

Cultivo de caña de azúcar en Cuba: una revisión sistemática en el contexto cubano actual

Sugarcane Cultivation in Cuba: A Systematic Review in the Current Cuban Context

 Dimitri Mendoza Escalona¹,  Annelis García González^{2,*} y  Alexander Fernández Velázquez²

Resumen

Se realizó una revisión sistemática para sintetizar la evidencia científica (2000–2025) sobre los desafíos del cultivo de caña de azúcar en Cuba, enfatizando la interacción entre cambio climático, degradación ambiental y prácticas agronómicas. Mediante un análisis bibliométrico, se analizaron 215 estudios, de un total de 9600 registros identificados en motores como Google Scholar, Crossref, OpenAlex, Web of Science y Scopus, y tras aplicar criterios de inclusión/exclusión. Los resultados indicaron que el manejo hídrico (33,37 % de citas totales) y la degradación de suelos (32,13 %) son los ejes críticos. Se evidenciaron pérdidas de rendimiento del 40–50 % en Cuba por sequías extremas y ciclones, agravadas por suelos degradados; alta vulnerabilidad fitosanitaria, con escasa investigación en plagas (3,79 % de citas); y se propusieron soluciones como riego solarizado, microembalses y control biológico. La sostenibilidad del sector depende de transferir tecnologías asequibles, políticas hídricas y una transición agroecológica que priorice la restauración del binomio agua-suelo. Este estudio identificó prioridades de investigación y brechas de conocimiento, proporcionando un marco para orientar políticas sostenibles en el sector cañero cubano.

Palabras clave: vulnerabilidad climática, sostenibilidad agrícola, caña de azúcar, Cuba.

Abstract

A systematic review was conducted to synthesize scientific evidence (2000–2025) on the challenges of sugarcane cultivation in Cuba, emphasizing the interaction between climate change, environmental degradation, and agronomic practices. Using bibliometric analysis, 215 studies were analyzed, of 9,600 records retrieved from search engines such as Google Scholar, Crossref, OpenAlex, Web of Science, and Scopus, and after applying inclusion/exclusion criteria. The results revealed that water management (33.37% of total citations) and soil degradation (32.13%) are critical focus areas. Yield losses of 40–50% were identified in Cuba due to extreme droughts and cyclones, exacerbated by degraded soils; high phytosanitary vulnerability, with limited research on pests (3.79% of citations); and proposed solutions such as solar-powered irrigation, micro-reservoirs, and biological control. The sustainability of the sector depends on transferring affordable technologies, implementing water policies, and promoting an agroecological transition that prioritizes restoring the water-soil nexus. This study identified research priorities and knowledge gaps, providing a framework to guide sustainable policies in the Cuban sugarcane sector.

Keywords: climate vulnerability, agricultural sustainability, sugarcane, Cuba.

Recibido: 26/08/2025

Aceptado: 04/08/2026

Publicado: 12/08/2026

Sección: Artículo de Revisión

***Autor correspondiente:** annielis1975@gmail.com

Introducción

Saccharum officinarum es una especie de hierba perenne del género *Saccharum*, caracterizada por tallos robustos ricos en sacarosa. Descrita por Carl Linnaeus en 1753 (Hortipedia, 2023) y originaria de Nueva Guinea (Needham, 2000), se cultiva en regiones tropicales y subtropicales para producir azúcar, etanol y subproductos. Esta especie, una de las más productivas a nivel global, tiene la capacidad de hibridarse con otras como *S. sinense* y *S. barberi*, formando complejos híbridos comerciales (Vilela et al., 2017) que constituyen la base de aproximadamente el 70% de la producción mundial de azúcar (Kew, 2012).

En Cuba, la caña de azúcar ha sido un pilar económico desde el siglo XIX. Sin embargo, la producción ha enfrentado severos declives, precipitados inicialmente por la reestructuración del sector tras la desaparición del campo socialista —un proceso conocido

como Tarea “Álvaro Reynoso”, que implicó la reducción de áreas cañeras y la paralización de numerosos centrales (AZCUBA, 2025)—. Estos declives se han visto exacerbados por prácticas agronómicas insostenibles. El uso ineficiente de fertilizantes y productos químicos no

¹Universidad de Guantánamo. Centro Universitario Municipal El Salvador. Facultad Agroforestal. Estudiante Ingeniería en Agronomía. Avenida Che Guevara, km 1, Guantánamo, Cuba.

²Universidad de Guantánamo. Centro Universitario Municipal El Salvador y Subdelegación de Medio Ambiente, CITMA. Ahogados Esq. 13 Norte, Reparto Caribe. CP 95200. Guantánamo. Cuba

*Dirección postal: 4 oeste # 708 e/ Narciso López y Jesús del Sol. Guantánamo. Cuba. CP: 95100. Teléfono de contacto. +53 5 3 210655.

Como citar: Mendoza Escalona, D., García González, A., & Fernández Velázquez, A. (2026). Cultivo de caña de azúcar en Cuba: una revisión sistemática en el contexto cubano actual. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 28, e28760. <https://doi.org/10.18271/ria.2026.760>



Attribution 4.0 Internacional (CC BY 4.0) Share–Adapt

solo reduce la eficiencia en la absorción de nutrientes, con implicaciones económicas para el agricultor, sino que además incrementa la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente óxido nitroso (Reinos et al., 2018).

La vulnerabilidad del sector se agrava al considerar los requisitos edafoclimáticos esenciales del cultivo. Este requiere suelos moderadamente húmedos con pH entre 5 y 8 y una profundidad de al menos 60 cm para un buen desarrollo radicular. Asimismo, aunque tolera temperaturas mínimas de alrededor de 10 °C, necesita pleno sol (más de 6 horas diarias) para maximizar la fotosíntesis y la acumulación de sacarosa (Gómez, 2022). Para optimizar el crecimiento bajo estas condiciones, se recomienda enriquecer el suelo con compost para mejorar la textura y retención de agua, aplicar riego semanal durante sequías, y realizar una fertilización estratégica (compost previo a la siembra, nitrógeno a los 2-3 meses y biofertilizantes) que evite la compactación y preserve la resiliencia del suelo (Gómez, 2022).

El cultivo posee una notable capacidad de adaptación, con tolerancia media a la salinidad y alta a suelos anaeróbicos, sequía y climas secos, además de propagarse eficazmente mediante esquejes y semillas (Needham, 2000). No obstante, esta resiliencia inherente está siendo superada por presiones combinadas. El cambio climático emerge como una fuerza disruptiva central, alterando patrones de temperatura, precipitación y la frecuencia de eventos extremos (Alatorre & Fernández, 2022), lo que pone a prueba la adaptación del cultivo a parámetros climáticos específicos por etapa fenológica (Feldman & Hernández, 2016; Ojeda et al., 2011; Taratima et al., 2020; Villegas T. F., 2010).

Simultáneamente, prácticas de manejo históricas han contribuido a problemas ambientales profundos, como la degradación de suelos —por erosión y pérdida de nutrientes debido a la quema tradicional— y una creciente presión sobre los recursos hídricos (Díaz-Vargas et al., 2023; González et al., 2024). En el caso específico de Cuba, estos factores interactúan sinérgicamente con sequías recurrentes, creando un círculo vicioso que reduce severamente la productividad y amenaza la sostenibilidad del cultivo.

En este escenario, el manejo de suelo adquiere relevancia sin precedentes. Mantener o restaurar la salud del suelo franco bien drenado, óptimo para la caña, requiere estrategias que contrarresten la compactación, la pérdida de materia orgánica y la posible salinización, problemas que pueden intensificarse bajo nuevas condiciones climáticas (Rios et al., 2022). De manera intrínsecamente ligada, el manejo de agua se vuelve crucial, no solo para garantizar la humedad adecuada durante el crecimiento, sino también para optimizar un recurso cada vez más variable y escaso (Tauta et al., 2022), evitando tanto el estrés hídrico como el anegamiento perjudicial.

