

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de agua y enfermedades en banano, plátano y piña: revisión sistemática

Marcelo Gamboa-Agüero¹, Laura Benegas-Negri², David Gómez-Castillo³, Alexander Coles⁴ & Mauricio Serrano⁵

1. Universidad de Costa Rica, Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, San José, Costa Rica; marcelo.gamboa@ucr.ac.cr
2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica; laura.benegas@catie.ac.cr
3. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial, San José, Costa Rica; david.gomez@ucr.ac.cr
4. Universidad Estatal de Florida, Campus República de Panamá, Ciudad del Saber, Panamá; acoles@fsu.edu
5. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC), San José, Costa Rica; mauricio.serrano@ucr.ac.cr

Recibido 12-XI-2025 • Corregido 16-II-2026 • Aceptado 6-III-2026

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v18i1.6195>

ABSTRACT. “Nature-Based Solutions for Water and Disease Management in Banana, Plantain, and Pineapple: A Systematic Review. (Review)” **Introduction:** Banana, plantain, and pineapple value chains contribute significantly to the economy of Central America but face major environmental challenges. **Objective:** To systematize nature-based solutions applicable to water and disease management across the production, post-harvest, and processing stages of these crops, based on scientific research published during the last five years. **Methods:** We conducted a systematic review following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses 2020 guidelines. We searched articles published between 2020 and 2024 in indexed journals in SciELO and Scopus and selected forty studies. We analyzed the studies using inductive thematic analysis and complemented this approach with a deductive assessment of research origins and methodological applicability. **Results:** Research on water management mainly focused on the processing stage. For banana and plantain, the most frequent topics included adsorption of water contaminants, use of by-products and waste, and development of new applications. For pineapple, studies primarily addressed the use of by-products and waste. Research on disease management concentrated on banana and plantain and emphasized antagonistic microorganisms, crop and soil management practices, and natural products, including the production of antagonists from pineapple residues. Most studies relied on controlled experimental designs. **Conclusion:** Although the scientific literature is diverse and highlights important advances in processing-stage innovations and disease control in banana and plantain, research under field and agro-industrial conditions remains limited, particularly for pineapple.

Keywords: Musa, Ananas, biocontrol, bio input, fusariosis, anthracnosis, biosorption.



RESUMEN. Introducción: las cadenas de valor del banano, el plátano y la piña contribuyen significativamente a la economía de América Central, pero enfrentan importantes desafíos ambientales. **Objetivo:** sistematizar las soluciones basadas en la naturaleza aplicables a la gestión del agua y enfermedades durante producción, poscosecha y procesamiento, basándose en la investigación científica publicada durante los últimos cinco años. **Métodos:** aplicamos las directrices de los Ítems de Referencia para la Publicación de Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA) 2020. Buscamos artículos publicados entre 2020 y 2024 en revistas indexadas en SciELO y Scopus, seleccionando cuarenta estudios. Aplicamos un enfoque temático inductivo y una evaluación deductiva del origen de las investigaciones y su aplicabilidad metodológica. **Resultados:** la investigación sobre la gestión del agua se centró en la etapa de procesamiento. Para el banano y el plátano, los temas más frecuentes incluyeron la adsorción de contaminantes del agua, el uso de subproductos y residuos, y el desarrollo de nuevas aplicaciones. En el caso de la piña, los estudios abordaron primordialmente el aprovechamiento de subproductos y desechos. El manejo de enfermedades se concentró en el banano y el plátano, enfatizando el uso de microorganismos antagonistas, manejo de cultivos y suelos, y productos naturales, incluyendo la producción de antagonistas con residuos de piña. La mayoría se basó en diseños experimentales controlados. **Conclusión:** aunque la literatura científica es diversa y destaca avances importantes de procesamiento y control de enfermedades en banano y plátano, la investigación en campo y agroindustriales sigue siendo limitada, particularmente para la piña.

Palabras clave: Musácea, ananá, control biológico, bioinsumo, fusariosis, antracnosis, bioadsorción.

La biodiversidad asociada a los sistemas de producción es esencial para la regulación hídrica y el control de plagas (FAO, 2022). Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) han ganado reconocimiento por acuerdos internacionales (Olmos Carbonell, 2025). Son estrategias que aprovechan los recursos naturales y organismos vivos (United Nations Environment Programme, 2022). Abarcan enfoques basados en ecosistemas (Meza, 2024). Pueden contribuir a la calidad del suelo (Mrunalini et al., 2022), el alivio del cambio climático y la mitigación de inundaciones (Zandersen et al., 2021). Son alternativas y complementos a la infraestructura gris para desafíos hídricos (Santos, 2025). Son sitio-específicas (Debele et al., 2023). Emulan principios, procesos y sistemas biológicos, es prioritario avanzar en su investigación (Meza y Rodríguez, 2022).

Las cadenas de banano (*Musa paradisiaca* L.), piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) y plátano (*Musa balbisiana* Colla) son relevantes en la economía y medios de vida rurales de Centroamérica. Las estadísticas de FAOSTAT (2025) indican que, en 2023 estos rubros estuvieron entre las 20 principales materias primas agropecuarias producidas (toneladas) en Belice, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, y sólo el plátano en El Salvador.

El cambio climático afecta negativamente a la agricultura (Holleman et al., 2020) y compromete la seguridad hídrica (UN-Water, 2013). Se requieren soluciones integradas de manejo de aguas (FAO, 2023). El rendimiento de banano depende del drenaje y el riego (Ploetz et al., 2015). Es necesario transitar hacia prácticas agrícolas más sostenibles (Piñeiro et al., 2020). La economía circular es una oportunidad (Peña et al., 2021) y un reto para la industria de la piña y del banano (Campos et al., 2020).

El suministro de alimentos depende de la respuesta ante brotes de enfermedades (Carvajal-Yepes et al., 2019). El uso de plaguicidas conlleva externalidades negativas (Hernández y Chaves, 2022). Los límites máximos de residuos de plaguicidas interfieren con el comercio (Hejazi et al., 2022). Corresponde impulsar el manejo integrado (Richard et al., 2022). Hay esfuerzos relevantes de control de las enfermedades con agentes de biocontrol o productos naturales (Scortichini, 2022).

Ploetz et al. (2015) indican que son enfermedades emergentes letales del banano: el marchitamiento por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. *cubense* (E. F. Sm.) W. C. Snyder & H. N. Hansen, abreviado "FocR4T"), la enfermedad de la sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis* (M. Morelet) Deighton), la enfermedad del moko (*Ralstonia solanacearum* (Smith, 1896) Yabuuchi et al. 1996, raza 2) y la sangre (*Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* Safni et al., 2014). Tripathi et al. (2022) señalan que el marchitamiento por *Xanthomonas* del banano (*Xanthomonas campestris* (Pammel, 1895) Dowson, 1939 (Approved Lists, 1980) pv. *musacearum*) impacta sustancialmente la producción.

Los agentes de control biológico podrían reducir la incidencia de FocR4T en musáceas (Olivares et al., 2021). Se puede controlar parcialmente la sigatoka negra con tratamiento químico (Strobl y Mohan, 2020) y se la puede manejar ajustando el riego al patrón climático (Yonow et al., 2019).

La piña minimiza la pérdida de agua (Ríos et al., 2020). Su cultivo requiere gran cantidad de fertilizantes (Rothé et al., 2019). Varias enfermedades pueden afectar la cantidad y la calidad de la fruta (Sapak y Nusaibah, 2024), en Costa Rica, Blanco Meneses et al. (2022) identificaron en este cultivo seis especies del género *Fusarium*, mientras que Montiel Segura (2015), además de ese género, mencionó la pudrición negra del fruto (*Ceratocystis paradoxa* (Dade) C. Moreau).

