeniería Agrícola, Química e Industrial.

La capacitación especializada alcanzó a cientos de profesionales: 32 en energía fotovoltaica, más de 50 en técnicas avanzadas de diagnóstico molecular, 39 en normas de gestión de calidad y producción de ron (en el marco de los proyectos de las roneras de AZCUBA), y grupos adicionales en análisis de patentes, propiedad intelectual y uso de software especializado (SRD-CA, SASEL, QGIS). La participación de jóvenes investigadores como coautores en artículos y ponencias científicas indica la construcción de una masa crítica de relevo que fortalecerá las capacidades del sector a mediano y largo plazo.

Discusión

Durante 2025 sobresalieron, entre el conjunto de resultados del programa, tres contribuciones de especial impacto sectorial. En primer lugar, la extensión del bioestimulante LEBAME® (proyecto PN 3602 LH 002-060, ICIDCA): este bioproducto aporta nutrientes esenciales, secreta vitaminas, fitohormonas y antioxidantes, mejorando la productividad de cultivos como caña de azúcar, tomate, arroz y plátano con incrementos de rendimiento de entre el 5 y el 25%. Además, incrementa la tolerancia al estrés climático (sequías e inundaciones), sustituye parcialmente insumos químicos y carece de toxicidad. Su empleo como probiótico en cerdos y aves ha mostrado reducciones en la mortalidad neonatal

e incrementos del peso corporal, contribuyendo a la sostenibilidad agroindustrial y a la soberanía alimentaria.

En segundo lugar, el procedimiento de diagnóstico energético para centrales azucareros (proyecto PN 3602LH002-059, ICIDCA) permite identificar, mediante encuestas, balances de vapor, bagazo y electricidad y una aplicación para balances de materiales, potenciales de ahorro energético y estrategias operativas para incrementar la entrega de electricidad al sistema electroenergético nacional. El procedimiento ha sido aplicado en los centrales Antonio Guiteras, Siboney y Fernando de Dios. En tercer lugar, el desarrollo de una analítica predictiva para el diagnóstico espacio-temporal de procesos agrícolas (proyecto PN 3602 LH 002-028, INICA), que mediante modelos ARIMA, geoestadística e inteligencia artificial optimiza el uso de fertilizantes y reduce pérdidas industriales, alineándose con la agricultura 4.0 y complementando el Servicio de Fertilización y Enmiendas (SERFE) y la estrategia de teledetección del GE AZCUBA.

En términos de ejecución global, el programa ejecutó el 93,37% del presupuesto contratado, con una inejecución de apenas el 6,63%. El hecho de que, en un contexto marcado por déficits de portadores energéticos, limitaciones en la movilidad territorial, escasez de insumos y equipos, y un éxodo continuo de capital humano calificado hacia sectores de mayor competitividad salarial, el 95,08% de los proyectos haya cumplido sus objetivos, evidencia un sólido diseño programático y el compromiso institucional de las entidades participantes, así como de los equipos de investigación responsables de su ejecución.

Desde una perspectiva científica, el programa se distingue por su enfoque sistémico: integra la investigación básica (genómica, bioquímica, edafología) con el desarrollo tecnológico (software, bioproductos, maquinaria) y la gestión del conocimiento (vigilancia tecnológica, observatorio científico), configurando lo que la literatura especializada denomina un sistema sectorial de innovación. La articulación entre universidades, centros de investigación especializados y empresas del Grupo Empresarial AZCUBA constituye un modelo organizacional que, con una vinculación más proactiva entre sus componentes, podría aproximar al sector a las prácticas internacionales de I+D+i agroindustrial. El aprovechamiento integral de los subproductos de la caña, desde el bagazo hasta el aceite fusel y la cera de caña, responde, asimismo, a los principios de la bioeconomía circular que orientan la transformación de la agroindustria cañera en otras latitudes (Michelena & Sabadi, 2023).