Complejizando aún más este panorama, la incidencia y severidad de plagas y enfermedades en la caña de azúcar (Díaz-Aday et al., 2022; Rodríguez-Cardoso et al., 2011) muestran dinámicas cambiantes, influenciadas potencialmente por las alteraciones climáticas y el estrés abiótico que afecta a las plantas (Quiroga, 2016). La interacción entre un clima cambiante, suelos bajo presión, disponibilidad hídrica variable y el surgimiento de nuevas presiones fitosanitarias define un desafío multidimensional para la agricultura cañera cubana.

Es precisamente en este contexto donde se sitúa la presente revisión sistemática. Este metaanálisis tiene como objetivo sintetizar críticamente la evidencia científica disponible sobre el impacto combinado del cambio climático, los problemas ambientales, las prácticas de manejo de suelo y agua, y la dinámica de plagas y enfermedades en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba, identificando brechas de conocimiento.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática descriptiva (Goris et al., 2008) para identificar investigaciones sobre la incidencia del cambio climático, problemas ambientales, prácticas de manejo agronómico (suelo/agua) y manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de caña de azúcar, mediante un enfoque de meta-análisis (Botella & Zamora, 2017; Escrig-Sos et al., 2021). Siguiendo las etapas del análisis de la información documental propuesta por Peña (2022) y la guía para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis (Jiménez, 2025).

Tabla 1
Ecuaciones de búsqueda booleanas por dimensión temática

Dimensión	Ecuación de búsqueda booleana
Cambio climático	(caña de azúcar OR sugarcane OR Saccharum) AND (cambio climático OR climate change)
Manejo del agua	(caña de azúcar OR sugarcane) AND (manejo del agua OR water management OR riego)
Degradación del suelo	(caña de azúcar OR sugarcane) AND (degradación del suelo OR soil degradation)
Manejo de plagas y enfermedades	(caña de azúcar OR sugarcane) AND (plagas OR enfermedades OR pest management OR disease management)

Nota. Elaboración propia. Descriptores combinados en español e inglés mediante operadores booleanos; los paréntesis agrupan los sinónimos de cada concepto para asegurar la precedencia correcta.

La selección de literatura científica se basó en un análisis crítico de fuentes compiladas mediante el software *Harzing's Publish or Perish 8* y motores de búsqueda académicos. Para la recuperación de estudios, se utilizaron ecuaciones de búsqueda estructuradas con operadores booleanos (Botella & Zamora, 2017; Ferrer & Gómez, 2023), combinando descriptores clave, en español e inglés, asociados a cuatro dimensiones, cuyas ecuaciones de búsqueda se presentan en la Tabla 1.

Los motores de búsquedas académicas fueron Google Scholar, Crossref y OpenAlex además de exploraciones específicas, empleando el Google como principal motor de búsqueda para acceder a literatura gris o emergente, así como artículos ubicados en WOS y SCOPUS.

El análisis se basó en un rango diverso de fuentes bibliográficas referenciadas, que incluyeron literatura científica arbitrada (artículos, libros), documentos grises (tesis, manuales) y fuentes digitales especializadas.

Como criterio principal de inclusión, se seleccionaron artículos científicos publicados entre los años 2000 y 2025. Se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores de métricas y estadísticas:

Total de artículos y distribución por motores de búsquedas en 25 años

- Cantidad de Citaciones
- Cantidad de Citas por años
- Cantidad de Citas por artículos

- Cantidad de Citas por autor
- Cantidad de artículos por autores

Estos indicadores bibliométricos permitieron analizar tendencias temporales en la publicación científica, áreas de mayor atención investigativa (a través del volumen de citas), patrones de colaboración entre autores y el impacto relativo de las publicaciones en cada temática, facilitando la identificación de brechas y prioridades.

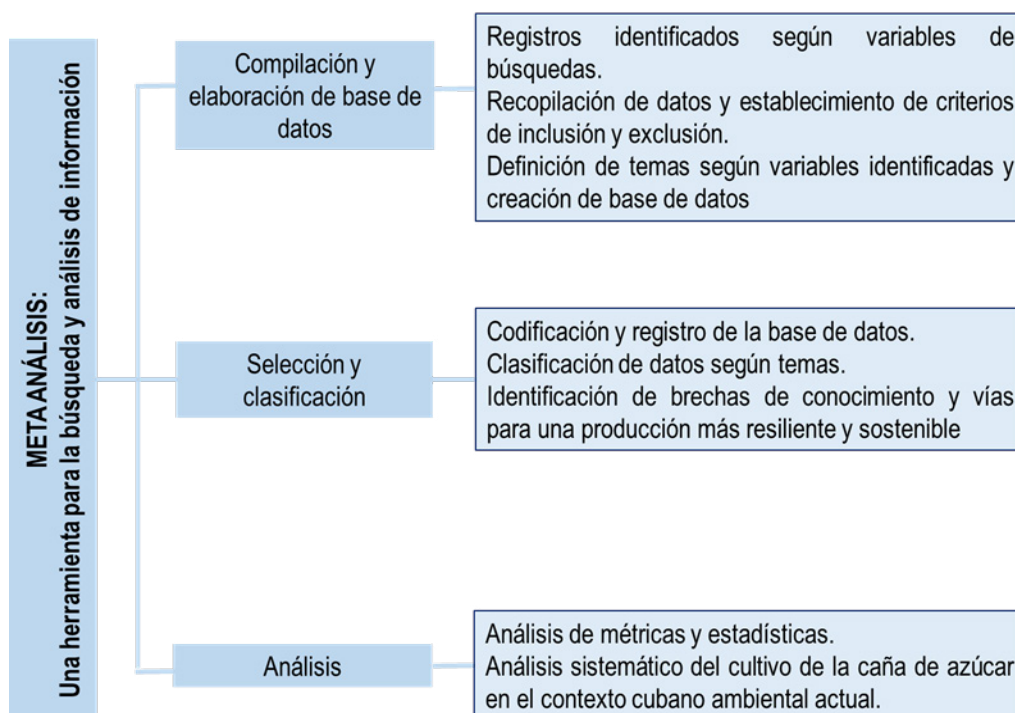
Los artículos compilados fueron examinados y sometidos a un proceso de selección, en el que se excluyeron según los siguientes criterios: 1) duplicados, 2) idioma distinto al español, inglés o portugués, 3) falta de texto completo disponible, 4) baja calidad metodológica (ausencia de diseño experimental claro o muestreo no representativo), y 5) enfoque temático no alineado con las cuatro dimensiones de estudio establecidas (García et al., 2025).

Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión al total de 9 600 registros identificados, 215 cumplieron los criterios de relevancia y fueron revisados en profundidad para la síntesis cualitativa y el análisis bibliométrico. Estos estudios conformaron el corpus final de la revisión. Cabe destacar que la lista de referencias incluye únicamente aquellas obras citadas directamente en el texto, las cuales representan la evidencia clave que sustenta los hallazgos y discusiones presentadas.

En la figura 1 se presenta el diagrama con los principales pasos de la investigación.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de revisión sistemática



Fuente: Elaboración propia. 2025. Modificado a partir de Ferrer & Gómez (2023)

Para el análisis y procesamiento de los datos se utilizaron herramientas que facilitaron su obtención, procesamiento y visualización. Se empleó Zotero como gestor bibliográfico para la realización y normalización de una base de datos, y Microsoft Excel 2019 para la representación de los datos obtenidos a través de tablas y gráficos.

Resultados

Del total inicial de 9 600 registros identificados, 215 artículos cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron analizados en profundidad. A continuación, se presentan los hallazgos bibliométricos y temáticos derivados de este corpus.