Hay presiones para un manejo más natural y ecosistémico de aguas y enfermedades en las cadenas de suministro de banano, el plátano y la piña en Centroamérica. Interesa conocer cómo ha reaccionado la ciencia ante el nuevo paradigma tecnológico de SbN y cuáles son las eventuales líneas de investigación emergentes. Tenemos el objetivo de sistematizar SbN aplicables al manejo de aguas y enfermedades en la producción, postcosecha y procesamiento estos tres rubros, a partir de la evidencia científica publicada en revistas indexadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Seguimos la metodología de revisión sistemática PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) actualizada al año 2020 (Page et al., 2021) que se emplea en gestión ambiental (Mohamed Shaffril et al., 2018). Permite clasificar investigaciones y, eventualmente, compararlas (Sibhatu y Qaim, 2018). Buscamos en las bibliotecas virtuales de Scopus (en inglés, español, portugués y francés) y de SciELO (en español) los artículos de investigación publicados en revistas indexadas durante el quinquenio de enero 2020 a diciembre de 2024 con enfoque en áreas temáticas y revistas afines a lo agrícola y ambiental.

En SciELO buscamos: ((ti:(piña)) OR (ti:(banano)) OR (ti:(plátano))) AND (((natural*) OR (agua*) OR (enfermedad*))) AND (((((((((((manejo) OR (soluci*) OR (práctica*) OR (tecnol*) OR (restauraci*) OR (conservaci*) OR (adaptaci*) OR (riego) OR (inundaci*) OR (paisaj*) OR (ecol*) OR (ecosist*) OR (bio*) OR (orgánic*)))))))))). En Scopus se acotó la búsqueda a: TITLE ("pineapple*" OR "banana*" OR "plantain*") AND TITLE-ABS-KEY ((("natur*") AND ("water" OR "disease*") AND ("management" OR "solution*" OR "practice*" OR "techn*" OR "restor*" OR "conserv*" OR "adapt*" OR "irrigat*" OR "flood*" OR "landscape*" OR "*ecolog*" OR "*ecosystem*" OR "bio*" OR "organic")))).

Del listado de publicaciones arrojado por SciELO y Scopus descargamos los artículos integrales disponibles sin costo a través de los buscadores de Mendeley, Universidad de Costa Rica (UCR), *Web of Science (Sci-Hub)* y Google académico. Usamos el gestor bibliográfico Mendeley para organizar, leer, anotar y, finalmente, citar las referencias. En una planilla Excel™, tabulamos los registros (filas), los transcribimos, los resumimos y analizamos sus atributos (columnas).

Utilizamos dos razones sucesivas para excluir artículos descargados (criterios). La primera razón se aplicó tras la revisión del título, las palabras clave y el resumen. Fue por no investigar solución(es) de manejo de aguas y/o enfermedad(es) (por hongo o bacteria) en la producción, postcosecha y/o procesamiento de la piña, banano y/o plátano. Incluimos insumo(s), el fruto, otro(s) subproducto(s), transformación(es) y/o residuo(s). En el manejo de las aguas, incluimos insumo(s) y tejido(s) de cultivo(s) y transformación(es) agroindustrial(es). Excluimos artículos sobre productos sin relación con estos rubros, temas de investigación ajenos e investigaciones en ciencias básicas (no aplicadas al manejo).

Aplicamos la segunda razón tras la revisión del artículo completo. Fue por no tratarse de Solución(es) Basada(s) en la Naturaleza (SbN), al no: (i) emular principio(s), proceso(s) y/o sistema(s) biológico(s); (ii) incluir técnica(s) que utiliza(n) organismo(s) vivo(s), comunidad(es), hábitat(s) y/o paisaje(s); (iii) contribuir desde sistemas naturales a problemas técnicos de manejo; y/o (iv) proteger, conservar, restaurar, utilizar de manera sostenible y gestionar los ecosistemas. Revisamos el título, palabras clave y resumen de la bibliografía del proyecto de investigación y seleccionamos el conjunto de artículos indexados y publicados durante el quinquenio con pertinencia y adicionalidad. En total, incluimos 42 artículos científicos en la revisión (Fig. 1).

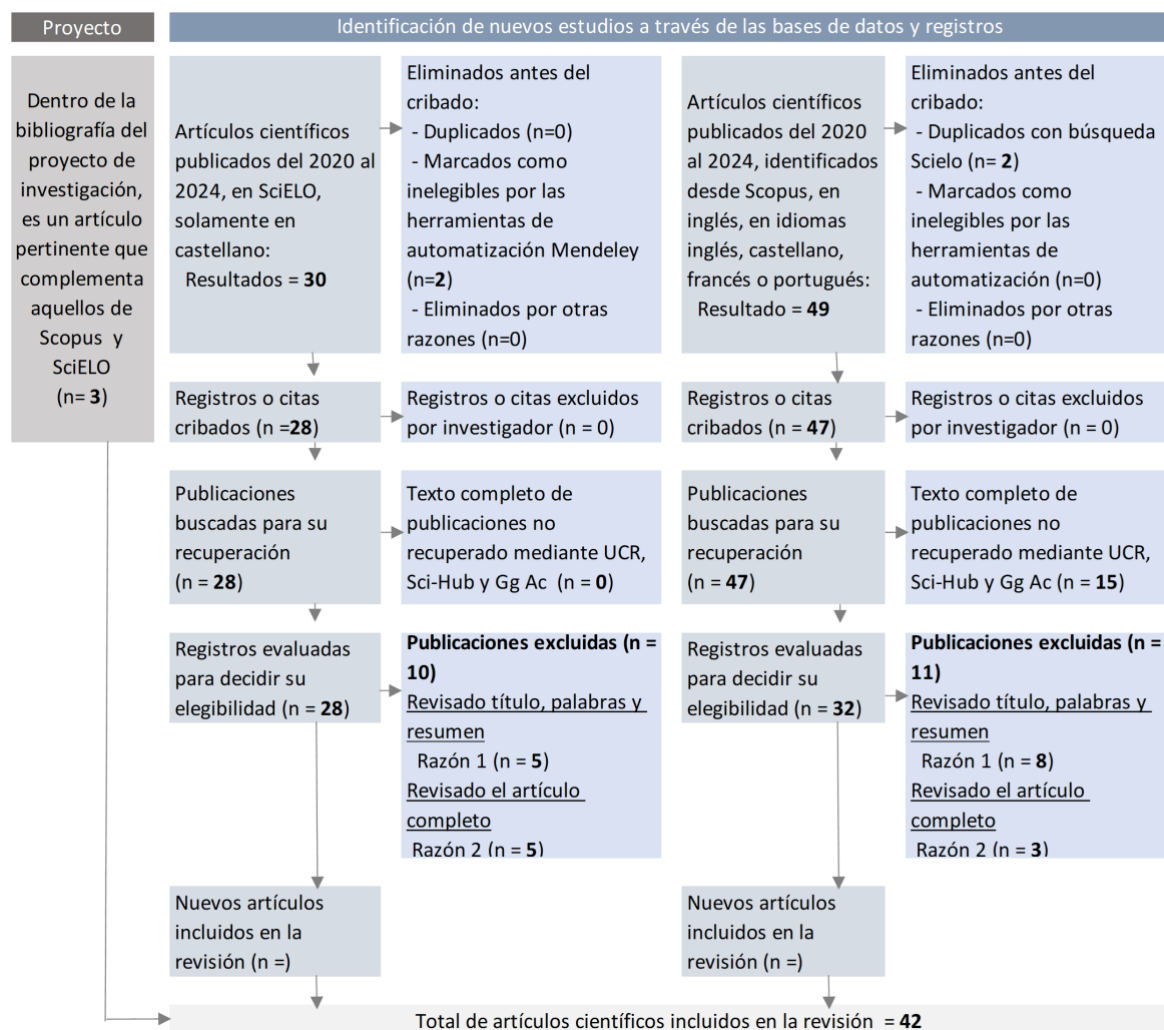


Fig. 1. Diagrama de la revisión sistemática PRISMA 2020 realizada

Se puede hacer un metaanálisis de los artículos incluidos en una revisión cuando son múltiples estudios cuantitativos en un dominio (Paul y Barari, 2022), mientras la amplitud y heterogeneidad de sus hallazgos no sea muy grande (Sah et al., 2021). Nuestra revisión de los artículos incorporados arrojó que su información sobre SbN es heterogénea y principalmente cualitativa. Los métodos inductivos cualitativos pueden generar conocimientos profundos y contextualizados (Jiang et al., 2021); entre ellos, el análisis inductivo temático obtiene de la lectura iterativa y reflexiva del material, diversos temas recurrentes y subtemas sin una teoría predeterminada (Sovacool et al., 2023).

