



ISSN 2215-2202

AGRONOMÍA COSTARRICENSE

REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>



Análisis y comentario

El uso de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en cadenas de piña y banano en la cuenca río Sarapiquí, Costa Rica

Marcelo Gamboa-Agüero^{1/*}, David Gómez-Castillo², Laura Benegas-Negri³, Mauricio Serrano⁴

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: marcelogamboaaguero.ays@gmail.com

¹Universidad de Costa Rica, Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales (PPCARN), San José, Costa Rica. 

²Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial (CIEDA), San José, Costa Rica.



³Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación para el Desarrollo Verde e Inclusivo, Turrialba, Costa Rica. 

⁴Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC), San José, Costa Rica. 

DOI: <https://doi.org/10.15517/jvtls017>

Recibido el 05 enero del 2026; Aceptado el 06 de mayo del 2026

Resumen

Introducción. Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) son opciones potenciales para abordar desafíos de manejo en la producción y procesamiento de cultivos como la piña, el banano y el plátano. Hay núcleos empresariales de estos frutales en la cuenca del río Sarapiquí (CRS), con crecientes presiones y problemas ambientales. En la actualidad, se desconoce la incorporación de SbN en estas cadenas de valor en la cuenca. **Objetivo.** Analizar el proceso de incorporación de SbN relacionadas con el manejo de riesgos fitopatológicos e hídricos, en diferentes empresas que producen y procesan estas frutas en dicha cuenca. **Metodología.** La investigación fue empírica, exploratoria y descriptiva, con un enfoque cualitativo y de caso, centrada en la CRS. Se censaron las empresas productoras o procesadoras (24 empresas). De junio a octubre del 2025, se reconocieron sistemas de manejo en fincas y se aplicaron entrevistas semiestructuradas a encargados de empresas que participaron voluntariamente. Se utilizó un método inductivo temático para el análisis de las entrevistas. **Análisis.** La participación empresarial fue limitada (9 empresas entrevistadas de 24), con una marcada diferencia sectorial (6 de 21 en piña; 3 de 5 en banano o plátano). Se observó un uso extendido de prácticas convencionales en fincas de producción de piña. Las pocas empresas productoras de piña entrevistadas mostraron una heterogénea incorporación de SbN, con mayores avances en aquellas

orientadas a la producción orgánica, al manejo integrado, a la (pre)inversión en SbN y con capitales extranjeros (principalmente biocontroladores). Las empresas productoras de banano fueron multinacionales con investigación y desarrollo en ciertas SbN. Finalmente, las dos empresas procesadoras entrevistadas (1 piña, 1 banano y plátano) no demostraron interés en las SbN. **Conclusión.** En empresas productoras, la incorporación de SbN es limitada en las operaciones de piña, pero avanzada en las de banano. En las empresas de procesamiento entrevistadas, no se incorporan ni se invierte en SbN.

Palabras clave: adopción tecnológica; cadena frutícola; manejo integrado; agroecología; manejo agroambiental; sanidad vegetal; gestión hídrica.

Analysis and comment

The use of Nature-based Solutions (NbS) in pineapple and banana, value chains in Sarapiquí River Basin, Costa Rica

Abstract

Introduction. Nature-based Solutions (NbS) represent viable options for addressing management challenges in the production and processing of pineapple, banana, and plantain. There are corporate clusters for these fruit crops within the Sarapiquí River Basin (SRB), an area facing increasing environmental pressure and problems. Currently, NbS incorporating processes into these value chains within the basin remains unknown. **Objective.** To analyze the integration of NbS for phytopathological and hydrological risk management across different fruit-producing and processing firms in the SCR. **Methodology.** Currently research was based on an empirical, exploratory, and descriptive case study, utilizing a qualitative approach centered on the SRB. All producing and/or processing companies were surveyed (24 companies). From June to October 2025, farm management systems were observed, and semi-structured interviews were conducted with managers of voluntarily participating companies. A thematic inductive method was used for the analysis of the interviews. **Analysis.** Company's participation was quite limited (9 interviewed out of 24), showing a marked sectoral difference (6 of 21 in pineapple; 3 of 5 in banana or plantain). Extensive use of conventional practices was observed on pineapple farms. The few pineapple companies interviewed showed a heterogeneous incorporation of Nature-based Solutions (NbS), with greater progress observed in those oriented towards organic production, integrated management, preinvestment in NbS, and those with foreign capital (mainly as biocontrolling agents' approach). Banana producers were multinational companies with research and development in specific NbS. Conversely, the two interviewed processing companies (1 pineapple, 1 banana/plantain) showed no interest in NBS.

Conclusion. In producer companies, the incorporation of NbS is limited in pineapple operations, but advanced in banana operations. In the processing companies interviewed, NbS are neither incorporated nor invested in.

Keywords: technology uptake; fruit supply chain; integrated management; agroecology; agro-environmental; plant health; water management.

Introducción

El aumento de la carga de agroquímicos y otros potenciales contaminantes por determinadas prácticas agrícolas (FAO, 2025) revela la prioridad de transitar hacia una agricultura más sostenible (Piñeiro et al., 2020). El uso intensivo de plaguicidas genera riesgos ambientales y externalidades negativas (Hernández Blanco & Chaves Méndez, 2022), así como tensiones comerciales, debido a los límites máximos de residuos (Hejazi et al., 2022). Por esto, corresponde impulsar el Manejo Integrado de Plagas (Richard et al., 2022) y el uso de agentes de biocontrol y productos naturales (Scortichini, 2022), entre otras opciones.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) han ganado reconocimiento internacional durante el último decenio (Olmos Carbonell, 2025) al aprovechar los recursos naturales y organismos vivos (UNEP, 2022), y basarse en procesos y principios biológicos (Debele et al., 2023; Meza & Rodríguez, 2022). Convergen con paradigmas como la agricultura sostenible y la agroecología en la reducción de insumos sintéticos convencionales como estrategia de transformación agrícola. Dada la sensibilidad de la fruticultura tropical al cambio climático (Raju et al., 2024), las SbN pueden contribuir a la mitigación de inundaciones (Zandersen et al., 2021).