Análisis Bibliométrico sobre el cultivo de caña de azúcar: enfoque en cuatro áreas temáticas

El análisis bibliométrico reveló patrones claros en la distribución de la investigación científica sobre caña de azúcar entre 2000 y 2025. Las cuatro áreas temáticas establecidas —incidencia del cambio climático, problemas ambientales, prácticas de manejo agronómico (suelo/agua) y manejo integrado de plagas y enfermedades (Figura 2)— mostraron una atención investigativa desigual, lo que refleja prioridades y potenciales brechas de conocimiento.

Figura 2
Diagrama visual de las áreas temáticas establecidas en el estudio



Al culminar el proceso de revisión se evaluaron 9 600 artículos del período 2000 a 2025. La Tabla 1 presenta la distribución de estos artículos según los motores de búsqueda utilizados y las cinco variables temáticas analizadas, ofreciendo una visión cuantitativa de la cobertura bibliográfica en cada dimensión del estudio.

Tabla 2
Distribución de artículos según motores de búsqueda utilizados y variables temáticas analizadas

Motores de búsquedas	Cambio climático y caña de azúcar	Problemas ambientales y caña de azúcar	Manejo de suelo y caña de azúcar	Manejo de agua y caña de azúcar	Plagas y enfermedades en la caña de azúcar	Total
Google Scholar	100	100	100	150	150	600
OpenAlex	1000	1000	1000	1000	0	4000
Crossref	1000	1000	1000	1000	1000	5000
Total	2100	2100	2100	2150	1150	9600

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la búsqueda sistemática, 2025.

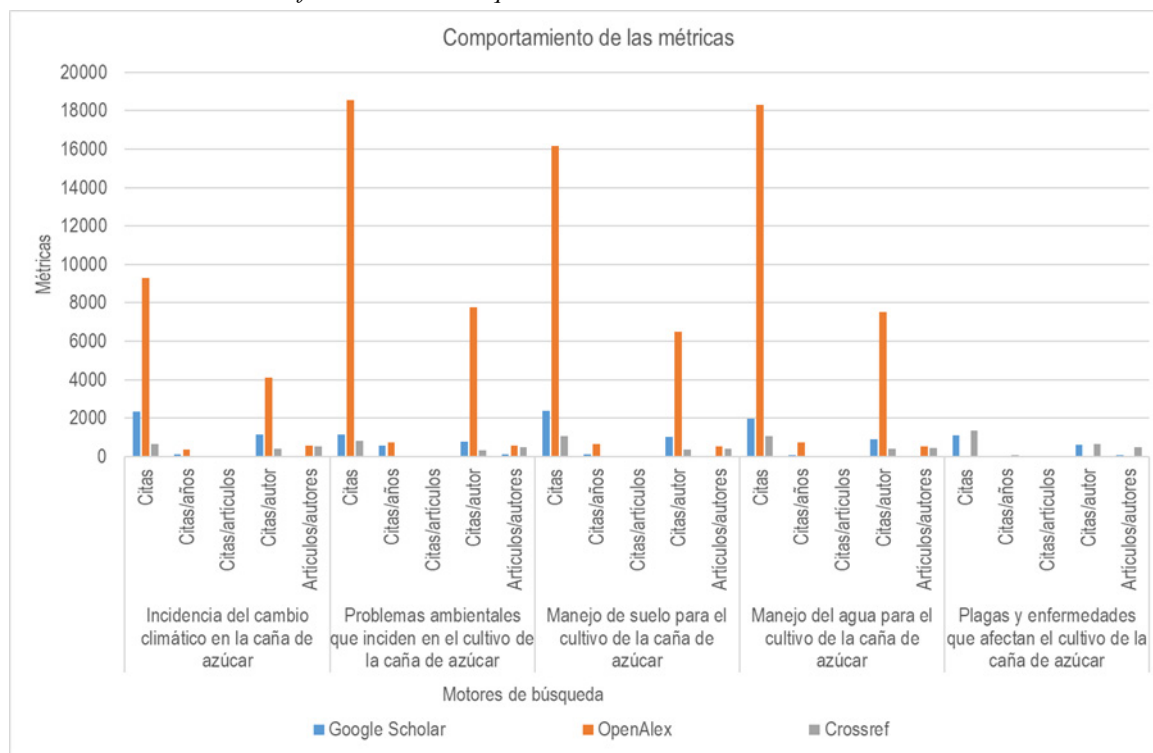
Como se observa en la Tabla 2, Crossref fue la fuente más productiva (5 000 artículos), seguida de OpenAlex (4 000) y Google Scholar (600). En cuanto a las variables temáticas, el manejo del agua (2 150 artículos) y las tres categorías de cambio climático, problemas ambientales y manejo de suelo (2 100 cada una) recibieron una atención bibliográfica similar y sustancial. En marcado contraste, la temática de plagas y enfermedades registró la menor cobertura (1 150 artículos), siendo además la única área no cubierta por OpenAlex en esta búsqueda.

En la Figura 3 se representan otros indicadores métricos identificados en las búsquedas realizadas.

Se analizaron cinco indicadores bibliométricos clave para las cuatro áreas de estudio, con un total acumulado de 63 873 citas en el período analizado:

Distribución de citas totales: El manejo del agua fue el área más citada, concentrando el 33,37 % (21 316 citas), seguido por los problemas ambientales (32,13 %; 20 525 citas). En marcado contraste, las plagas y enfermedades registraron la menor proporción (3,79 %; 2 423 citas), sugiriendo una relativa subrepresentación en la literatura científica analizada.

Citas anuales promedio y por artículo: Los problemas ambientales lideraron en citas anuales (37,59 %; 1 352 citas/año), indicando un interés sostenido. Sin embargo, al analizar el impacto por publicación, el manejo de suelo mostró el mayor valor (41 citas/artículo), seguido por el manejo del agua (38,99 citas/artículo). Nuevamente, las plagas y enfermedades presentaron los valores más bajos en ambas métricas (99,15 citas/año y 12,21 citas/artículo, respectivamente).

Figura 3*Indicadores métricos identificados en las búsquedas realizadas*

Productividad y colaboración científica: En términos de productividad por autor y colaboración, los problemas ambientales presentaron el mayor índice (1 203 artículos/autor), seguido por la incidencia del cambio climático (1 146 artículos/autor). El área de plagas y enfermedades registró la menor productividad (556,94 artículos/autor), lo que podría indicar equipos más pequeños o menor financiamiento para investigación fitosanitaria.

Incidencia del cambio climático y problemas ambientales en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba y contextos internacionales

El cambio climático constituye un factor determinante en la dinámica de los sistemas agroproductivos, afectando de manera directa e indirecta la producción agrícola a nivel mundial (Hatfield & Walthall, 2014). En particular, la caña de azúcar (*Saccharum* spp.), cultivo tropical de relevancia estratégica en países como Brasil, India, China, Australia, Tailandia, México, Colombia, regiones africanas y Cuba, entre otros, se ve influenciada por variables climáticas como temperatura, precipitación y concentración de CO₂, así como factores asociados como la radiación solar y la ozonosfera troposférica (Dosso et al., 2023; Guo et al., 2021). Estos elementos condicionan la fisiología, fenología y producción de la caña, haciendo necesario comprender su interacción para garantizar la resiliencia del cultivo frente a las perturbaciones ambientales y climáticas.

Incidencia del cambio climático en el cultivo de caña de azúcar: evidencias globales

El calentamiento global y la variabilidad climática han alterado los patrones de temperatura y precipitación, imponiendo efectos tanto directos (alteración térmica y pluviométrica) como indirectos (degradación del suelo, estrés nutricional, proliferación de plagas) en la agricultura (Pipitukdee et al., 2020). La respuesta del rendimiento de la caña a estas variables es no lineal y heterogénea espacial y temporalmente, dependiendo de la ubicación geográfica, el manejo agronómico y la capacidad adaptativa local (Dosso et al., 2023; Linnenluecke et al., 2020; Pipitukdee et al., 2020).