Efectuamos un análisis inductivo temático a los artículos incorporados y observamos patrones de líneas de investigación y se perfilaron temas y subtemas representativos. De las introducciones y resúmenes de los artículos extrajimos la causa o la oportunidad que impulsó el tema (problema de investigación). Para ponderar sus limitaciones metodológicas en los artículos que pudieran llevar a sesgo, distinguimos enfoques teóricos y aplicados, y clasificamos en revisiones bibliográficas, investigaciones controladas (laboratorio, *in vitro*, *in vivo*, macetas) y ensayos de campo.

RESULTADOS

A. Manejo de las aguas

De los 42 artículos revisados, 24 aportaron SbN vinculadas con el manejo de las aguas, 16 de ellos abordaron el banano y/o el plátano, siete la piña y uno varios cultivos, 19 artículos emplearon métodos de investigación en condiciones controladas (TABLAS 1 y 2). En la etapa de producción, las SbN consistían en: insumo, contenido o solvente; en aquella de postcosecha: de contenido o solvente y en la de procesamiento: de insumo, ingrediente, solvente o adsorbente. Se investigaron diversos temas. El tema más frecuente de investigación fue la bioadsorción de contaminantes del agua. El artículo aplicable a varios cultivos sintetizó SbN de manejo del agua indirecta a través del mejoramiento del suelo.

De los artículos referidos a banano y/o plátano, en la etapa de producción, se investigaron SbN para complementar el riego del cultivo y para desarrollar plántulas. En la etapa de postcosecha se exploraron soluciones para atrasar la maduración y para inhibir el pardeamiento de la fruta. Se concentraron las investigaciones en la etapa agroindustrial (11 de 16 artículos) con opciones para: (i) descontaminar aguas vía bioadsorción, (ii) aprovechar subproductos y residuos en forma acotada (recubrimiento, suplemento y bioplástico) o circular (biorrefinería) e (iii) innovar en usos del producto (bebida, sustituto y revestimiento).

De los artículos sobre la piña no quedaron incluidos aquellos correspondientes a la etapa de producción. En postcosecha se publicó una investigación para mantener hidratada la fruta y otra para deshidratarla. Se investigó más la etapa agroindustrial (cinco de siete artículos), específicamente, soluciones basadas en el aprovechamiento de subproductos y residuos, principalmente, para fibras (tres artículos) y papel (2).

TABLA 1

Temas y subtemas, por rubro, de los artículos sobre manejo de las aguas

Rubros	Tema	Subtema	Fuente
Varios cultivos	Suelos para proveer agua	Agricultura natural, orgánica y biodinámica; estiércol, biofertilizantes, biocarbón, biogás y su lodo, y sedimentos, rocas y minerales, cenizas	(Mrunalini et al., 2022)
	Recursos hídricos no convencionales	Riego mediante infiltración de aguas grises	(Mudadu Silva et al., 2024)
		Riego combinando aguas de mar desalada y dulce	(Álvarez-Méndez et al., 2021)
	Estimulantes radicales orgánicos	Aporte de soluciones de vermicompost líquido y de ácido húmico en viveros	(Martínez et al., 2021)
	Retardo maduración de fruta	Efecto de recubrimiento de fruta con solución de quitosano (derivado de erizo de mar)	(Mendoza et al., 2021)
Banano y/o plátano	Preservación de plátanos	Inmersión en agua de coco contra pardeamiento de plátanos verdes cortados	(Sarkar et al., 2024)
	Bioadsorción de contaminantes del agua	Con polvo fino seco de hojas de plátano	(El-DougDoug et al., 2020)
		Con polvo de cáscara de plátano modificado	(Munagapati et al., 2020)
		Con solutos de plátano y banano	(Méndez-Cantillo et al., 2022)
		Con almidón de plátano como coagulante	(Villabona Ortiz et al., 2020)
	Subproducto natural para bebida	Zumo de pseudotallo de banano como ingrediente de una bebida	(Bravo-Solórzano et al., 2022)
	Subproducto para poscosecha tomate	Recubrimiento biodegradable a base de almidón oxidado de plátano	(Cedeño Sares et al., 2024)
	Biorrefinería de residuos	Conversión biológica de residuos de plátano con microorganismos y/o enzimas	(Gómez Soto et al., 2021)
	Insumos para generar bioplástico	Plástico degradable a partir de cáscara de plátano y celulosa del pseudotallo	(Alcivar-Gavilanes et al., 2022)
	Producto natural para una bebida	Jarabe de fruta de plátano como suplemento en una bebida	(Britto et al., 2020)
	Sustituto natural agroalimentario	Biomasa de plátano verde como sustituto de grasa en la mortadela de pollo	(Auriema et al., 2022)
	Encapsulación de mucílago de café	Revestimiento de almidón de plátano modificado	(Ríos-Hernández et al., 2024)
Piña	Retención de líquido en la fruta	Recubrimiento comestible de superficie con mucílago/gel de sábila	(Dussán-Sarria Saúl, 2023)
	Secado/deshidratado para conservación	Aporte a soluciones osmóticas de miel de abeja y jarabe de caña de azúcar	(Acea-del Sol y Sánchez-Iznaga, 2020)
	Aplicación de la economía circular	Bioetanol desde corazón fruta, fibra natural desde hojas de corona, papel desde cáscara	(Morales Apaza et al., 2021)
	Producción de tableros	Láminas de tablero fabricadas con hojas del rastrojo de la piña	(Morasilp y Sangkakool, 2024)
	Refuerzo de cementos	Fibras tratadas de corona de piña como material estructurante de un mortero	(Azevedo et al., 2020)
	Suelos para proveer agua	Biocarbón obtenido por pirólisis de cáscara de piña	(Chávez-García et al., 2020)
	Subproducto natural para bebida	Macerado de cáscara de piña como ingrediente de una bebida	(Bravo-Solórzano et al., 2022)