En Costa Rica, las superficies cultivadas con piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.), banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano) y plátano (*Musa* AAB cv. Curraré) alcanzaron en 2024 las 53 000 ha, 45 868 ha y 7158 ha, respectivamente (FAO, 2026). El sector productor de piña enfrenta diversos retos, entre ellos enfermedades que afectan el rendimiento y la calidad de la fruta (Sapak & Nusaibah, 2024), en adición al manejo de sus residuos líquidos (Guevara et al., 2017). Por su parte, el sector productor de banano se ha vuelto vulnerable debido a la presencia de varias enfermedades emergentes como la Sigatoka y marchitez por *Fusarium* (Ploetz et al., 2015), además de la dependencia al uso intensivo de pesticidas para la producción convencional (Mendez et al., 2018).

En Costa Rica, a pesar de la modernización y tecnificación de los sectores agrícola y agroindustrial (Samper et al., 2022) y la promoción de las tecnologías y la sostenibilidad en la Agenda Agroambiente al 2030 (Gobierno de Costa Rica, 2021), la adopción de tecnologías agrícolas para abordar desafíos ambientales es baja y la inversión en innovación es fundamental (OECD, 2024).

La producción de piña y banano se concentra en la vertiente caribeña de Costa Rica (García Cascante & Valenciano Salazar, 2016), en cuya zona norte se sitúa la cuenca del río Sarapiquí (CRS), de alta relevancia ecológica. En esta, se concentran empresas de producción y procesamiento de dichas frutas, orientadas al comercio exterior, que presentan retos de manejo agroambiental y resiliencia ante amenazas de enfermedades fitosanitarias e hídricas, de compatibilidad con la conservación y el turismo, y de cumplimiento de mayores exigencias producto de la declaratoria de interés público de la protección de la cuenca y su cauce principal (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 2022).

Varios aspectos empíricos de las cadenas de suministro ecológicas siguen sin explorarse (Bhatia & Gangwani, 2021). En la CRS, se desconoce científicamente la integración de SbN en la gama de empresas que conforman las cadenas de valor de la piña, el banano y el plátano. Estas SbN representan oportunidades de mejora en materia ambiental e innovación en la fruticultura de exportación.

El enfoque cualitativo y de caso ayuda a conocer fenómenos actuales en un grupo (Sobrinho Junior et al., 2022) y contribuye a explorar ideas que surjan en este (Adeoye-Olatunde & Olenik, 2021). Es posible que el empleo de SbN corresponda a prácticas consuetudinarias de ciertas empresas, a procesos de adopción tecnológica o a adaptaciones emergentes, y que algunos desafíos fitosanitarios o hídricos orienten a algunas empresas hacia la investigación, desarrollo e innovación en determinadas SbN.

El objetivo de este análisis y comentario es analizar el proceso de incorporación de SbN relacionadas con el manejo de riesgos de enfermedades fitopatológicas e hídricas (excesos, déficit, calidad) en diferentes empresas que producen y procesan estas frutas en la cuenca del río Sarapiquí. Este estudio aporta evidencia de avances y brechas en empresas dispuestas a compartir su experiencia, contrastada con observaciones de campo, las cuales pueden ofrecer una base para la formulación de hipótesis, que impulsen otras investigaciones sobre transformaciones en sostenibilidad y resiliencia en empresas frutícolas, a nivel de finca, instalación o paisaje.

Metodología

Se estudiaron casos de empresas que participaron voluntariamente, para obtener información cualitativa de variables sobre posibles hitos y características del proceso de incorporación de las SbN, con el fin de hacer comparaciones entre cultivos y tipos de empresas. Este análisis sirvió de base para cuantificar las empresas, por rubro y tipología, que cumplieran hitos de avance en dicho proceso de incorporación.

La recolección de datos se hizo mediante entrevistas semiestructuradas, la observación directa y la revisión documental. Dichas entrevistas se elaboraron para una duración de 45 minutos y se organizaron en componentes enfocados en la empresa, el manejo de enfermedades bióticas de los cultivos evaluados, el manejo de las aguas locales y, específicamente, las SbN (**Figura 1**). Siguiendo las recomendaciones de Sobrinho Junior et al. (2022), se realizaron tres entrevistas piloto de validación del guion y ajuste de las preguntas (junio 2025), según criterios de pertinencia y claridad. La cuenca del río Sarapiquí (CRS) se ubica en las tierras bajas del Caribe norte de Costa Rica y vierte sus aguas al río San Juan, tras discurrir por el cantón de Sarapiquí (provincia de Heredia), Río Cuarto y parte del cantón de Alajuela (provincia de Alajuela). Puerto Viejo de Sarapiquí es el principal asentamiento humano de esta cuenca, el cual se sitúa a unos 80 km al norte de la capital San José (10.59° N y 83.95° O). Para este estudio, la zona se subdividió en tres tramos: el sector oeste (subcuencas de los ríos Toro y Sardinal), el tramo Puerto Viejo (aguas arriba de la confluencia de los ríos Sucio, Puerto Viejo y Sarapiquí), y el sector este (microcuencas tributarias en el tramo final), para situar espacialmente las empresas y la incorporación de SbN (**Figura 2**).

Para conformar la población de estudio, se censaron empresas con fincas o instalaciones de producción o procesamiento de piña (fruta), banano (fruta fresca) y plátano (para frituras) en esta cuenca, de junio a septiembre del 2025. Se evaluaron fincas (predios) e instalaciones (plantas) activas, de tamaño comercial, y se identificaron las empresas asociadas. Se revisó información pública sobre empresas del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP) y la Cámara de Piñeros Unidos (CPU). Se reconocieron paisajes productivos y se verificaron predios e instalaciones mediante imágenes satelitales (*Google Earth*® y *Google Maps*®), de donde también se extrajeron el nombre, la ubicación y el contacto. Se identificaron 24 empresas, de las cuales, 21 son de la cadena de la piña (19 en el sector oeste, 5 en el tramo Puerto Viejo, 0 en el sector este) y 5 de banano o plátano (0, 4 y 2 respectivamente según la zonificación).