En Brasil (mayor productor mundial), estudios proyectan que, pese a la reducción general de lluvias y aumento de la evapotranspiración bajo escenarios futuros, la productividad de la caña podría incrementarse debido a la redistribución estacional de las precipitaciones, con aumentos en el período seco que coinciden con fases críticas de desarrollo del cultivo (Oliveira et al., 2021). Esta dinámica destaca la importancia de analizar no solo cambios cuantitativos absolutos, sino también la distribución temporal de las lluvias para la gestión hídrica del cultivo.

El desbalance hídrico y térmico también afecta gravemente a India (segundo productor a nivel mundial), donde eventos climáticos extremos secuenciales — una prolongada sequía seguida de lluvias monzónicas excesivas— redujeron dramáticamente el rendimiento

cañero en estados clave como Maharashtra, Karnataka y Uttar Pradesh, limitando la producción nacional a niveles inferiores al consumo interno y obligando a suspender exportaciones, lo que impactó el mercado global (Tomadin, 2025; ZafraNet, 2024).

Este caso ejemplifica la vulnerabilidad de sistemas agrícolas frente a sinergias de estrés hídrico y patógenos, demandando estrategias como adopción de variedades resistentes, infraestructura de riego eficiente y modelos predictivos de manejo integrado (ZafraNet, 2024).

En China, investigadores demostraron que las precipitaciones y la temperatura tienen correlaciones significativas con el rendimiento, mientras que la radiación solar mostró efectos limitados. La combinación de cambios en estos parámetros puede explicar 69-76 % de la variabilidad en producción de biomasa y sacarosa, con efectos complejos como respuesta positiva de sacarosa a incremento térmico bajo radiación constante y respuesta negativa ante radiación excesiva (Guo et al., 2021). Estas interacciones confirman la importancia de evaluar conjuntamente los múltiples factores climáticos.

En Australia, Linnenluecke et al. (2020) identificaron un giro crítico en la influencia climática: mientras antes de 1995 el aumento de CO₂ favorecía la productividad, posteriormente el estrés térmico y otros factores revirtieron esta tendencia, evidenciando la complejidad y no linealidad en los efectos del cambio climático (Linnenluecke et al., 2020).

Estudios en Tailandia (Sudeste asiático, con impactos cuantificados) (Pipitpukdee et al., 2020) proyectan impactos negativos sustanciales en rendimiento (-24,9 a -34,9 %), superficie cosechada y producción total bajo escenarios de emisiones moderadas y altas (RCP 4,5 y 8,5), afectando la economía cañera regional y exportaciones internacionales (Pipitpukdee et al., 2020; Silva et al., 2019). Se destaca además la heterogeneidad espacial marcada en vulnerabilidad climática, donde regiones del sur presentan mayor riesgo por encima de zonas norte y noreste (Pipitpukdee et al., 2020).

En México, el sistema de producción en Oaxaca enfrenta reducción potencial de áreas productivas debido a cambios climáticos y se prevé desplazamiento de cultivos hacia zonas con condiciones más favorables, lo que implica retos agronómicos y socioeconómicos relevantes (Ramírez, 2018).

En Colombia, análisis en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca evidencian una relación no lineal entre temperatura y productividad, con un punto de inflexión térmico (~32-35 °C) donde el aumento térmico primero favorece y luego limita drásticamente el rendimiento (Barragán, 2015). La investigación destaca además la importancia de incorporar variables adicionales como viento y brillo solar para proyectar impactos con mayor precisión.

Regiones africanas muestran resiliencia térmica relativa, pero una notable vulnerabilidad por variabilidad pluviométrica, confirmando que la disponibilidad hídrica es factor limitante decisivo (Pipitpukdee et al., 2020).

Problemas ambientales

Cuba, con su tradición cañera, enfrenta condiciones térmicas generalmente óptimas para el cultivo (temperaturas medias máximas de 31,3 °C y mínimas de 21,4 °C) (ONEI, 2025). Sin embargo, temperaturas sostenidas superiores a 32°C durante fases fenológicas críticas inducen estrés térmico que compromete la productividad (Santana et al., 2021). Este estrés se agrava cuando se combina con déficit hídrico, requiriendo evaluaciones específicas que consideren variedades y disponibilidad hídrica local.

La vulnerabilidad climática se manifestó drásticamente en el trienio 2015-2017. Una sequía prolongada fue seguida por el paso del huracán Irma en 2017, que causó daños en aproximadamente 430,000 ha y afectó severamente a 20 centrales azucareros (Terrero, 2018). Posteriormente, lluvias extremas e inundaciones durante la cosecha 2017-2018 redujeron rendimientos en un 40-50 %, evidenciando vulnerabilidades estructurales tanto en los sistemas productivos como en los protocolos operativos (NASA, 2023, 2024; Terrero, 2018).

El estrés hídrico se ha intensificado en Cuba debido a una reducción de precipitaciones (aproximadamente 10-15 % desde la década de 1990), aumento de la evaporación potencial y sequías recurrentes, particularmente en las regiones centro y oriente (Agricultura, 2023; Fonseca et al., 2020; IPCC, 2022). La caña, que requiere entre 1 500 y 2 500 mm anuales para un desarrollo óptimo (Agricultura, 2023), muestra limitaciones significativas bajo estas condiciones, con cierre estomático y reducción fotosintética que disminuyen tanto el rendimiento como la calidad (Gupta et al., 2020; Luna et al., 2023).

Paralelamente, la degradación ambiental constituye otro factor crítico. La erosión, salinización, compactación y pérdida de materia orgánica en suelos ferralíticos — resultado de décadas de cultivo intensivo, quema de residuos y labranza mecanizada — afectan severamente la retención hídrica y amplifican la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos (CITMA-INSMET, 2020; Febles et al., 2018).

El monocultivo extensivo acompañado del uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas incrementa la carga contaminante en suelo y agua, contribuyendo a la pérdida de biodiversidad y reducción de la resiliencia agroecológica (Cheesman, 2004; Rodríguez et al., 2019; Verma et al., 2024). En Cuba, la interacción sinérgica de estos procesos con el cambio climático ha generado un escenario que limita la capacidad adaptativa y pone en riesgo la sostenibilidad misma del cultivo (Febles et al., 2018; IPCC, 2022).

Enmarcado en el panorama mundial, el cultivo de caña muestra problemáticas compartidas en regiones tropicales (Brasil, India, Sudeste Asiático) y particulares en Cuba, vinculadas a:

Degradación del suelo: erosión, compactación, salinización y pérdida de materia orgánica por quema y labranza intensiva, que limitan la capacidad productiva y exacerbando sequías (CITMA-INSMET. 2020; Pantaleón P. Genaro, s. f.; Intagri, 2024; Zhao & Li, 2015).

Contaminación ambiental: uso indiscriminado de agroquímicos que afectan calidad de suelos y aguas, impactando en la biodiversidad terrestre y acuática (Intagri, 2024; Salvatierra, 2009).

Pérdida de biodiversidad: conversión de ecosistemas naturales a monocultivo, lo que reduce la resiliencia y aumenta la vulnerabilidad a plagas y enfermedades (Salvatierra, 2009; Zhao & Li, 2015).

Interacción con cambio climático: procesos anteriores amplifican la incidencia y severidad de eventos extremos; por ejemplo, los suelos degradados retienen menos agua y la deforestación incrementa las emisiones locales de CO₂ (IPCC, 2022; Zhao & Li, 2015).

La sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar depende de un manejo integrado que considere simultáneamente las presiones climáticas y ambientales. Cuba, con su legado de monocultivo intensivo y limitaciones edáficas, debe aplicar estrategias que restauren la resiliencia ecológica, optimicen el uso y almacenamiento hídrico, mejoren las variedades y tecnología de riego, y establezcan sistemas integrales de monitoreo y alerta temprana ante eventos climáticos (NASA, 2024; Verma et al., 2024).