TABLA 2

Factor impulsor, tema y enfoque de los artículos sobre manejo de las aguas

Rubros	Causa u oportunidad	Tema	Método	Fuente
Varios cultivos	Relación agua-suelo-planta	Suelos para proveer agua	R. B.	(Mrunalini et al., 2022)
	Necesidades de riego	Recursos hídricos no convencionales	R. B. E. C.	(Mudadu Silva et al., 2024) (Álvarez-Méndez et al., 2021)
	Propagación y establecimiento cultivo	Estimulantes radicales orgánicos	E. C.	(Martínez et al., 2021)
Banano y/o plátano	Conservación de la fruta y su calidad	Retardo maduración de fruta	I. C.	(Mendoza et al., 2021)
		Preservación de plátanos		(Sarkar et al., 2024)
		Conservación de tomates <i>cherry</i> en ambiente		(Cedeño Sares et al., 2024)
	Potencial para descontaminar aguas	Bioadsorción de contaminantes del agua	I. C.	(El-Dougdoug et al., 2020) (Munagapati et al., 2020) (Méndez-Cantillo et al., 2022) (Villabona Ortíz et al., 2020)
	Otros usos subproducto(s) y/o residuo(s)	Subproducto natural para bebida	I. C.	(Bravo-Solórzano et al., 2022)
		Biorrefinería de residuos	R. B.	(Gómez Soto et al., 2021)
		Insumos para generar bioplástico	I. C.	(Alcívar-Gavilanes et al., 2022)
	Otros usos innovadores del producto	Producto natural para bebida	I. C.	(Britto et al., 2020)
		Sustituto natural agroalimentario		(Auriema et al., 2022)
		Encapsulado mucílago café		(Ríos-Hernández et al., 2024)
Piña	Conservación de la fruta y su calidad	Retención de líquido en fruta	I.C.	(Dussán-Sarria Saúl, 2023)
		Secado/deshidratado para conservación		(Acea-del Sol y Sánchez-Iznaga, 2020)
	Uso subproducto(s) y/o residuo(s)	Aplicación de la economía circular	I.C.	(Morales Apaza et al., 2021)
		Producción de tableros		(Morasilp y Sangkakool, 2024)
		Refuerzo de cementos		(Azevedo et al., 2020)
		Suelos para proveer agua		(Chávez-García et al., 2020)
		Subproducto natural para bebida		(Bravo-Solórzano et al., 2022)

R. B.: Revisión bibliográfica; I. C.: Investigación controlada; E. C.: Ensayo de campo

B. Manejo de las Enfermedades

Veintiún artículos de los 42 revisados aportaron SbN vinculadas con el manejo de enfermedades en las etapas de producción, postcosecha y procesamiento (TABLAS 3 y 4). Se presentó con mucha más frecuencia la investigación de los rubros banano y/o plátano (19 artículos). El método de investigación fue mayoritariamente controlado (14 artículos), seguido por la revisión bibliográfica (cinco). Los temas de investigación recurrentes fueron: (i) microorganismos antagonicos, (ii) buenas prácticas de manejo de cultivo/suelo y (iii) productos naturales.

TABLA 3

Temas y subtemas, por rubro, de artículos sobre manejo de enfermedades

Rubros	Tema	Subtema	Fuente
Varios cultivos	Manejo integrado/orgánico/natural de cultivo/suelo	Agricultura orgánica y de conservación, intensificación sostenible, control biológico, manejo integrado del cultivo y de plagas	(Richard et al., 2022)
		Bioprospección y caracterización de cepas nativas del género <i>Trichoderma</i> en rizosfera de banano	(Sánchez-Espinosa et al., 2020)
	Control con microorganismo(s) antagonico(s)	Potencial de cepa de <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai aislada en plantas de plátano (México)	(Sánchez-Espinosa et al., 2021)
		Activación de defensa en plantas de banano inoculadas con hongos y bacterias endófitos	(Savani et al., 2020)
		Potencial de quince endófitos fúngicos aislados del cultivar de banano naturalmente resistente	(Taping et al., 2023)
Banano y/o plátano	Manejo integrado/orgánico/natural de cultivo/suelo	Eficacia de extracto de caldo de fermentación de <i>Streptomyces sp.</i> de coral blando marino	(Wang et al., 2022)
		Cultivo de cobertura, enmiendas orgánicas, fertilizantes bioorgánicos, aplicación de microorganismos y de antagonistas, extractos botánicos y biocontroladores, aceites esenciales	(Aguilar-Ancota et al., 2021a)
		Prácticas de cultivo y del suelo, desinfección del suelo, supresión con poblaciones microbianas y biocontroladores	(Olivares et al., 2021)
	Microorganismo y producto natural	Eficacia de aplicaciones de compost orgánico y fertilizantes minerales	(Teixeira et al., 2022)
		Coberturas vegetales, enmienda orgánica, vermicompost, biocontroladores, microorganismos antagonistas, biopesticidas y ácido salicílico	(Aguilar-Ancota, Ruiz, et al., 2021b)
		Soluciones de <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai y de suero de leche agria	(Hongal et al., 2023)
	Tratamiento con producto(s) natural(es)	Eficacia de extracto de aceite esencial de plantas (limoncillo, eucalipto y <i>Melaleuca sp</i>)	(Beltrame et al., 2021)
		Efecto de recubrimiento de fruta con solución de quitosano (derivada de erizo de mar)	(Mendoza et al., 2021)
		Inmersión en agua de coco (antimicrobiana)	(Sarkar et al., 2024)
		Eficacia de extracto de orégano y de ácido cítrico	(Aguilar-Ancota et al., 2024)
		Potencial de aceite esencial de hojas de <i>Piper macedoi</i> Yunck.	(Batista et al., 2023)
		Evaluación de concentraciones de aceite esencial de <i>Melaleuca alternifolia</i> (Maiden & Betcher) Cheel	(da Costa Gonçalves et al., 2023)
		Efecto controlador de tratamientos con ácido feniláctico (presente en alimentos)	(Gao et al., 2024)
		Potencial de rociado de aerosol de miel silvestre con compuestos bacterianos del intestino de las abejas	(Selda Rivarez et al., 2021)
		Aditividad de extracto de canela y lipopéptidos de bacterias en retraso de Fusariosis	(Ramírez-Mejía et al., 2024)
	Producto natural y molécula bioactiva		
Piña	Producción de antagonistas para cultivos	Rastrojo de piña para producir esporas de cepas de <i>Trichoderma viride</i> Pers. y <i>T. harzianum</i> Rifai	(Vega Rodríguez y Hernández-Chaverri, 2020)

TABLA 4

Factor impulsor, tema y enfoque de los artículos sobre manejo de enfermedades

Rubros	Causa u oportunidad	Tema	Método	Fuente
Cultivos en general	Varias enfermedades del cultivo	Manejo integrado/orgánico/natural de cultivo/suelo	R. B.	(Richard et al., 2022)
			R. B.	(Sánchez-Espinosa et al., 2020)
		Control con microorganismo(s) antagonico(s)		(Sánchez-Espinosa et al., 2021)
			I. C.	(Savani et al., 2020)
				(Taping et al., 2023)
	Fusariosis (<i>Fusarium oxysporum</i> Schltdl.)	Manejo integrado/orgánico/natural de cultivo/suelo		(Wang et al., 2022)
			R. B.	(Aguilar-Ancota et al., 2021a)
		Tratamiento con producto(s) natural(es)		(Olivares et al., 2021)
			E. C.	(Teixeira et al., 2022)
			I. C.	(Ramírez-Mejía et al., 2024)
Banano y/o plátano	Complejo Sigatoka (<i>Pseudocercospora spp</i>)	Tratamiento con producto(s) natural(es)	I. C.	(Beltrame et al., 2021)
	Sigatoka amarilla (<i>Pseudocercospora musae</i> (Zimm.) Deighton)	Microorganismo y producto natural	E. C.	(Hongal et al., 2023)
	Enfermedad de la pudrición blanda (<i>Pectobacterium spp</i>)	Manejo integrado/orgánico/natural de cultivo/suelo	R. B.	(Aguilar-Ancota, Ruiz, et al., 2021b)
	Varias enfermedades de postcosecha	Tratamiento con producto(s) natural(es)	I. C.	(Mendoza et al., 2021)
	Carga microbiana en fruta	Tratamiento con producto(s) natural(es)	I. C.	(Sarkar et al., 2024)
	Antracnosis (<i>Colletotrichum musae</i> (Berk & M. A. Curtis))	Tratamiento con producto(s) natural(es)	I. C.	(Batista et al., 2023)
				(da Costa Gonçalves et al., 2023)
				(Gao et al., 2024)
				(Selda Rivarez et al., 2021)
	Antracnosis y Pudrición de la corona (<i>Ceratocystis paradoxa</i> (Dade) C. Moreau)	Tratamiento con producto(s) natural(es)	I. C.	(Aguilar-Ancota et al., 2024)
Piña	Uso subproducto(s) y/o residuo(s)	Producción de antagonistas para cultivos	I. C.	(Vega Rodríguez y Hernández-Chaverri, 2020)

R. B.: Revisión bibliográfica; I. C.: Investigación controlada; E. C.: Ensayo de campo

Con relación al banano y/o plátano, se investigaron soluciones de antagonistas naturales, endófitos y de los géneros *Trichoderma* y *Streptomyces*, buenas prácticas de manejo y un producto natural para la fusariosis (nueve artículos). Se exploraron productos naturales (aceites, soluciones, extractos, ácidos y compuestos) para controlar la antracnosis (cinco artículos). Se investigaron productos (aceites vegetales y suero leche) y antagonistas (*Trichoderma sp*) para la sigatoka (dos

artículos). Por otro lado, el único artículo sobre la piña abordó el aprovechamiento de su rastrojo para producir antagonistas del género *Trichoderma*.