1. Introducción sobre la empresa

a. Origen de empresa:

¿Es nacional o internacional?

b. Su naturaleza:

¿Qué la caracteriza, su misión?

c. Tamaño de empresa:

¿Considera que es grande, mediana, pequeña o micro (empleados, ventas, activos)?

d. Los principales mercados:

¿Qué mercados abastecen con estas frutas, sus subproductos y derivados?

e. Especialización dentro de la cadena de valor:

¿Qué eslabones, etapas, procesos abarca?

f. La presencia en la cuenca:

¿Qué fincas e instalaciones se tiene en la cuenca y sus afluentes? ¿dónde están?

2. El manejo de las enfermedades bióticas en los cultivos

a. Daños y pérdidas por enfermedades (bióticas):

¿Han tenido en el cultivo, la postcosecha y la agroindustria?

b. Estrategia de gestión de riesgos fitosanitarios en el rubro:

¿Qué estrategia, objetivos, metas o plan sigue?

c. Mecanización y tecnificación del manejo:

¿Cómo mecanizan y tecnifican el manejo de las enfermedades?

d. Orientación al manejo integrado de enfermedades:

¿Combinan estrategias, métodos o tecnologías?

e. Tácticas de prevención:

¿Cómo previenen brotes?

f. Tácticas de tratamiento:

¿Cómo tratan o controlan?

3. El manejo de las aguas en los cultivos abarcados:

a. Daños y pérdidas (cantidad, calidad):

¿Por exceso o falta, sedimentos, malezas, patógenos, químicos?

b. Estrategia de seguridad hídrica:

¿Qué estrategia, objetivos, metas o plan sigue para contar con agua?

c. Fuentes de abastecimiento:

¿Con cuáles cuentan o quisieran (lluvia, cauce natural, canal, pozo, potable)?

d. Mecanización y tecnificación del manejo:

¿Para los excesos, la falta, las aplicaciones, el procesamiento?

e. Orientación al manejo integrado de aguas:

¿Con el suelo, la vegetación, el ecosistema, otros actores?

4. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como opciones de manejo de enfermedades agrícolas y aguas locales:

a. El concepto práctico, aplicable, operacional:

¿Qué entiende en la práctica, en sus operaciones, una opción biológica/natural, el uso de organismos vivos, procesos o sistemas naturales, una medida para el ecosistema, una exigencia internacional al comercio?

b. Conocimiento de SbN para enfermedades y aguas:

¿Qué tipo de SbN conocen de manejo de enfermedades en finca (antagonistas) e instalaciones (productos), y de aguas de producción y procesamiento (fuentes, tratamiento, suelo, insumos, fruta, alimentos, residuos)?

c. Uso previo de SbN para enfermedades y aguas (costumbre, normas):

¿Vienen usando en las enfermedades y aguas soluciones que calzarían con SBN?

d. Información de avances en SbN disponibles:

¿Cómo se mantienen informados de avances en SbN, le comunican (proveedores, extensionistas, investigadores), averiguan?

e. Adopción de SbN y eventual adaptación:

¿Qué SbN vienen adoptando en el manejo de sus enfermedades y aguas, y eventualmente adaptando a sus condiciones?

f. Rentabilidad de SbN y eventuales limitaciones:

¿Evalúan algunas SbN como rentables/costo-efectivas, han encontrado limitaciones en la práctica?

g. Investigación, desarrollo e innovación en SbN:

¿Investigan SbN (básica, aplicada), desarrollan SbN (diseño, laboratorio, invernadero, campo) y eventualmente innovan con SbN en procesos/productos relacionados con enfermedades/aguas?

h. Alianzas empresariales para SbN:

¿Se abastecen, proveen o comparten SBN con otras empresas regularmente?

Figura 1. Guía de la entrevista semiestructurada aplicada a empresas que participaron voluntariamente.
Figure 1. Semi-structured interview guide applied to voluntarily participating companies.

A las personas encargadas en cada empresa se les entregó en físico y por correo electrónico una carta de solicitud de entrevista (finca, instalación, área o unidad), siguiendo los lineamientos de Charlton y Robinson (2019) y la normativa de la Universidad de Costa Rica (UCR) para garantizar la voluntariedad, la confidencialidad y el anonimato. Para evitar presiones indebidas y reducir el potencial riesgo de no respuesta (Bankowska et al., 2015), particularmente en empresas transnacionales reticentes, se realizó hasta dos veces la solicitud ante cada empresa censada (por correo electrónico o por vía telefónica). Con las personas designadas por las empresas, se programó y realizó la entrevista, de manera presencial o virtual, durante los meses de junio a octubre del 2025. Previo a cada entrevista, se obtuvo su consentimiento informado escrito. Se transcribió el audio de las grabaciones digitales a un formato de texto, mediante el uso del programa en línea *TurboScribe*® (Leif Erikson Ventures; Bellevue, Washington, USA). Por último, se adicionó información del sitio web de cada empresa y, de haberlo, de su último reporte corporativo.

Para el análisis cualitativo de la información, se procesó el texto de las entrevistas con el programa *Microsoft Excel*, versión *Microsoft 365*, en concordancia con Sobrinho Junior et al. (2022). A partir de esta información, se utilizó un análisis inductivo temático (Sovacool et al., 2023) el cual se enfoca en temas recurrentes y subtemas identificados a partir de la lectura iterativa y reflexiva del material. Dicho proceso consistió en la concatenación de las respuestas a la misma pregunta/variable, la revisión, el resumen y el parafraseo de la información, en adición al análisis de la relevancia de su contenido y al reconocimiento de patrones. Finalmente, se editaron los enunciados para ilustrar cada proceso empresarial.