Ante la evidencia de que el binomio agua-suelo constituye el eslabón crítico de vulnerabilidad climática en Cuba, caracterizado por altas temperaturas, estrés hídrico y procesos de salinización, se hace imprescindible focalizar un eje estratégico en el manejo eficiente de estos recursos. Esto implica la necesidad de sistemas de riego que optimicen el uso de cada milímetro de agua, la adopción de prácticas de conservación edáfica orientadas a maximizar la infiltración y retención hídrica, así como la implementación de protocolos específicos para la rehabilitación de suelos degradados por sequías recurrentes.

Manejo de agua y suelo en caña de azúcar: Desafíos y soluciones para contextos tropicales

La viabilidad del sector cañero en trópicos depende de superar desafíos interconectados de gestión hídrica y conservación edáfica, agravados por el cambio climático. El consumo de agua varía significativamente entre países (40 a 120 m³·ha⁻¹·día⁻¹), influenciado por ciclos de cultivo, condiciones edafoclimáticas, desarrollo fenológico y características varietales (SAGARPA, 2015).

Estudios globales confirman mayores demandas en zonas subtropicales (85 m³·ha⁻¹·día⁻¹ promedio) debido a estaciones secas prolongadas y mayor evaporación versus regiones tropicales húmedas (SAGARPA, 2015).

Experiencias internacionales

Brasil: Implementa riego por goteo subsuperficial en São Paulo, reduciendo consumo hídrico en 35% al evitar encharcamientos y mejorar oxigenación radicular (Rivulis, 2019).

India (Maharashtra): Mediante acuerdos comunitarios, prioriza agua potable en pozos profundos y restringe riego cañero a métodos eficientes (goteo/aspersión) durante estiaje (*jawaad*), conservando acuíferos (Foster et al., 2007).

Australia: Integra sensores IoT con modelos predictivos (APSIM-Sugar) para sincronizar riego con fases fenológicas críticas, complementado con mercados de derechos de agua transables (IoT Milesight, 2023).

México: En Papaloapan, la huella hídrica de la caña (variabilidad: 89 m³ t⁻¹) supera a otros cultivos, vinculada a evapotranspiración y rendimientos. Soluciones como goteo subsuperficial y mejora productiva reducen este indicador (63,64).

Colombia: Optimiza sistemas de gravedad con compuertas automatizadas y drones multispectrales para detección temprana de estrés hídrico (Cenicaña, 2025; López-Rodríguez et al., 2023).

En Cuba solo el 66% del área cañera es altamente apta, con limitantes por profundidad efectiva del suelo (70% de áreas no aptas). La degradación edáfica por mal manejo exige riego solarizado en Guantánamo (-40% costos energéticos), microembalses para cosecha de lluvia, variedades eficientes (Cuba 120-78, -20% demanda hídrica) y tecnificación priorizada en cuencas vulnerables (Plan Nacional de Riego) (Caballero, 2023; Duarte-Díaz, 2015).

Cuba puede integrar soluciones híbridas: tecnología de bajo costo (estructuras tradicionales para captación de agua de lluvia, riego que empleen paneles solares) para pequeños productores, y sistemas avanzados (reúso, red de dispositivos físicos: sensores, actuadores, drones conectados a internet que recopilan y comparten datos en tiempo real para optimizar el manejo del cultivo) en centrales estatales.

La clave es adaptar modelos, considerando recursos locales como la radiación solar capacitación de las redes comunitarias (ANAP, UBPC) (Samá et al., 2024), políticas habilitantes como la Ley de Agua (Ley 124/2017) que permita mercados regulados y alianzas Sur-Sur mediante cooperación técnica con Brasil y México para transferencia tecnológica. Estas acciones pueden revertir la degradación y asegurar sostenibilidad hídrica.

Manejo Integrado de Plagas y enfermedades en Caña de Azúcar: Experiencias Globales y Adaptación para Cuba

En Cuba, las plagas y enfermedades constituyen una amenaza crítica para la caña de azúcar, exacerbada por el cambio climático que altera patrones térmico-pluviales. Destacan entre ellas el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), causante de pérdidas del 15-25% en rendimientos (Wilson et al., 2022), royas (*Puccinia melanocephala* y *P. kuehnii*), siendo *P. melanocephala* responsable de pérdidas históricas de 1.35 millones de

toneladas de azúcar en la variedad B4362 (Díaz-Aday et al., 2021; MINAG-CITMA, 2023).

Estudios muestran mayor severidad en siembras de julio-diciembre, con picos a los 3-5 meses para roya parda y persistencia hasta 6 meses para roya naranja bajo condiciones climáticas favorables (Díaz-Aday et al., 2021). En la actualidad, como parte de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de origen sanitarios por graves epifitias, según la Directiva 1/2022 del Consejo de Defensa Nacional (CDN, 2022), las principales plagas y enfermedades que se evalúan se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3
Principales plagas y enfermedades de la caña de azúcar evaluadas según la Directiva 1/2022 del Consejo de Defensa Nacional

Categoría	Agente causal (nombre científico)	Enfermedad o plaga
Reglamentada	<i>Xanthomonas albilineans</i>	Escaldadura foliar
	<i>Sugarcane mosaic potyvirus</i> (razas H, I, SC, Bc y Sabi)	Mosaico de la caña
	<i>Ustilago scitaminea</i>	Carbón de la caña
	<i>Fiji disease fujivirus</i>	Enfermedad de Fiji
No reglamentada	<i>Puccinia melanocephala</i>	Roya parda
	<i>Puccinia kuehnii</i>	Roya naranja

Nota. Elaboración propia a partir de la Directiva 1/2022 del Consejo de Defensa Nacional (CDN, 2022). Las plagas reglamentadas son objeto de vigilancia oficial obligatoria dentro de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de origen sanitario.

Otras plagas clave incluyen áfidos (*Melanaphis sacchari*) y cogollero (*Spodoptera frugiperda*), que proliferan con temperaturas >30 °C y estrés hídrico (Cerna Chavez et al., 2022; Maggi & Chreil, 2024).

Ante este escenario, se propone un Manejo Integrado de Plagas (MIP) contextualizado para fortalecer la resiliencia fitosanitaria, que incluye el control biológico escalado con la liberación de *Trichogramma* spp. y *Cotesia flavipes* para barrenadores, similar al modelo en Brasil (Infoagronomo, 2021) y Tailandia (Sangsak et al., 2010), prácticas agroecológicas mediante rotaciones de cultivos (fijadores de N y repelentes) y cobertura con rastrojos, lección implementada en India (Edde, 2022), variedades resilientes que priorizan clones INICA resistentes a royas (C132-81, C323-68) y estrés térmico, así como el monitoreo predictivo a través de modelos climáticos para anticipar brotes de áfidos durante olas de calor.

Adicionalmente, podrían implementarse alternativas como las de Australia, que monitorea larvas de melolóntidos (*canegrubs*) con sensores edáficos y ajusta aplicaciones de insecticidas a cambios fenológicos (Allsopp, 2010) y las de México, que aplica manejo regional integrado con cosecha en seco, trampeo y variedades tolerantes a royas (Rodríguez, 2016). Estas estrategias sinérgicas, basadas en éxitos globales y adaptadas a realidades cubanas puede reducir pérdidas bajo escenarios climáticos extremos.

La evidencia presentada sobre plagas y enfermedades contrasta marcadamente con los

hallazgos bibliométricos, donde esta área representó solo el 3.79% de las citas totales. Esta disparidad sugiere dos escenarios posibles: (1) existe una brecha significativa entre la importancia económica real de las plagas —ejemplificada por las pérdidas del 15-25% causadas por *Diatraea saccharalis* (Wilson et al., 2022) y las históricas por royas (Díaz-Aday et al., 2021)— y la atención investigativa que reciben en la literatura científica indexada; o (2) la investigación fitosanitaria en Cuba se publica predominantemente en canales locales, grises o de menor visibilidad internacional, limitando su impacto bibliométrico.