En términos de novedad científica y tecnológica, destacan al menos tres contribuciones de relevancia para la comunidad internacional: (i) el desarrollo de modelos de aprendizaje profundo (redes LSTM y EfficientNet-B2) entrenados para la predicción de provisión azucarera y el reconocimiento automático de enfermedades foliares, con aplicaciones de inteligencia artificial aún incipientes en el sector cañero global (Saini *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024; Van Klompenburg *et al.*, 2020);

(ii) la caracterización completa del aceite de cera cruda de caña como base para biolubricantes industriales, en el contexto de la bioeconomía circular (Hernández Ramos *et al.*, 2024); y (iii) la metodología de evaluación de corrosión acelerada a alta temperatura en calderas que combustionan mezclas de residuos agrícolas cañeros y bagazo, que responde a un problema crítico para la viabilidad de las bioeléctricas de biomasa cañera (Lariot *et al.*, 2022; Feijóo, 2025).

El programa reconoce, con rigor autocrítico, sus áreas de rezago: la transferencia tecnológica hacia nuevas tecnologías de producción de caña y azúcar sigue siendo insuficiente, y temáticas emergentes de alta relevancia global, como la electrificación del calor industrial, los nuevos marcos de inversión extranjera y la protección de los intangibles generados, están prácticamente ausentes de la cartera actual de proyectos. Esta brecha, explicitada en las recomendaciones del propio programa, señala una dirección estratégica clara para las próximas convocatorias.

CONCLUSIONES

El Programa Nacional Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar demostró durante 2025 que, aun en condiciones operativas restrictivas, es posible construir y sostener un ecosistema de ciencia, tecnología e innovación articulado y orientado al impacto sectorial. Sus principales conclusiones son:

- La generación de conocimiento científico fue sólida y diversa, con publicaciones internacionales indexadas, obras de referencia y más de 80 participaciones en eventos científicos de alto nivel, lo que posiciona a las instituciones cubanas en diálogos científicos globales sobre agroindustria azucarera.
- El portafolio de innovaciones tecnológicas, particularmente LEBAME, SURFULT, CODACER, CODAFUL y más de 15 plataformas digitales, demuestra la capacidad del programa para llevar resultados desde el laboratorio hasta la aplicación productiva, con niveles de madurez tecnológica TRL 6-7.
- La transferencia tecnológica y la apropiación social del conocimiento requieren mayor sistematización y proactividad, especialmente en lo que concierne a nuevas tecnologías de producción de azúcar, energía a partir de biomasa y electrificación industrial.
- El impacto en la formación de capital humano, con más de 20 tesis de diversas categorías y la capacitación especializada de cientos de profesionales, representa una inversión a largo plazo en la sostenibilidad científica del sector.
- Los desafíos contextuales (déficit energético, éxodo profesional, escasez de insumos) constituyen limitantes estructurales que deben ser abordados en el diseño de futuras convocatorias, incorporando mayor flexibilidad operativa y mecanismos de retención de talentos.