DISCUSIÓN

Los artículos científicos en SbN revisados dan cuenta principalmente de investigaciones en condiciones controladas que ofrecen una amplia gama de opciones y dejan espacios para investigar soluciones en campo y agroindustria, y el desarrollo de algunas promisorias para estas cadenas agroalimentarias. Al respecto, Boros et al. (2025) mencionan largos procedimientos experimentales y altos costos de desarrollo que obstaculizan la innovación en sostenibilidad. Además de los aspectos técnicos y funcionales, sus costos y beneficios, Campobasso et al. (2025) señalan que la adopción de soluciones en las cadenas agroalimentarias depende de otros factores.

Fernandes y Guiomar (2018) señalan que las soluciones naturales contribuyen a varios procesos de descontaminación y de manejo de recursos naturales degradados. Las investigaciones sobre plátano y banano para la bioadsorción de contaminantes del agua encaja en el concepto de biosorbentes naturales modificados/sintéticos, planteado por Molebatsi et al. (2025). La biosorción es una tecnología atractiva (Legorreta-Castañeda et al., 2020), para la cual, los residuos agrícolas ofrecen fuentes abundantes y económicas (Molebatsi et al., 2025). La agroindustria del plátano genera gran cantidad de residuos (Ferreiro et al., 2024), su aprovechamiento sería un avance en la industrialización sostenible, para la cual Peña et al. (2021) afirman que la economía circular es un reto y una oportunidad.

La heterogeneidad de soluciones relacionadas con el manejo del agua se explica por la amplitud del marco conceptual en SbN, el cual Santos (2025) reafirma al señalar que el concepto es ambiguo para este propósito. Además de la necesidad de aplicar múltiples términos y prefijos en las búsquedas. También, por la inclusión de estos rubros como consumidores de SbN y como proveedores de ellas. Y, finalmente, por las diversas aguas involucradas en la producción y procesamiento de estos rubros.

Esta revisión omitió buscar opciones de manejo de las aguas combinadas con soluciones grises (infraestructura), nicho que se podría profundizar, pues Olmos Carbonell (2025) promueve un enfoque híbrido que combine las ventajas de ambas opciones. Por otro lado, el foco de esta revisión en rubros agroalimentarios puede complementarse con agroecosistemas que contengan estos rubros (fincas, instalaciones), en cuyo análisis temático se podrían probar las clasificaciones de SbN de Debele et al. (2023) y/o aquella de Keesstra et al. (2023). Las SbN se deberían estudiar de manera integrada para la seguridad hídrica de paisajes productivos.

Los microbiomas asociados a las plantas confieren ventajas a la planta huésped, incluida la resistencia a los patógenos (Trivedi et al., 2020). La búsqueda genérica de enfermedades bióticas en banano y plátano arrojó líneas de investigación en microbiología (antagonismo), buenas prácticas y circularidad (productos naturales) para fusariosis, antracnosis y sigatoka, hay un nicho para una revisión más profunda pues, al buscar enfermedades específicas como fusariosis, aparecen investigaciones como aquella de Ramírez-Mejía et al. (2024) sobre el efecto aditivo de dos SbN combinadas. Más allá de la investigación de pesticidas basados en productos naturales, Gwinn (2018) señala que muchos países invierten en su desarrollo.

Esta revisión evidencia las escasas investigaciones en SbN relacionadas con la piña para el manejo de enfermedades con un caso de aprovechamiento de residuos del cultivo para producir microbios antagonistas. Hay espacio para investigaciones afines que se relacionen con investigaciones en circularidad como las de Sarangi et al. (2023) y Morales Apaza et al. (2021), revisada en el capítulo relativo a las aguas. Respecto de la falta de investigación en SbN para el

manejo de enfermedades en la piña, Barbosa da Silva et al. (2023) presentan las principales enfermedades en Brasil e indican que se necesita más investigación de campo, especialmente de alternativas para su control.

Las cadenas de banano, plátano y piña disponen de SbN potencialmente aplicables al manejo de sus aguas y enfermedades. El método PRISMA 2020 contribuye a sistematizar dicha oferta científica y a divulgarla con miras a evaluaciones de opciones promisorias, su pilotaje y eventual escalamiento en fincas e instalaciones. Se perfilan líneas de investigación orientadas a la provisión de insumos para estas cadenas agroalimentaria y también por parte de ellas. Se ha investigado principalmente la etapa de procesamiento (aporte a la circularidad), el banano/plátano y en condiciones de laboratorio. La escasez de publicaciones científicas en condiciones de campo y agroindustria, y en el rubro de la piña, amerita un análisis adicional de sus causas. Corresponde avanzar en investigaciones en campo y agroindustria, a partir de líneas promisorias en condiciones controladas, previo análisis crítico de sus fundamentos metodológicos y mejoras en sus protocolos. También corresponde investigar más el manejo de las aguas durante la producción y el procesamiento, de manera específica (insumo, constituyente y efluente) e integrada (análisis de huella hídrica).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Costa Rica (UCR), al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Universidad del Estado de Florida (FSU) y la Universidad Estatal a Distancia (UNED).

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito, y no tenemos conflictos de intereses de ningún tipo. Un documento firmado ha sido archivado en los archivos de la revista. La declaración de la contribución de cada autor al manuscrito es la siguiente: M.G.A., L.B.N., D.C.G. y M.S.: diseño de la revisión sistemática. M.G.A.: ejecución de la revisión sistemática, sistematización y síntesis de los hallazgos. Todos los coautores: análisis y aportes a la discusión de los hallazgos, desde su especialidad, y aprobación final del manuscrito.