Esta situación refuerza la necesidad de priorizar la investigación en manejo fitosanitario dentro de la agenda científica nacional, particularmente ante un escenario de cambio climático que altera la dinámica plagas-enfermedades. La integración de estrategias como el MIP, el desarrollo de variedades resistentes y el monitoreo predictivo no solo es técnicamente viable —como demuestran las experiencias internacionales— sino que resulta urgente para reducir pérdidas económicas y garantizar la sostenibilidad del sector.

Discusión

El análisis de los 215 artículos incluidos en esta revisión sistemática confirma que la crisis productiva de la caña de azúcar en Cuba es el resultado de una compleja interacción sinérgica entre factores climáticos, ambientales y antrópicos. La evidencia bibliométrica revela que el manejo del agua y la degradación de suelos

concentran el 65.5% de las citas totales, reflejando correctamente su prioridad para la sostenibilidad del cultivo en un contexto de estrés hídrico creciente y suelos deteriorados.

Sin embargo, la escasa representación de investigaciones sobre plagas y enfermedades (solo 3.79% de las citas) contrasta con su documentado impacto económico, sugiriendo una subestimación de este componente en la literatura científica analizada. Esta brecha debe abordarse, especialmente considerando que el cambio climático puede alterar la dinámica de patógenos como *Diatraea saccharalis* y las royas, aumentando su severidad bajo condiciones de estrés térmico e hídrico.

La vulnerabilidad hídrica identificada en Cuba —agravada por proyecciones climáticas que anticipan mayor frecuencia de sequías y eventos extremos— se ve exacerbada por suelos degradados con baja capacidad de retención. Esta combinación explica las dramáticas pérdidas de rendimiento (40-50%) reportadas tras eventos como el huracán Irma.

Experiencias internacionales demuestran que soluciones tecnológicas como el riego por goteo subsuperficial (Brasil) o los sistemas comunitarios de captación (India) son viables. Para Cuba, su implementación requiere adaptación a limitaciones infraestructurales y energéticas, donde alternativas como el riego solarizado y los microembalses emergen como opciones de bajo costo y alto potencial.

En el ámbito fitosanitario, el éxito de estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en países como Tailandia (uso de *Trichogramma spp.*) o México (variedades tolerantes a royas) subraya la importancia de combinar control biológico, resiliencia genética y monitoreo predictivo. Para Cuba, la adopción de clones INICA resistentes y la liberación escalada de parasitoides como *Cotesia flavipes* podrían reducir pérdidas significativamente, pero su efectividad dependerá de su integración con prácticas agroecológicas como rotaciones con *Crotalaria juncea* y cobertura con rastrojos.

La sostenibilidad de la caña de azúcar en Cuba trasciende lo técnico y requiere habilitadores socioinstitucionales. La Ley de Aguas (124/2017) y las redes de productores: Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) y las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC) pueden facilitar la implementación de soluciones, pero es crucial fomentar alianzas Sur-Sur con países como Brasil o México para transferir tecnologías accesibles y capacitar a actores locales. Las brechas identificadas —como la efectividad de biofertilizantes en suelos salinizados o el desarrollo de modelos predictivos locales— deben abordarse con investigación participativa que priorice las necesidades reales de los productores.

Solo mediante un enfoque multisectorial, contextualizado y que equilibre innovación tecnológica con prácticas agroecológicas asequibles podrá revertirse la actual crisis productiva y construir un sector cañero resiliente y sostenible.

Esta revisión se basó en 215 estudios de literatura indexada y gris accesible, por lo que puede no capturar toda la producción técnica local no publicada en estos canales. La confiabilidad de los datos bibliométricos está sujeta a la precisión y cobertura de las bases de datos utilizadas. Futuras revisiones podrían complementarse con metodologías mixtas, como entrevistas a expertos, para triangular la evidencia científica con la experiencia práctica en campo y obtener una perspectiva más integral de los desafíos y soluciones.

Conclusiones

El cultivo de caña de azúcar en Cuba enfrenta una crisis de sostenibilidad, en la que incide, entre otros elementos, la variabilidad climática, degradación ambiental de los suelos y prácticas agronómicas inadecuadas que han contribuido a reducir drásticamente la resiliencia de los agroecosistemas cañeros. El manejo del agua y el suelo se confirma como el eslabón principal para la adaptación. En Cuba, esto se traduce en la urgente necesidad de escalar soluciones como la tecnificación del riego, aprovechamiento del agua de lluvia y la adopción de prácticas de conservación de suelos.

El manejo fitosanitario emerge como un frente crucial, donde la baja proporción de citas encontradas sobre plagas y enfermedades contrasta con su alto impacto económico. La evidencia recomienda la adopción de un Manejo Integrado de Plagas contextualizado que combine control biológico escalado, uso de variedades resistentes y monitoreo predictivo con modelos climáticos. La sostenibilidad del sector depende de un enfoque dual que integre innovación y accesibilidad, implementando sistemas de riego eficientes con energías renovables en unidades estatales, mientras se promueven entre pequeños productores prácticas agroecológicas asequibles y se fortalecen los marcos legales y de cooperación internacional.

Finalmente, se identifican brechas de conocimiento críticas que demandan investigación futura, centrada en desarrollar modelos predictivos locales que incorporen variables subestimadas, evaluar la rentabilidad económica de las soluciones propuestas y testar la efectividad de biofertilizantes en suelos degradados bajo condiciones de estrés térmico e hídrico, lo cual será determinante para la viabilidad futura de la agroindustria azucarera cubana.

Agradecimientos

A todos los que de alguna manera contribuyeron a la realización de este estudio.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existieron conflictos de intereses entre ellos.

Contribución de autores

Dimitri Mendoza Escalona: conceptualización, investigación, análisis formal, redacción.

Annelis García González: conceptualización, curación de datos, investigación, análisis formal, redacción–revisión y edición, validación – verificación, visualización.

Alexander Fernández Velazquez: análisis formal, curación de datos, revisión y edición, validación – verificación.

Referencias

- Agricultura. (2023). *Clima, suelo y agua para la producción del cultivo de la caña*. <https://blogagricultura.com/clima-suelo-cana/>
- Alatorre, J. E., & Fernández, S. I. (2022). Impactos macroeconómicos del cambio climático en América Latina y el Caribe: Revisión de la literatura 2010-2021. *Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/182)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 58. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1419157d-6e9d-4cf3-b489-ade65efb12bd/content>
- Allsopp, P. G. (2010). Integrated Management of Sugarcane Whitegrubs in Australia: An Evolving Success. *Annual Review of Entomology*, 55, 329-349. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085406>
- AZCUBA, G. A. (2025). *Historia del Sector Azucarero*. <https://www.azcuba.cu/historia-del-sector-azucarero/>
- Barragán, M. D. M. (2015). *Impacto del cambio climático en la producción de caña de azúcar en los departamentos de Cauca y del Valle del Cauca* [Universidad de los Andes]. <https://hdl.handle.net/1992/17994>
- Botella, J., & Zamora, Á. (2017). El meta-análisis: Una metodología para la investigación en educación. *Educación XXI*, 20(2), 17-38. <https://doi.org/10.5944/educxxi.19030>
- Caballero, N. A. (2023). ¿Cuál es el verdadero potencial agroproductivo cañero? *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 57(3), 28-38. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2023/11/articulo-4.pdf>
- CDN. (2022). *Directiva 1/2022 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres*. <https://instituciones.sld.cu/ucmc/2023/05/17/directiva-para-la-gestion-de-la-reduccion-del-riesgo-de-desastre/>
- Cenicaña. (2025). *Colombia Agroalimentaria Sostenible*. <https://agroalimentariasostenible.co/>
- Cheesman, O. D. (2004). Environmental impacts of sugar production: The cultivation and processing of sugarcane and sugar beet: background. En *Environmental impacts of sugar production: The cultivation and processing of sugarcane and sugar beet* (pp. 1-10). <https://doi.org/10.1079/9780851999814.0001>
- Cerna Chavez, E., Chavez, E. C., Vazquez, J. L. A., Hernandez, J. M., Uribe, L. A. A., Fuentes, Y. M. O., Juarez, A. H., & Angel, E. C. del. (2022). CURRENT PERSPECTIVE OF FALL ARMYWORM Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) AND ITS DEVELOPED RESISTANCE TO INSECTICIDES. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4089>
- CITMA-INSMET, Cubaenergía. (2020). Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. http://ccc.insmet.cu/cambioclimaticoencuba/sites/default/files/reportes/3CN_Cuba_0.pdf
- Díaz-Aday, O. de la C., Montalván, J., Padrón, J. D., Puchades, Y., & Lema, E. L. R. (2021). Progreso de las enfermedades roya parda y roya naranja de la caña de azúcar en Cuba. *Centro Agrícola*, 48(3), 60-70. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-57852021000300060&lng=e&s&nrm=iso&tlng=es
- Díaz-Aday, O. de la C., Vicente, L. P., Ortega, M. I. O., Lema, E. L. R., Delgado, J. M., Izaguirre, Y. P., Padrón, J. D., & Parte, E. M. de la. (2022). Vigilancia fitosanitaria y caracterización de la enfermedad roya naranja de la caña de azúcar en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 12(2), Article 2. <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/1105>
- Díaz-Vargas, R., Suárez, J. L., Ramírez, V. V., Rodríguez, A. B., Menjura, O. M., & Florez, C. F. (2023). Evaluación de variables agronómicas y calidad de la caña de azúcar sobre diferentes prácticas de labranza. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i2.198>
- Dosso, S., Kobe, A., Yoroba, F., Kouassi, B., Kouadio, K., Diawara, A., & Diedhiou, A. (2023). Influence of Climate on Sugarcane Yield in Côte d'Ivoire: Case of the Ferkessédougou Region. *Atmospheric and Climate Sciences*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.4236/acs.2023.134032>
- Duarte-Díaz, C. (2015). Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. *Ingeniería*