Posteriormente, se efectuó un levantamiento complementario de información en paisajes productivos y agroindustriales, a través del reconocimiento y registro de sistemas, infraestructura y prácticas de manejo en fincas e instalaciones (soluciones para enfermedades y aguas), en un periodo de junio a septiembre del 2025 (fotografías y anotaciones).

Análisis

De las 24 empresas censadas con presencia en la cuenca del río Sarapiquí, se logró entrevistar solamente a 9. Otras 3 empresas denegaron la entrevista solicitada y 12 no dieron respuesta. Este fenómeno de respuesta es común en estudios basados en entrevistas a empresas transnacionales (Bankowska et al., 2015; Robinson, 2013). Se observó una diferencia sectorial en la participación. A nivel de la cuenca, la cantidad de empresas participantes de la cadena de la piña fue menor (6 de 21, equivalente al 29%) que la de las empresas de banano o plátano (3 de 5, al 60%).

Dicha participación varió en cada sector (**Figura 2**). El sector de Puerto Viejo fue puntual en empresas dedicadas a la piña (1 entrevistada de 5) y menor que en aquellas dedicadas al banano o al plátano (2 de 4). En el sector este de la cuenca, se logró evaluar 2 empresas productoras de banano (1 entrevistada). En el sector oeste, solamente se identificaron fincas de producción de piña y su participación fue baja (solo 6 entrevistadas de 19). En consecuencia, los tramos del sector este y de Puerto Viejo mostraron mayor apertura del sector de musáceas que el tramo del sector oeste, donde se concentran las empresas del rubro piña.

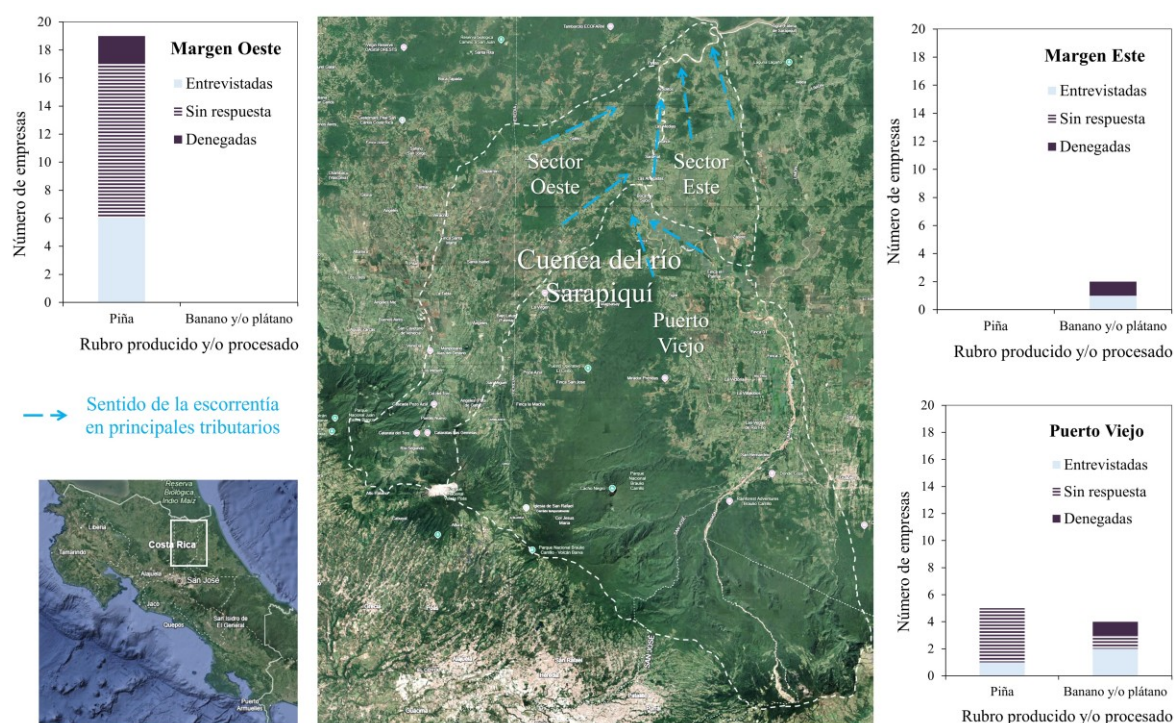


Figura 2. Localización de la cuenca del río Sarapiquí (CRS), sectores evaluados y su correspondiente participación empresarial.

Figure 2. Sarapiquí river basin localization; evaluated sectors and corresponding corporate participation.

Esta menor participación del sector dedicado al cultivo de la piña da paso a preguntas de investigación e hipótesis sobre sus posibles causas, como la emisión de agroquímicos. La UCR (2018) encontró presencia de plaguicidas autorizados para el cultivo, en aguas superficiales y subterráneas y en sedimentos de la cuenca. Otras causas asociadas a este resultado podrían ser: la dinámica de expansión de la superficie plantada (buenos precios), y la cultura organizacional de las empresas y sus asociaciones (transparencia).

Por otro lado, esta menor participación de la cadena de la piña abre la posibilidad de sesgo en el análisis de los casos entrevistados, los cuales pueden ser menos diversos que el universo de empresas presentes, con tipologías más afines a las SbN (empresas “verdes”), o con mayores requerimientos ambientales en sus prácticas. Corresponde considerar este posible sesgo al interpretar las entrevistas brindadas y su representatividad del núcleo de empresas piñeras en la CRS.