REFERENCIAS

- Acea-del Sol, D., & Sánchez-Iznaga, A. L. (2020). Combined dehydration of the pineapple for conservation TT - Deshidratación combinada de la piña para su conservación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(2), 74–83. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v29n2/2071-0054-rcta-29-02-74.pdf>
- Aguilar-Anccota, R., Apaza-Apaza, S., Maldonado D., E., Calle-Cheje, Y. H., Rafael-Rutte, R., Montalvo M., K. R., More-Yarleque, M. M., Chávez C., R., Chuquicusma C., P. L., & Morales-Pizarro, A. (2024). Control in vitro e in vivo de Thielaviopsis paradoxa y Colletotrichum musae con biofungicidas en frutos de banano orgánico. *Manglar*, 21(1), 57–63. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.006>
- Aguilar-Anccota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Fungi associated with necrosis of vascular bundles in organic banana crop: symptoms, isolation and identification, and integrated management alternatives. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249–256. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>
- Aguilar-Anccota, R., Ruiz, W. R., Morales-Pizarro, A., Rafael-Rutte, R., Tirado-Lara, J., Saucedo-Bazalar, M., Tuesta-Albán, C., Apaza-Apaza, S., & Teodor, K. K. (2021). Soft rot in organic banana pseudostem (Musasp):Symptomatology, cultural and biochemical characterization, pathogenicity,and management alternatives. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 571–578. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.061>
- Alcívar-Gavilanes, M. G., Carrillo-Anchundia, K. L., & Rieral, M. A. (2022). Development of a Bioplastic from Banana Peel TT - Desarrollo de un bioplástico a partir de residuos del plátano. *Ingeniería e Investigación*, 42(3). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- Álvarez-Méndez, S. J., Padrón-Armas, I., & Mahouachi, J. (2021). Irrigation management strategies through the combination of fresh water and desalinated sea water for banana crops in el hierro, Canary Islands. *Water Reuse*, 11(3), 464–474. <https://doi.org/10.2166/wrd.2021.078>
- Auriema, B. E., Correa, F. J., Silva, R., Soares, P. T. S., Lima, A. L., Vidal, V. A. S., Raices, R. S. L., Pollonio, M. A. R., Luchese, R. H., Esmerino, E. A., & Mathias, S. P. (2022). Fat replacement by green banana biomass: Impact on the technological, nutritional and dynamic sensory profiling of chicken mortadella. *Food Research International*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110890>
- Azevedo, A. R., Marvila, M. T., Zanelato, E. B., Alexandre, J., Xavier, G. C., & Cecchin, D. (2020). Development of mortar for laying and coating with pineapple fiber. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(3), 187–193. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p187-193>
- Barbosa da Silva, J. H., Batista Araújo, D., Alves de Andrade, F. H., Mota Toledo, L. C., Toledo Sales Júnior, G., Cândido Barreto, S. S., Carneiro da Silva, J. L., Da Silva Barbosa, J. M., Pontes Souza, J. M., Ribeiro Cavalcante, V., & Viagem, C. R. dos S. M. (2023). The main diseases in



the culture of pineapple: a review. *Scientific Electronic Archives*, 16(8).
<https://doi.org/10.36560/16820231761>

Batista, R. S., Costa, H., Parreira, L. A., de Oliveira Bernardes, C., de Abreu, K. M. P., & Menini, L. (2023). Essential oil of *Piper macedoi* Yunc. leaves, potential alternative for the management of banana anthracnose disease. *Journal of Natural Pesticide Research*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.napere.2023.100039>

Beltrame, A. B., Melchiorretto, B., Lone, A. B., & Rebelo, A. M. (2021). Bioactive plant prospecting for the sigatoka disease complex control of banana. *Revista Em Agronegocio e Meio Ambiente*, 14. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8997>

Blanco Meneses, M., Castro Zúñiga, O., & Umaña Rojas, G. (2022). Estudio preliminar de especies de *Fusarium* presentes en piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i1.49867>

Boros, A., Szólik, E., Desalegn, G., & Tózsér, D. (2025). A Systematic Review of Opportunities and Limitations of Innovative Practices in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 15(1), 1–40. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010076>

Bravo-Solórzano, R., Moreira-Mendoza, H., & Gavilanes-López, P. (2022). Formulación de una bebida hidratante nutritiva a partir del zumo de pseudotallo de banano y macerado de la cáscara de piña. *Tecnología Química*, 42, 246–264. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000200246&lang=es

Britto, G. C. S. de, Bécker, G., Soares, W. P., Nascimento, E., Rodrigues, E. C., Picanço, N. F. M., Faria, R. A. P. G. de, & Scabora, M. H. (2020). Bioactive compounds and physicochemical properties of dairy products supplemented with plantain and turmeric. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14720>

Campobasso, A. A., Frem, M., Petrontino, A., Tricarico, G., & Bozzo, F. (2025). Classification, Evaluation and Adoption of Innovation: A Systematic Review of the Agri-Food Sector. *Agriculture*, 15(17), 1845. <https://doi.org/10.3390/agriculture15171845>

Campos, D. A., Gómez-García, R., Vilas-Boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of fruit industrial by-products—a case study on circular economy approach. *Molecules*, 25(2). <https://doi.org/10.3390/molecules25020320>

Carvajal-Yepes, M., Cardwell, K., Nelson, A., A, G. K., Giovanni, B., Saunders, D. G. O., Kamoun, S., Legg, J. P., Verdier, V., Lessel, J., Neher, R. A., Day, R., Pardey, P., Gullino, M. L., Records, A. R., Bextine, B., Leach, J. E., Staiger, S., & Tohme, S. (2019). A global surveillance system for crop diseases, Global preparedness minimizes the risk to food supplies. *Science*, 364(6447), 1237–1240. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1572>

Cedeño Sares, L. A., Casariego Año, A., García Pérez, M. A., Jumbo Peña, N. D., & Machuca Román, J. V. (2024). Coating of oxidized banana starch and olive oil for the preservation of cherry



- tomatoes (*Solanum lycopersicum* cv. *Cerasiforme*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(3), 10853–10864. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.109200>
- Chávez-García, E., Aguillón-Martínez, J., Sánchez-González, A., & Siebe, C. (2020). Characterization of untreated and composted biochar derived from orange and pineapple peels. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 413–427. <https://doi.org/10.20937/RICA.53591>
- da Costa Gonçalves, D., Ribeiro, W. R., Gonçalves, D. C., Dian, V. S., da Silva Xavier, A., de Oliveira, Á. A., Menini, L., & Costa, H. (2023). Use of *Melaleuca alternifolia* essential oil as an efficient strategy to extend the shelf life of banana fruits. *Biochemical Systematics and Ecology*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104641>
- Debele, S. E., Leo, L. S., Kumar, P., Sahani, J., Ommer, J., Bucchignani, E., Vranić, S., Kalas, M., Amirzada, Z., Pavlova, I., Shah, M. A. R., Gonzalez-Ollauri, A., & Di Sabatino, S. (2023). Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: A global analysis of NBS case studies. *Science of the Total Environment*, 902(July). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165824>
- Dussán-Sarria Saúl, B.-C. S. D. B.-D. E. M. (2023). Efecto de un recubrimiento comestible a base de aloe vera en piña (*Ananas comosus*) Oro Miel mínimamente procesada. *Información Tecnológica*, 34, 11–20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000100011>
- El-DougDoug, N. K., Nasr-Eldin, M. A., Azzam, M. I., Mohamed, A. A., & Hazaa, M. M. (2020). Improving wastewater treatment using dried banana leaves and bacteriophage cocktail. *Egyptian Journal of Botany*, 60(1), 199–212. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2019.7597.1295>
- FAO. (2022). *Framework for Action on Biodiversity for Food and Agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. <https://doi.org/10.4060/cb8338en>
- FAO. (2023). *Marco conceptual de la FAO para la ordenación integrada de los recursos de tierras y aguas*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/nn077es>
- FAOSTAT. (2025). *Producción, productos por país*. Recuperado el 10 de septiembre de 2025 desde https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country
- Fernandes, J. P., & Guiomar, N. (2018). Nature-based solutions: The need to increase the knowledge on their potentialities and limits. *Land Degradation and Development*, 29, 1925–1939. <https://doi.org/10.1002/ldr.2935>
- Ferreiro, O., Ávila Martín, L., Caicedo Chacón, W. D., Duarte, S., Perilla, J. E., & Ayala Valencia, G. (2024). Valorization of Agro-Industrial Plantain (*Musa × paradisiaca*) By-Products: Alternative Sources of Carbohydrates and Bioactive Compounds. *Starch - Stärke*, 76(5–6). <https://doi.org/10.1002/star.202300210>