- Agrícola*, 5(4), 46-51. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/719>
- Edde, P. A. (2022). Plagas de artrópodos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). En P. A. Edde (Ed.), *Field Crop Arthropod Pests of Economic Importance* (pp. 276-347). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818621-3.00006-9>
- Escrig-Sos, V. J., Lluca Abella, J. A., Granel Villach, L., & Bellver Oliver, M. (2021). Metaanálisis: Una forma básica de entender e interpretar su evidencia. *Revista de Senología y Patología Mamaria*, 34(1), 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.senol.2020.05.007>
- Febles, G. J. M., Vega, M., & Moura, B. do A. S. N. (2018). La degradación de los suelos ferralíticos rojos en el occidente de Cuba. En *I Seminario internacional de manejo sostenible de suelos agrarios y de recursos naturales*. Universidad de Almería. España. https://www.researchgate.net/publication/327163998_LA_DEGRADACION_DE_LOS_SUELOS_FERRALITICOS_ROJOS_EN_EL_OCCIDENTE_DE_CUBA
- Feldman, L. A. J., & Hernández, C. D. (2016). Cambio climático y agricultura: Una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Ferrer, P. E., & Gómez, L. (2023). Herramientas para el monitoreo y control de sequías: Un metaanálisis en contexto. *Agua y territorio/Water and Landscape*, 22, 5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9027762>
- Fonseca, R. C., Alpizar-Tirzo, T. M., Hernández, G. D., González, I. T., Cutié, V., Valderá, F. N., Barcia, S. S., Martínez, A. M., Gil, R. L., Vazquez, R., Rodríguez, C. R. M., Velázquez, Z. B., & Pérez, R. (2020). Estado del Clima en Cuba 2019. Resumen ampliado. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(4), 18. <http://ccc.insmet.cu/cambioclimaticoencuba/sites/default/files/vigilancia/Estado%20del%20clima%202019.pdf>
- Foster, S., Garduño, H., & Tuinhof, A. (2007). *Enfrentando el Reto de la Gestión del Agua Subterránea del Acuífero "Deccan Traps" en Maharashtra – India*. 20. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/531181468041337250/pdf/443610SPANISH0B0x361481B00PUBLIC0.pdf>
- García, G. A., Fernández, V. A., & Rodríguez, S. E. (2025). Una mirada sobre peligro biológico y bioseguridad en el contexto sanitario internacional. *Revista Información Científica*, 104 e4864(0), Article 0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14179946>
- Gómez, L. (2022). *Saccharum officinarum: Cuidados y Características del Caña De Azúcar*. <https://grama-cesped.com/plantas/como-cuidar-saccharum-officinarum>
- González, C. O., López, B. E., Betancourt, R. Y., Cevallos, M. R. X., & Herrera, S. M. (2024). Predicción de la compactación provocada por el tránsito en la cosecha de caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 33(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542024000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Goris, G. J. A., Olmedo, S. Á., & Ferrer, F. E. (2008). El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- Guo, H., Huang, Z., Tan, M., Ruan, H., Awe, G. O., Are, K. S., Abegunrin, T. P., Hussain, Z., Kuang, Z., & Liu, D. (2021). Crop resilience to climate change: A study of spatio-temporal variability of sugarcane yield in a subtropical region, China. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100014>
- Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368(6488), 266-269. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>
- Hatfield, J. L., & Walthall, C. L. (2014). Climate Change: Cropping System Changes and Adaptations. En N. K. Van Alfen (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 256-265). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00003-6>
- Hortipedia. (2023). *Saccharum officinarum*. https://en.hortipedia.com/Saccharum_officinarum
- Infoagronomo. (2021). *Barrenador de la caña de azúcar, manejo integrado*. <https://infoagronomo.net/manejo-integrado-barrenador-de-la-cana-de-azucar/>
- Intagri, S. C. (2024). *Retos actuales en la Producción de Caña de Azúcar*. <https://www.intagri.com/articulos/noticias/retos-actuales-en-la-produccion-de-cana-de-azucar>
- IoT Milesight. (2023). Sistemas de riego para la agricultura sostenible en Australia, ¿cómo han sido mejorados? *IoT- Internet de las cosas*, 2. <https://humanizationoftechnology.com/sistemas-de-riego-para-la-agricultura-sostenible-en-australia-como-han-sido-mejorados/revista/iot/05/2023/>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Jiménez, M. (2025). Guía para la elaboración de Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis de Pruebas de Diagnóstico. Un manual para uso docente de pregrado. *Zenodo*. Primera