El proceso de incorporación de SbN en las empresas productoras de piña en la CRS

Todas las empresas entrevistadas dedicadas a la producción de piña (**Tabla 1**) mencionaron que: 1) conocen tipos de SbN (bajo ese concepto u otros), 2) se informan sobre avances en SbN, 3) reportan riesgos de enfermedades fitopatológicas y usan SbN para este tipo de riesgos. Todas indicaron potenciales riesgos hídricos, en adición a una escasa implementación de SbN específicas para su manejo (1 caso de 5). Todas evaluaron la utilidad y limitaciones de las SbN. En este sentido, 4 empresas realizan investigación aplicada (en campo), mientras solo 2 hacen investigación básica (laboratorio); además, 1 empresa hace innovación en SbN (procesos, productos) y 4 se asocian con otras empresas para SbN.

Tabla 1. Número de casos de empresas entrevistadas según hitos de avance en la incorporación de SbN.
Table 1. Sample size of interviewed companies by NbS adoption milestones.

Hito de avance en el proceso	PYME produce piña	Grande produce piña	Grande procesa piña	Grande produce banano	Procesa banano y plátano
Conoce SbN	2 de 2	3 de 3	1 de 1	2 de 2	1 de 1
Se informa de avances en SbN	2 de 2	2 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Con riesgos fitosanitarios	2 de 2	3 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Usa SbN para lo fitosanitario	2 de 2	3 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Con riesgos hídricos	2 de 2	3 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Usa SbN para riesgos hídricos	0 de 2	1 de 3	0 de 1	1 de 2	0 de 1
Evalúa SbN (costo-efectividad)	2 de 2	3 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Hace investigación básica (SbN)	0 de 2	2 de 3	0 de 1	1 de 2	0 de 1
Hace investigación aplicada (SbN)	2 de 2	2 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1
Innova en SbN	0 de 2	1 de 3	0 de 1	1 de 2	0 de 1
Mantiene alianzas en SbN	1 de 2	3 de 3	0 de 1	2 de 2	0 de 1

Las empresas entrevistadas dieron cuenta de distintos niveles de incorporación de SbN ligadas al manejo de sus enfermedades y aguas, que podrían estar influenciados por el modelo productivo, el origen de capital, el acceso a certificaciones y la trayectoria de manejo integrado (**Tabla 2**), hipótesis que se podría investigar mediante métodos cuantitativos. La empresa productora orgánica reportó una incorporación total de SbN, la empresa europea relató una incorporación de vanguardia (descomposición microbiológica, innovación en productos naturales), mientras que otras mencionaron el uso previo de SbN (protección forestal en cauces, forestación, cercos vivos), incorporaciones específicas (agentes de control biológico, cosecha agua lluvia, cama biológica, alimentación ganado con residuos), soluciones mixtas (combinación de aplicaciones con productos biológicos y químicos) y los beneficios de una solución artificial (malla de sombreo sobre la reducción de agroquímicos).

En estas empresas, el significado de SbN varió y se relacionó con conceptos como procesos naturales, uso de productos biológicos, certificaciones, mercado, proyectos, manejo integrado de plagas y la gestión agroambiental. Todo esto sugiere preguntas de investigación relacionadas con la percepción de las SbN en diferentes industrias dedicadas a la producción de piña, así como hipótesis vinculadas con un efecto aditivo circunstancial o transitorio de las SbN a los impulsores de cambio y los paradigmas ya consolidados en la producción (**Tabla 2**).

La preinversión en SbN varió mucho entre empresas de producción de piña. Se observó en la empresa con capital europeo una apuesta sostenida, mediante alianzas y proyectos, para el desarrollo, la innovación y el escalamiento de productos basados en la naturaleza. Al respecto, Dempere et al. (2024) señalan las ventajas competitivas de las empresas que aborden la nueva Directiva de la Comisión Europea sobre Debida Diligencia Corporativa en Materia de Sostenibilidad. Por su parte, la empresa multinacional tiene un equipo de investigación y desarrollo orientado al paradigma agroecológico de manejo integrado de plagas (**Tabla 2**).

Hubo diferencias entre empresas nacionales: aquella orgánica con investigación aplicada en curso (cultivo integral piloto), otra con un experimento fallido, otra recibe servicios de investigación y desarrollo (del comprador). Este patrón sugiere preguntas de investigación sobre la divergencia o fragmentación tecnológica del grupo de productores de piña, e hipótesis sobre el posicionamiento de empresas extranjeras líderes en estas innovaciones agroambientales (**Tabla 2**).

Tabla 2. Incorporación de SbN en empresas productoras/procesadoras de piña entrevistadas.

Table 2. Incorporation of NbS in interviewed pineapple production/processing companies.