- Las próximas convocatorias del programa deberían incorporar explícitamente temáticas como la electrificación del calor industrial, combustibles alternativos al fuel oil y al diésel, los marcos regulatorios para la inversión extranjera, y la transferencia de tecnologías de última generación para la producción de caña y azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero, N. A., & Michelena, E. (2023). Competitividad del sector cañero-azucarero cubano: Aporte potencial de la normalización a su perfeccionamiento. *Ingeniería Industrial*, 43(3), 1-17.
- Comité Central del Partido Comunista de Cuba (PCC). (2021). *Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista*. Imprenta PCC.
- Díaz, M., Hernández, E., González, V., Vicente, R., Pérez, K., & Zumalacárregui, L. (2022). Obtaining a fraction of sugarcane wax rich in policosanol by using ethanol as solvent: Results interpretation through Hansen's solubility theory. *ACS Omega*, 7(31), 27324-27333. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02314>
- Feijóo, L. (2025). *Estudio teórico-conceptual sobre la corrosión en zonas de alta temperatura de generadores de vapor de altos parámetros* [Monografía]. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Recuperado de <http://feijoo.cdict.uclv.edu.cu/?monografia=estudio-teorico-conceptual-sobre-la-corrosion-en-zonas-de-alta-temperatura-de-generadores-de-vapor-de-altos-parametros>
- Gómez-Kosky, R., Hernández-León, M. C., Bernal-Villegas, A., Alejo-Sierra, M., Álvarez-Ferreiro, J., Aguiar-Fernández, A. T., Toledo-Rodríguez, E. A., Valdés-Martínez, A., González-Alfaro, Y., Bermúdez-Calimano, M., & Daniels, D. (2025). Effects of silver nanoparticles (AgNPs) on in vitro propagation of sugarcane (*Saccharum* spp. cv. C97-445). *Revista Biotecnología Aplicada*.
- Guevara-Rodríguez, J., Fuentes-Ramírez, L., Quintana-Salvador, D. R., & Hernández-Touset, J. P. (2025). Análisis del uso de la energía en el central azucarero Melanio Hernández. *Tecnología Química*, 45, 313-329.
- Hernández-León, M. C., Gómez-Kosky, R., Toledo-Rodríguez, E. A., Bernal-Villegas, A., Alejo-Sierra, M., Álvarez-Ferreiro, J., Aguiar-Fernández, A. T., Bermúdez-Calimano, M., Valdés-Martínez, A., & González-Alfaro, Y. (2022). Efecto de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) en el enraizamiento in vitro de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 56(3), 24-31.
- Hernández-Ramos, E., Díaz de los Ríos, M., & Zumalacárregui de Cárdenas, L. (2024). Technoeconomic analysis of alternatives to improve Cuban sugarcane wax-refining technology using Superpro Designer. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18(5), 1-14. <https://doi.org/10.1002/bbb.2681>

- ICIDCA. (2023). *Convocatoria 2024 del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación "Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar"*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- ICIDCA. (2025). *Informe de resultados del Programa Nacional PN 3602: Desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Grupo Empresarial AZCUBA.
- Lariot-Sánchez, C., Rivas-Gutiérrez, A., Rodríguez-Machín, L., Rubio-González, A., & Iturria-Quintero, P. J. (2022). Impact of alkalis and chlorides from sugarcane agriculture residues on high temperature corrosion: A review. *Oxidation of Metals*, 97(5), 451-475. <https://doi.org/10.1007/s11085-022-10102-w>
- Michelena, G., & Sabadí, R. (2023). La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar con esquemas flexibles de producción y bioeconomía circular. *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 57(1), 1-12.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2025). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Ramos-Miranda, F. E., Gómez-Sarduy, J. R., González-Suárez, E., & López-Bello, N. (2014). Metodología para la evaluación integral de proyectos de reconversión azucarera en el concepto de biorrefinería con enfoque difuso. *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(3), 3-10.
- Rivas-Gutiérrez, A., Lariot-Sánchez, C., Concepción-Rosabal, B., & Rodríguez-Machín, L. (2025). Accelerated test to determine the corrosion behavior of steels in boilers burning sugarcane biomass. *Centro Azúcar*, 52(1), e1097. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/83
- Sabadí-Díaz, R. (2023). Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: las rutas de la energía. *Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 57(1), 13.
- Saini, P., Nagpal, B., Garg, P., & Kumar, S. (2023). CNN-BI-LSTM-CYP: A deep learning approach for sugarcane yield prediction. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103263. <https://doi.org/10.1016/j.sesta.2023.103263>
- Van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>
- Wang, X., Liang, Z., Wei, Y., Chen, J., & Tang, J. (2024). Forecast of sugarcane yield in Chongzuo, Guangxi: LSTM model based on fusion of trend yield and meteorological yield. *Agronomy*, 14(11), 2512. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112512>