- Gao, Y., Li, Y., Li, F., Zhang, H., Chen, J., & Yuan, D. (2024). Phenyllactic acid treatment for controlling anthracnose disease (*Colletotrichum musae*) and preserving banana fruit quality during storage. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102181>
- Gómez Soto, J. A., Sánchez Toro, Ó. J., & Matallana Pérez, L. G. (2021). Procesos de Transformación: Perspectiva de Aprovechamiento para los Residuos de la Agroindustria del Plátano TT - Processes of Transformation: Perspective of use for the Residues of the Plantain Agro-industry TT - Processos de Transformação: Perspectiva. *Producción + Limpia*, 16(1), 6–30. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a1>
- Gwinn, K. D. (2018). Bioactive Natural Products in Plant Disease Control. In *Studies in Natural Products Chemistry* (1st ed., Vol. 56). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00007-8>
- Hejazi, M., Grant, J. H., & Peterson, E. (2022). Trade impact of maximum residue limits in fresh fruits and vegetables. *Food Policy*, 106(December 2021), 102203. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102203>
- Hernández Blanco, M., & Chaves Méndez, N. (2022). *Impacto potencial de los plaguicidas sobre el capital natural y sus servicios ecosistémicos en Costa Rica* (J. Daniel Estrada, R. Sánchez Mora, C. Cortez Sosa, & I. Hernández (eds.)). PNUD-Costa Rica. <https://impactoplaguicidas.cr/repositorio/impacto-potencial-de-los-plaguicidas-sobre-el-capital-natural-y-sus-servicios-ecosistemicos-en-costa-rica/>
- Holleman, C., Rembold, F., Crespo, O., & Conti, V. (2020). The impact of climate variability and extremes on agriculture and food security - An analysis of the evidence and case studies. Background paper for The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. In *The impact of climate variability and extremes on agriculture and food security - An analysis of the evidence and case studies. Background paper for The State of Food Security and Nutrition in the World 2018*. FAO Agricultural Development Economics Technical Study No. 4. www.fao.org/economic/esa/technical-studies
- Hongal, S., Raghunatha, R., Gurumurthy, S. B., Parameswarappa, M. H., Meti, S., & Bhat, D. S. (2023). Evaluation of different management practices against yellow Sigatoka disease of banana (*Musa spp.*) caused by *Mycosphaerella musicola* Leach. *Environment Conservation Journal*, 24(4), 75–80. <https://doi.org/10.36953/ECJ.22942591>
- Jiang, J. A., Wade, K., Fiesler, C., & Brubaker, J. R. (2021). Supporting Serendipity: Opportunities and Challenges for Human-AI Collaboration in Qualitative Analysis. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CSCW1), 1–23. <https://doi.org/10.1145/3449168>
- Keesstra, S., Veraart, J., Verhagen, J., Visser, S., Kragt, M., Linderhof, V., Appelman, W., van den Berg, J., Deolu-Ajayi, A., & Groot, A. (2023). Nature-Based Solutions as Building Blocks for the Transition towards Sustainable Climate-Resilient Food Systems. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054475>

- Legorreta-Castañeda, A. J., Lucho-Constantino, C. A., Beltrán-Hernández, R. I., Coronel-Olivares, C., & Vázquez-Rodríguez, G. A. (2020). Biosorption of water pollutants by fungal pellets. *Water (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/W12041155>
- Martínez, G., Rey, J. C., Pargas, R., Guerra, C., Manzanilla, E., & Ramírez, H. (2021). Efecto de sustratos y fuentes orgánicas en la propagación de banano y plátano TT - Effect of the different substrates and organic sources on Musa propagation. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 808–822. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.42490>
- Méndez-Cantillo, N., Rodríguez-Díaz, Y. J., & Rodríguez-Jiménez, D. M. (2022). Análisis del plátano y banano (*Musa paradisiaca* L.) como coagulante para el tratamiento de afluentes TT - Analysis of plantain and banana (*Musa paradisiaca* L.) as coagulants for the treatment of tributaries. *Información tecnológica*, 33(6), 125–134. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000600125>
- Mendoza, B. M. C., Magalang, N. I. V., Lalo, A. B. M., & Ureta, R. (2021). Ripening delay of ‘Saba’ banana using chitosan coating material from the test wastes of Philippine blue-eyed sea urchin. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(4), 566–571. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2021.10.4.566-571>
- Meza, L. E. (2024). *Soluciones Basadas en la Naturaleza del Sector AFOLU de la Región SICA*. Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC). https://www.sica.int/documentos/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-del-sector-afolu-de-la-region-sica_1_134369.html
- Meza, L. E., & Rodríguez, A. G. (2022). *Soluciones basadas en la naturaleza y la bioeconomía Contribución a una transformación sostenible e inclusiva de la agricultura y a la recuperación pos-COVID-19* (Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 210 (LC/TS.2022/43)). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47886/1/S2200230_es.pdf
- Mohamed Shaffril H. A., Krauss, S. E., & Samsuddin, S. F. (2018). A systematic review on Asian’s farmers’ adaptation practices towards climate change. *Science of the Total Environment*, 644, 683–695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.349>
- Molebatsi, M., Nkoane, B., Keroletswe, N., Chigome, S., & Kabomo, M. T. (2025). The Use of Biosorbents in Water Treatment. *Environments*, 12(9), 302. <https://doi.org/10.3390/environments12090302>
- Montiel Segura, M. (2015). Uso de agroquímicos en la producción intensiva de piña en Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual. Universidad de Costa Rica - Sede de Occidente*, 15(25), 183–195. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5821464>
- Morales Apaza, D. N., Condori Choque, A., & Torrez Torrez, D. A. (2021). Aplicación de la Economía Circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*) TT - Application of the Circular Economy Through the Maximum Use of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Acta Nova*, 10(1), 42–60. <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n1/v10n1-a03.pdf>

- Morasilp, D., & Sangkakool, T. (2024). Process optimization and material characterization of fiberboards produced from pineapple leaf waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(3), 1480–1489. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01899-6>
- Mrunalini, K., Behera, B., Jayaraman, S., Abhilash, P. C., Dubey, P. K., Swamy, G. N., Prasad, J. V. N. S., Rao, K. V., Krishnan, P., Pratibha, G., & Srinivasa Rao, C. (2022). Nature-based solutions in soil restoration for improving agricultural productivity. *Land Degradation and Development*, 33, 1269–1289. <https://doi.org/10.1002/ldr.4207>
- Mudadu Silva, J. R., Carraro Borges, A., Lüthi, C., Spuhler, D., & Alves Fernandes, R. B. (2024). The banana tree circle as a nature-based solution for sustainable greywater management: A new design model. *Water Science and Technology*, 89(9), 2240–2253. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.141>
- Munagapati, V. S., Wen, J. C., Pan, C. L., Gutha, Y., Wen, J. H., & Reddy, G. M. (2020). Adsorptive removal of anionic dye (Reactive Black 5) from aqueous solution using chemically modified banana peel powder: kinetic, isotherm, thermodynamic, and reusability studies. *International Journal of Phytoremediation*, 22(3), 267–278. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1658709>
- Olivares, B. O., Rey, J. C., Lobo, D., Navas-Cortés, J. A., Gómez, J. A., & Landa, B. B. (2021). Fusarium wilt of bananas: A review of agro-environmental factors in the venezuelan production system affecting its development. *Agronomy*, 11(986), 1–23. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>
- Olmos Carbonell, E. (2025). *Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión del agua : potencial , desafíos y política de investigación de la Unión Europea Nature-based Solutions for water management : potential , challenges and research policy of the European Union*. 7, 149–167. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad.28630>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Paul, J., & Barari, M. (2022). Meta-analysis and traditional systematic literature reviews—What, why, when, where, and how? *Psychology & Marketing*, 39(6), 1099–1115. <https://doi.org/10.1002/mar.21657>
- Peña, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Caldeira-Pires, A., Weidema, B., Mieras, E., Wang, F., Fava, J., Milà i Canals, L., Cordella, M., Arbuckle, P., Valdivia, S., Fallaha, S., & Motta, W. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 215–220. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>