Características de la empresa	PYME costarricense productora orgánica para exportación, con ecoturismo (Sector Oeste)	PYME costarricense productora y comercializadora para la industria (Sector Oeste)	Gran empresa costarricense productora para exportadora multinacional (Sector Oeste)
Las enfermedades (bióticas) del rubro, problemas y su manejo	<u>Problemas:</u> "cultivo orgánico es susceptible". <u>Manejo:</u> "intrínseco de las certificaciones orgánicas"; aplicación de <i>Trichoderma</i> spp. con tractor; microorganismos de montaña; rotaciones; visitas preventivas en campo	<u>Problemas:</u> Fitóftora, Erwinia, ahora Ralstonia ("historia sin fin"). <u>Manejo:</u> "todos los días"; "a veces, reforzamos los programas de aplicaciones"; "regulamos flujo en la barra rociadora"; "tratamos de usar productos biológicos/orgánicos"	<u>Problemas:</u> "especialmente en años muy lluviosos". <u>Manejo:</u> "Hemos estado tratando de controlar biológicamente"; "echamos mano a la agricultura de precisión y al manejo integrado"
Las aguas locales (finca, instalación), problemas y su manejo	<u>Excesos:</u> se dañan/descomponen las raíces; ha afectado el "golpe de agua" la fruta en la planta (calidad). <u>Déficit:</u> "la sequedad del suelo ha limitado a <i>Trichoderma</i> spp.". <u>Manejo:</u> no se riega; tenemos acueducto, pozo y tanque (llenado de contenedores <i>bin</i>); tenemos drenes y caminos (para aspersiones); en el campo hay baños	<u>Excesos:</u> "alguna pérdida pequeña por mala construcción de drenajes". <u>Déficit:</u> no. <u>Manejo:</u> tenemos pozo (electricidad), servicio de agua potable y dos ríos (no sacamos agua de ellos); queremos coleccionar agua lluvia (techos); tenemos cama biológica (degradar residuos).	<u>Excesos:</u> algún problema de hongos y bacterias controlado (mortalidades); <u>Déficit:</u> "falta de producción de semillas" (hijuelos). <u>Manejo:</u> hacemos cosecha de agua (techo) para aplicaciones; tenemos concesiones en pozo; utilizamos el río con concesión; tenemos agua del acueducto (muy cara)
Familiaridad con las SbN (concepto o significado, conocimiento e información de avances)	"todo es natural, básicamente"; la certificación orgánica se basa en lineamientos internacionales; conocemos SbN para enfermedades; nos actualizamos con investigaciones científicas relacionadas, y nuevas soluciones que salen al mercado	"la presión de mercado termina siendo técnica"; "tenemos que ir avanzando"; "mejorar la biota del suelo"; "estamos en el tema de utilizar productos biológicos"; conocemos esas tecnologías; participo en charlas, cámara, redes sociales; "veo qué están haciendo los grandes"	"la clave está en el equilibrio naturaleza/producción"; conocemos controladores biológicos y la recolección de aguas lluvia como SbN; las certificaciones internacionales nos exigen cosas; nuestro cliente principal supervisa lo que hacemos; tenemos que estar informados
La incorporación de SbN (uso previo, adopción, adaptación, rentabilidad, limitaciones)	creo que abarcamos todo (bosque como barrera, aplicación insumos orgánicos, rotación cultivos); nos han funcionado; no hemos adaptado SbN; es rentable, funciona; la inversión es mucho mayor, el precio en el mercado orgánico es muy bueno, pero las fluctuaciones de precio en la bolsa (mercado muy pequeño) aprietan; la cantidad y calidad de la producción son completamente impredecibles	hemos implementado una cama biológica; rotamos/combinamos productos en aplicaciones, vamos a aquellos biológicos, pero los químicos sostienen el negocio; solo hemos adoptado lo probado, no adaptado; ciertos productos biológicos todavía son caros; los biológicos no son tan rápidos, ni tan de impacto; hay que monitorear más, ajustar la frecuencia, y ser muy precisos; tienen limitaciones de calidad, uniformidad y vida útil	no somos orgánicos; bajamos el uso de químicos con Malla Polisombra; tenemos bosques en conservación (caza, tala); hacemos reforestación (en río, árboles nativos, cercos vivos); cosechamos agua; trituramos corona de piña para ganaderos (evitamos moscas); empleamos biocontroladores; preferimos comprar bioinsumos (un poco más caro, pero no es tóxico); no hemos tenido problemas en incorporar SbN
La (pre)inversión en SbN (investigación, desarrollo, innovación, alianzas empresariales)	no podemos experimentar en toda la superficie; experimentamos un cultivo integral (piña con pimienta y vainilla) a nivel piloto en el campo, si funciona, tomaremos el conocimiento; no hemos cambiado proceso/producto (innovado); tenemos una alianza con proveedor de insumos	hicimos un ensayo fallido de biológicos con una empresa que nos daba los productos: fallaron unas aplicaciones y tuvimos unos escapes terribles; no hemos hecho más	el comprador de la fruta hace la investigación y desarrollo; invertimos en agricultura de precisión (drones)

Tabla 2. (Continuación de la Tabla anterior).

Table 2. (Continued from previous Table).

Características de la empresa	Empresa europea compradora, productora y exportadora (Sector Oeste)	Empresa multinacional compradora, exportadora y productora (Sector Oeste)	Gran empresa costarricense procesadora (principalmente compradora) para exportación (Puerto Viejo)
Las enfermedades (bióticas) del rubro, problemas y su manejo	<u>Problemas:</u> "siempre hay enfermedades en el cultivo"; "ha habido algunos problemas"; <u>Manejo:</u> integrado; "prevenimos con microorganismos" (hasta donde podamos); "cuando hay un escape y el problema está, hay que usar químico"	<u>Problemas:</u> "estamos siempre expuestos a enfermedades"; "nada devastador o extremo"; <u>Manejo:</u> integrado; nuestro semanal en campo; 90-95% de aplicaciones con tractores (drones para puntuales)	<u>Problemas:</u> "No han pasado al proceso industrial"; "nunca representa una amenaza"; <u>Manejo:</u> "gran control de la materia prima antes de su entrada en el proceso, así como procedimientos de manejo de la fruta"
Las aguas locales (finca, instalación), problemas y su manejo	<u>Excesos:</u> "algunos daños en plantaciones"; en zonas con más días inundados, hemos perdido siembras; <u>Déficit:</u> no hemos tenido problemas; <u>Manejo:</u> tenemos pozos (instalaciones, fincas); en planta (empaques) de ASADA; en una finca hay río; un lago natural recibe agua de desinfección (cloro) tras tratamiento	<u>Excesos:</u> dificultad en preparar el terreno (muy húmedo); temporales de semanas generan afectación por enfermedades (no podemos hacer aplicaciones); <u>Manejo:</u> "no requerimos riego"; usamos pozo para las aplicaciones; tratamos las aguas de desinfección (cloro) y monitoreamos su calidad; controlamos el consumo	<u>Problemas:</u> no hemos tenido; <u>Manejo:</u> nos abastecemos de agua municipal y de pozo (suficiente); no necesitamos drenaje en la instalación (en finca sí); contamos con planta de tratamiento
Familiaridad con las SbN (concepto o significado, conocimiento e información de avances)	venimos trabajando muy de la mano con proyectos de ese tipo (organismos internacionales, ministerios y universidad nacionales); tenemos alguna información e implementado algunos proyectos, muchos pilotos; hemos estudiado los bioinsumos	"el concepto de manejo integrado de plagas, en nuestro caso, es totalmente integral": cercas vivas, aplicaciones cerca de comunidades, el muestreo, la tecnología, la protección de la biodiversidad (caza); interactuamos con proveedores y entes públicos	"es tratar de resolver desde estrategias, tratamientos naturales, para disminuir el uso de artificiales"; "en el procesamiento de la fruta es poco lo que se puede hacer, porque el concepto de inocuidad, limpieza, prácticamente sataniza"; es más difícil en esta etapa de la cadena de valor
La incorporación de SbN (uso previo, adopción, adaptación, rentabilidad, limitaciones)	no quemamos, reincorporamos material vegetal (microorganismos) y damos residuos (textiles, biomateriales); reproducimos en laboratorio microorganismos; estamos en un programa de prácticas para disminuir químicos; estamos por exportar bioactivos, suplementos nutricionales y cosmética natural utilizando residuos de piña; e incorporando la extracción de bromelina	hay algunas alternativas basadas en la naturaleza que usamos, como biocontroladores	la cáscara, como residuo, se entrega gratuitamente a ganaderos locales
La (pre)inversión en SbN (investigación, desarrollo, innovación, alianzas empresariales)	hay que invertir (años con menor rentabilidad); "vemos un tema de mercado, ponemos algunas ideas, buscamos fondos y nos asociamos con investigadores"; entramos desde la validación de investigaciones en hongo comestible; codesarrollamos suplementos nutricionales; escalaremos en bioplásticos, hongos comestibles y bioactivos	tenemos personal en asuntos técnicos, de investigación y desarrollo; invertimos en reproducción de biocontroladores; seleccionamos nuestros proveedores y revisamos la calidad de los productos antes de evaluarlos en campo	no se investigan SbN