- edición, Santiago de Chile, 79. <https://doi.org/10.5281%2520/%2520zenodo.15645235>
- Kew. (2012). *Plants & Fungi: Saccharum officinarum* (sugar cane). Royal Botanical Gardens. <https://web.archive.org/web/20120604003442/http://www.kew.org/plants-fungi/Saccharum-officinarum.htm>
- Linnenluecke, M. K., Zhou, C., Smith, T., Thompson, N., & Nucifora, N. (2020). The impact of climate change on the Australian sugarcane industry. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118974. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118974>
- López-Rodríguez, C. E., Urrego, C. P., & Tunjuelo, A. R. U. (2023). Propuesta metodológica para la adopción de buenas prácticas en agricultura sostenible dirigida a productores colombianos. *Producción + Limpia*, 18(1), Article 1. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a7>
- Luna, F. W., Estrada, M. H., Morales, M. E., & Rivera, O. Á. (2023). Estrés por déficit hídrico en plantas: Una revisión. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 31(1), Article 1. <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/10498>
- Maggi, T., & Chreil, R. (2024). Biología del pulgón de la caña de azúcar y manejo integrado de plagas. *Crop Pests*, 5, 111-117. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25954.95683>
- MINAG-CITMA. (2023). *Comportamiento histórico de plagas reglamentadas y no reglamentadas que afectan a cultivos de interés económico. Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos por desastres sanitarios epifitias en Guantánamo* [No publicado].
- NASA, C. (2023). *El calentamiento lleva a sequías y precipitaciones extremas más frecuentes e intensas*. <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/el-calentamiento-hace-que-las-sequias-y-las-precipitaciones-extremas-sean-mas-frecuentes-e-intensas/>
- NASA, C. (2024). Los efectos del cambio climático. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/los-efectos-del-cambio-climatico/>
- Needham, J. (2000). *Science And Civilisation In China. Vol. 6, Biology And Biological Technology*. <http://archive.org/details/science-and-civilisation-in-china.-vol.-6-biology-and-biological-technology-par>
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E., Íñiguez, C. M., & Montero, M. M. J. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1-11. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952011000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Oliveira, L. P. M. de, Silva, F. D. dos S., Costa, R. L., Rocha, R. L. da, Gomes, H. B., Pereira, M. P. S., Monteiro, L. A., & Silva, V. de P. R. da. (2021). Impacto das Mudanças Climáticas na Produtividade da Cana de Açúcar em Maceió. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, 969-980. <https://doi.org/10.1590/0102-77863550107>
- ONEI. *Anuario estadístico de Cuba 2024. Edición 2025*. https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2025-07/01-territorio_aec2024_0.pdf
- Pantaleón P. Genaro. (s.f.). Impacto del estrés hídrico por sequía y soluciones biotecnológicas para mitigar el cambio climático en el cultivo de la caña de azúcar. 15 p. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiiba/Consulta/verDoc.aspx?num=1675>
- Peña, V. T. (2022). Etapas del análisis de la información documental. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 45(3), 1-7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179072898004>
- Pipitpukdee, S., Attavanich, W., & Bejranonda, S. (2020). Climate Change Impacts on Sugarcane Production in Thailand. *Atmosphere*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/atmos11040408>
- Quiroga, I. A. (2016). *Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos*. <https://www.croplifela.org/es/actualidad/impactos-del-cambio-climatico-en-la-incidencia-de-plagas-y-enfermedades-de-los-cultivos>
- Ramírez, B. P. S. (2018). *Efectos del cambio climático en los cultivos de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en México y el Mundo* [Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa]. <https://doi.org/10.24275/uami.5999n3413>
- Reinosa, V. M., Canciano, F. J., Hernández, G. A., Ordoñez, S. Y. C., & Figueroa, B. I. (2018). Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. *Tecnología Química*, 38(2), 437-445. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852018000200020&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rios, R. L. F., Moreno, B. D., & Bejarano, M. C. H. (2022). Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca. *Ingeniería y Competitividad*, 24(02), Article 02. <https://doi.org/10.25100/iyv.v24i02.11264>
- Rivulis. (2019). SDI–Sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. *Rivulis*. <https://pt.rivulis.com/crop/irrigacao-subterranea-sdi/>
- Rodríguez, E. N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta* (1.ª ed.). FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/30b955f2-9989-4629-9782-b67dfa518841>
- Rodríguez Lagunes. (2016). *Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades de la Caña de Azúcar*. <https://>

www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-plagas-y-enfermedades-de-la-cana

- Rodríguez-Cardoso, T. M., Castellanos, G. L., & Rodríguez, D. I. (2011). *Plagas, enfermedades y malezas de la caña de azúcar y su manejo en la Empresa Melanio Hernández*. Universo Sur. https://www.researchgate.net/publication/324521502-Plagas_enfermedades_y_malezas_de_la_cana_de_azucar_y_su_manejo_en_la_Empresa_Melanio_Hernandez
- SAGARPA. (2015). Uso consuntivo del agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Nota Técnica Informativa. México. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=646>
- Salvatierra, C. (2009). *Guatemala: Los amargos impactos de la caña de azúcar*. Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. <https://www.wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin/guatemala-los-amargos-impactos-de-la-cana-de-azucar>
- Samá, M. D., Zenea, M. M., & Isaac, G. C. L. (2024). Cadena productiva del azúcar de caña: Acciones para su sostenibilidad en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Héctor Molina Riaño”. *Centro Azúcar*, 51(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612024000300007&lng=e&nrm=iso&tlng=es
- Sangsak, S., Thepsuwan, S., & เทพสุวรรณ, ส. (2010). Sugar Cane Pests' Outbreak in Chonburi Province, Thailand: Impacts and Control. *Environment and Natural Resources Journal*, 8(3), 48-58. <https://repository.li.mahidol.ac.th/entities/publication/d8c3f5a9-4c03-4c73-bce3-94d1e9163c54>
- Santana, A. I., González, M., Guillén, S. S., & Crespo, L. R. (2021). *Instructivo Técnico para el Manejo de la Caña de Azúcar* (2da. Ed. Instituto de Investigaciones de la Caña de azúcar). https://www.researchgate.net/publication/352651899-Instructivo_Tecnico_para_el_Manejo_de_la_Cana_de_Azucar
- Silva, de M. W. K., Pinto, de F. G., Coelho, J. L. M., Pinto, de A. P. A. L., & Abrahão, R. (2019). Effects of climate change on sugarcane production in the state of Paraíba (Brazil): A panel data approach (1990–2015). *Climatic Change*, 154(1), 195-209. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02424-7>
- Taratima, W., Ritmaha, T., Jongrungklang, N., Maneerattanarungroj, P., & Kunpratun, N. (2020). Efecto del estrés sobre la anatomía foliar de cultivares de caña de azúcar con diferente tolerancia a la sequía (*Saccharum officinarum*, Poaceae). *Revista de Biología Tropical*, 68(4), 1159-1170. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.41031>
- Tauta, M. J. L., Camacho, T. J. H., Rodríguez, B. G. A., Sánchez, J. R. J., & Pulido, B. V. C. (2022). Pérdida de suelo por erosión hídrica superficial en caña de azúcar para producción de panela. *Informador técnico*, 87(2), 3-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8957650>
- Terrero, A. (2018). Cambio climático amarga el azúcar cubano. <https://www.ipscuba.net/sin-categoria/cambio-climatico-amarga-el-azucar-cubano/>
- Tomadin, F. G. (2025). *India enfrenta una crisis ambiental: Calor extremo y escasez de agua agravan la situación*. <https://www.infobae.com/america/mundo/2025/02/13/india-enfrenta-una-crisis-ambiental-calor-extremo-y-escasez-de-agua-agravan-la-situacion/>
- Verma, K. K., Song, X.-P., Xu, L., & Bhatt, R. (2024). *Sugarcane Production Environmental Impacts and Socioeconomic Issues* (1st ed.). <https://www.appleacademicpress.com/sugarcane-production-environmental-impacts-and-socioeconomic-issues/9781779641120>
- Vilela, M. de M., Del Bem, L. E., Van Sluys, M.-A., de Setta, N., Kitajima, J. P., Cruz, G. M. Q., Sforça, D. A., de Souza, A. P., Ferreira, P. C. G., Grativol, C., Cardoso-Silva, C. B., Vicentini, R., & Vincentz, M. (2017). Analysis of Three Sugarcane Homo/Homeologous Regions Suggests Independent Polyploidization Events of *Saccharum officinarum* and *Saccharum spontaneum*. *Genome Biology and Evolution*, 9(2), 266-278. <https://doi.org/10.1093/gbe/evw293>
- Villegas T. F. (2010). Maduración y crecimiento de la caña de azúcar. Carta Trimestral. Cenicaña. 32 (1 y 2): 47-54. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Colombia. https://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_trimestral/ct2010/ct1y2_10/ctly2_10_p47-54.pdf
- Wilson, B. E., Salgado, L., & Villegas, J. M. (2022). Optimizing chemical control for *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane. *Crop Protection*, 152, 105843. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105843>
- ZafraNet. (2024). *India ajusta a la baja su estimación de azúcar: Exportaciones en riesgo*. <https://www.zafranet.com/noticias/india-ajusta-a-la-baja-su-estimacion-de-azucar-exportaciones-en-riesgo/>
- Zhao, D., & Li, Y.-R. (2015). Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. *International Journal of Agronomy*, 2015(1), 547386. <https://doi.org/10.1155/2015/547386>