- Piñeiro, V., Arias, J., Dürr, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Kinengyere, A., Opazo, C. M., Owoo, N., Page, J. R., Prager, S. D., & Torero, M. (2020). A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>
- Ploetz, R. C., Kema, G. H. J., & Ma, L.-J. (2015). Impact of Diseases on Export and Smallholder Production of Banana. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 269–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120305>
- Ramírez-Mejía, J. M., Aguilera-Gálvez, C., Kema, G. H. J., Valencia-Riascos, L. M., Zapata-Henao, S., Gómez, L. A., & Villegas-Escobar, V. (2024). Combining cyclic lipopeptides and cinnamon extract enhance antifungal activity against *Fusarium oxysporum* strains pathogenic to banana and delay *Fusarium* wilt under greenhouse conditions. *Tropical Plant Pathology*, 49(6), 838–849. <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00677-x>
- Richard, B., Qi, A., & Fitt, B. D. L. (2022). Control of crop diseases through Integrated Crop Management to deliver climate-smart farming systems for low- and high-input crop production. *Plant Pathology*, 71(1), 187–206. <https://doi.org/10.1111/ppa.13493>
- Ríos-Hernández, J., Chávez-Salazar, A., Restrepo-Montoya, E. M., Castellanos-Galeano, F. J., & Ospina-López, D. Y. (2024). Obtaining coffee mucilage microcapsules by spray drying using chemically modified banana starch. *Ingeniería y Competitividad*, 26(2). <https://doi.org/10.25100/iyv.v26i2.13502>
- Ríos, V. M., Gómez Herrera, M. D., Hitoshi Sugita, N., & Alayón Luaces, P. (2020). Water status response of pineapple using destructive and non-destructive indicators and their relations in two contrasting seasons. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19, 538–547. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.10.002>
- Rothé, M., Darnaudery, M., & Thuriès, L. (2019). Organic fertilizers, green manures and mixtures of the two revealed their potential as substitutes for inorganic fertilizers used in pineapple cropping. *Scientia Horticulturae*, 257(108691), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108691>
- Sah, S. K., Subramanian R., Ramesh, M., & Chand, S. (2021). Impact of pharmacist care in the management of autoimmune disorders: A systematic review of randomized control trials and non-randomized studies. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 17(9), 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.12.005>
- Sánchez-Espinosa, A. C., Villarruel-Ordaz, J. L., & Maldonado-Bonilla, L. D. (2020). The cause and potential solution to the *Fusarium* wilt disease in banana plants TT - La causa y potencial solución a la marchitez de plantas de plátano. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 435–442. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.617>
- Sánchez-Espinosa, A. C., Villarruel-Ordaz, J. L., & Maldonado Bonilla, L. D. (2021). Mycoparasitic antagonism of a *Trichoderma harzianum* strain isolated from banana plants in Oaxaca, Mexico. *Biotechnia*, 23(1), 127–134. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.1310>

- Santos, E. (2025). Nature-Based Solutions for Water Management in Europe: What Works, What Does Not, and What's Next? *Water*, 17(15), 2193. <https://doi.org/10.3390/w17152193>
- Sapak, Z., & Nusaibah, S. A. (2024). Common Diseases in Pineapple and Their Management. In *Advances in Tropical Crop Protection* (pp. 85–104). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59268-3_7
- Sarangi, P. K., Singh, A. K., Srivastava, R. K., & Gupta, V. K. (2023). Recent Progress and Future Perspectives for Zero Agriculture Waste Technologies: Pineapple Waste as a Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043575>
- Sarkar, S., Akhter, S., Roy, J., Wazed, A., Abedin, R., Neogie, S., Mishat, K. B., & Sarker, S. H. (2024). Preventing enzymatic browning of freshly cut green bananas through immersion in normal water, lemon juice, and coconut water. *Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4284>
- Savani, A. K., Bhattacharyya, A., & Baruah, A. (2020). Endophyte mediated activation of defense enzymes in banana plants pre-immunized with covert endophytes. *Indian Phytopathology*, 73(3), 433–441. <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00245-8>
- Selda Rivarez, M. P., Parac, E. P., Laurek N. R., Cunanan, B. V., Magarro, A. B., & Dimasingkil, S. F. M. (2021). Antagonistic activity of bacteria from wild honey against *Colletotrichum musae*, and testing of wild honey as biopesticide spray to control banana anthracnose. *Bioscience Journal*, 37, e37089. <https://doi.org/10.14393/BJ-v37n0a2021-49921>
- Scortichini, M. (2022). Sustainable Management of Diseases in Horticulture: Conventional and New Options. *Horticulturae*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060517>
- Sibhatu, K. T., & Qaim, M. (2018). Review: Meta-analysis of the association between production diversity, diets, and nutrition in smallholder farm households. *Food Policy*, 77, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.04.013>
- Sovacool, B. K., Iskandarova, M., & Hall, J. (2023). Industrializing theories: A thematic analysis of conceptual frameworks and typologies for industrial sociotechnical change in a low-carbon future. *Energy Research and Social Science*, 97(January), 102954. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102954>
- Strobl, E., & Mohan, P. (2020). Climate and the global spread and impact of Bananas' Black Leaf Sigatoka disease. *Atmosphere*, 11(947), 1–19. <https://doi.org/10.3390/atmos11090947>
- Taping, J. M. F., Borja, B. T., Bretaña, B. L. P., Tanabe, M. E. N., & Cabasan, M. T. N. (2023). Fungal endophytes as potential biocontrol agent of Panama disease of banana. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00727-7>



- Teixeira, L., Nomura, E., Damatto, E., Vieira, H., Staver, C., & Dita, M. (2022). Effectiveness of soil management practices on Fusarium wilt of banana in the Ribeira Valley, Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 47(3), 411–420. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00493-1>
- Tripathi, L., Ntui, V. O., & Tripathi, J. N. (2022). Control of Bacterial Diseases of Banana Using CRISPR/Cas-Based Gene Editing. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3619). <https://doi.org/10.3390/ijms23073619>
- Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature Reviews Microbiology*, 18(11), 607–621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
- UN-Water. (2013). *Water Security & the Global Water Agenda, A UN-Water Analytical Brief*. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/analytical_brief_oct_2013_web.pdf
- United Nations Environment Programme. (2022). *State of Finance for Nature. Time to act: Doubling investment by 2025 and eliminating nature-negative finance flows*. <https://www.unep.org/resources/state-finance-nature-2022>
- Vega Rodríguez, M. C., & Hernández-Chaverri, R. A. (2020). Crecimiento de Trichoderma en rastrojo de piña para obtener esporas para uso agrícola. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 597–608. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.40275>
- Villabona Ortiz, A., Tejada Tovar, C. N., Ortega Toro, R., Marta, M. A., & Licona Dager, N. (2020). Evaluation of the use of plantain starch as a natural coagulant for the removal of colour and turbidity in water for human consumption. *Revista EIA*, 17(33), 160–167. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1359>
- Wang, J., Cai, B., Li, K., Zhao, Y., Li, C., Liu, S., Xiang, D., Zhang, L., Xie, J., & Wang, W. (2022). Biological Control of Fusarium oxysporum f. sp. cubense Tropical Race 4 in Banana Plantlets Using Newly Isolated Streptomyces sp. WHL7 from Marine Soft Coral. *Plant Disease*, 106(1). <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-21-1275-RE>
- Yonow, T., Ramírez Villegas, J., Abadie, C., Darnell, R. E., Ota, N., & Kriticos, D. J. (2019). Black Sigatoka in bananas: Ecoclimatic suitability and disease pressure assessments. *PLoS ONE*, 14(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220601>
- Zandersen, M., Oddershede, J. S., Pedersen, A. B., Nielsen, H. Ø., & Termansen, M. (2021). Nature Based Solutions for Climate Adaptation - Paying Farmers for Flood Control. *Ecological Economics*, 179, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106705>