Figura 3. Soluciones de manejo observadas en fincas de producción de piña en la cuenca del río Sarapiquí. A: acumulación de aguas y su aplicación con agroquímicos; D: drenaje en predio y su contorno; C: cobertura con malla de sombrero; S: desecación química del rastrojo; Q: quema de rastrojo con acolchado plástico.

Figure 3. Management solutions observed on pineapple farms in the Sarapiquí river watershed. A: water accumulation and its application with agrochemicals; D: field and perimeter drainage; C: shading net coverage; S: chemical desiccation of crop residues; Q: burning of crop residues with plastic mulch.

Las productoras de piña mencionaron frecuentes problemas de enfermedades de cultivo, asociados a excesos de agua, manejados con una red de drenaje superficial hecha durante la preparación de suelo, lo cual concuerda con los resultados de Barbosa da Silva et al. (2023) sobre el perjuicio de enfermedades al desarrollo del cultivo. La empresa de capital europeo y la multinacional reportan manejo integrado de las enfermedades. Entre las nacionales, la empresa con producción orgánica enmarcó su manejo en el cumplimiento de sus certificaciones y las otras dos empresas evaluadas dieron cuenta de intentos de control de enfermedades con SbN (**Tabla 2**).

En contraste con los casos entrevistados, el reconocimiento efectuado en fincas y paisajes dominados con plantaciones de piña (**Figura 3**) permitió constatar el empleo de varias soluciones artificiales de manejo en la cuenca (pozo y estanque, maquinaria y apero, dren, ducto, camellón), algunas con generación de residuos sólidos (malla sombreo, acolchado plástico) y otras con emisión de contaminantes al ambiente (cauce con herbicida, rastrojo de piña con herbicida y con quema), en consecuencia, con externalidades ambientales negativas. Se sugieren investigaciones científicas en condiciones de campo que comparen las externalidades de sistemas de producción basados en soluciones artificiales *versus* naturales.

En resumen, hay brechas considerables en la incorporación de SbN en empresas ubicadas en esta cuenca. Esto en particular, en empresas ubicadas en su sector oeste, con escasas sustituciones de soluciones artificiales (“grises”) por SbN apropiadas. Se sugieren investigaciones sobre paquetes tecnológicos costo-efectivos, y mecanismos de asistencia y transferencia tecnológico idóneos, desde el sector público o privado, para extender la transformación productiva en esta cuenca. En atención al planteamiento de Keesstra et al. (2023) sobre las perspectivas de los agroecosistemas hacia una nueva construcción en la transición de paisajes productivos, respecto de aquellos gestionados y adaptados o de aquellos ya existentes, se sugieren investigaciones sobre opciones de ampliar el uso de SbN para mitigar inundaciones por crecidas y otros riesgos hídricos en paisajes productivos de la cuenca.

Incorporación de SbN en las empresas productoras de banano y plátano en la CRS

Las 2 empresas entrevistadas conocen sobre SbN, se informan sobre avances en estas soluciones, y declaran riesgo de fitopatógenos en cuyo manejo utilizan métodos basados en SbN (**Tabla 1**). Si bien las 2 mencionan riesgos hídricos, 1 de ellas los maneja con técnicas basadas en SbN. Ambas empresas evalúan potenciales SbN y hacen investigación aplicada. En adición, se observó que una de estas empresas también hace investigación básica. Una empresa innova con estas soluciones y ambas desarrollan alianzas en materia de SbN.

Estas empresas son multinacionales (**Tabla 3**) y plantean un uso previo y más sistemático de SbN (reforestación, barbecho u rotación), adopción de SbN siempre subordinada a requisitos (eficacia/impacto, eficiencia/costo, disposición) y, a veces, su adaptación. Dichas empresas ven las SbN como un factor impulsor de cambios, una exigencia circunstancial (por ejemplo, consumidores) asociada a nuevos productos (proveedores) o tipos de productos recibidos con apertura empresarial. Las SbN empleadas incluyen: viveros para reforestación, degradación biológica de pinzote, coberturas vegetales, extractos orgánicos, fermentaciones microbianas, rotación o barbecho.

La adopción por parte de las empresas de estas tecnologías depende: 1) de resultados como un impacto cuantificable de estas SbN, 2) que las personas trabajadoras estén dispuestas a implementarlas, 3) la eficacia, en comparación con alternativas convencionales, y 4) el costo operativo. Algunas técnicas de SbN requieren de adaptaciones locales, mientras que otras no continúan por baja eficacia o consistencia en los resultados (**Tabla 3**).

Estas empresas mencionaron preinversión en investigación (incluyendo pruebas y evaluaciones), desarrollo e innovación, así como alianzas. También, señalaron problemas de enfermedades en el cultivo, que se abordan con manejo integrado. En materia del manejo de las aguas, destacan los excesos de agua como el principal riesgo (pérdidas). En ese sentido, se reportó un caso con un manejo integrado (en finca y colaboración externa) mientras que en otro se observó un manejo del drenaje, el riego, las fuentes y la calidad. De forma general, las empresas mantienen redes de drenaje, construyen diques, gestionan canales y utilizan pozos o ríos bajo concesión, además de monitorear calidad de laboratorio (**Tabla 3**).

Bebber (2023) coincide con estos manejos fitopatológicos e hídricos, al indicar que se requieren nuevos métodos de manejo de las enfermedades como los controles biológicos y que corresponden respuestas adaptativas al cambio climático. Los casos entrevistados y los tipos de manejo observados en fincas y en paisajes con plantaciones de banano son coincidentes. El reconocimiento de campo demostró incidencia de enfermedades y el uso de soluciones tanto artificiales (pediluvio, encauzamiento, gavión) como naturales (cerco vivo, vegetación controlada en cauce) (**Figura 4**).

Las agroindustrias frutícolas entrevistadas no incorporaron SbN

Las grandes empresas procesadoras de piña (1 caso) y de banano y plátano (1 caso) mencionan no tener riesgos fitopatológicos ni hídricos. Aun cuando señalan conocer las SbN, no se informan sobre avances, no las incorporan, no investigan, no innovan, ni se asocian con otras empresas al respecto (**Tabla 1**). Mientras la empresa procesadora de piña reveló otro concepto (inocuidad/limpieza) como paradigma tecnológico orientador de esta agroindustria (**Tabla 2**), aquella procesadora de banano y plátano no contempla, entre sus preocupaciones ambientales, las opciones basadas en la naturaleza (**Tabla 3**).

Se abren preguntas de investigación con respecto a los factores que impulsan estas conductas agroindustriales. Sobre lo anterior, Rueda et al. (2017) revelan la influencia de las condiciones nacionales, los arreglos en la cadena de suministro y los mercados finales en las estrategias agroindustriales. Además, se pueden investigar hipótesis como la falta de incentivos para la incorporación de SbN en procesadoras de piñas, banano y plátano, como insumos agroindustriales o para el aprovechamiento de sus residuos agroindustriales.

Tabla 3. Incorporación de SbN en empresas productoras o procesadoras de banano o plátano.

Table 3. Incorporation of NbS in banana or plantain production or processing companies.

Características de la empresa	Empresa multinacional productora y exportadora de banano (Sector Este)	Empresa multinacional productora y exportadora de banano (Puerto Viejo)	Gran empresa costarricense procesadora de banano y plátano para exportación y mercado interno (Puerto Viejo)
Las enfermedades (bióticas) del rubro, problemas y su manejo	<u>Problemas:</u> "Sigatoka es siempre la prioridad"; "pérdidas en muy pocos casos"; <u>Manejo:</u> integrado (químico y cultural); entrada con bioseguridad; mapas de incidencia; sistema integrado con estrategia por nivel; avión complementado con helicóptero/dron	<u>Problemas:</u> "son de Sigatoka negra y Moko"; <u>Manejo:</u> integrado (alternativas culturales, sintéticas o naturales); umbrales; análisis semanal en Sigatoka; aplicación con avión, drones y camión cisterna; drenajes; control malezas; saneo (corte hojas)	<u>Problemas:</u> "No ha habido pérdida en la agroindustria" (en cultivos hay enfermedades); <u>Manejo:</u> quitamos la cáscara; tostamos en una gran parrilla/paila con aceite
Las aguas locales (finca, instalación), problemas y su manejo	<u>Excesos:</u> problemas de inundaciones del río; <u>Manejo:</u> integrado; monitoreamos el uso; nos abastecemos con pozos; usamos agua lluvia (aplicaciones aéreas); en empacadora, recirculamos y pasamos las aguas residuales por rejillas; mantenemos los drenes en fincas; construimos diques en río; apoyamos a otros actores (maquinaria)	<u>Excesos:</u> pérdida de raíces, infección, intoxicación (hierro, manganeso); <u>Manejo:</u> se mantiene red de drenaje; el abastecimiento es mayoritariamente con pozos; el riego estival (aspersión subfoliar) es con concesión (ríos); tenemos laboratorio de aguas y reportamos calidad; aguas usadas en empacadoras van a lagunas	<u>Problemas:</u> no hemos tenido; <u>Manejo:</u> la fuente abastecimiento es agua potable; muchas aguas se reutilizan
Familiaridad con las SbN (concepto o significado, conocimiento e información de avances)	"veo una moda, una onda"; "estos temas se piden mucho" (conservación suelos, agricultura regenerativa, organismos biológicos); es un nuevo concepto que nos ha exigido movernos; nos comunican proveedores (con un nuevo producto), empresas asociadas o averiguamos	"queremos darle énfasis o el beneficio de la duda a este tipo de productos"; nos mantenemos informados (literatura, universidades, privados, compañías, congresos)	"a nivel industrial, tenemos otro tipo de cosas que impactan al medio ambiente" (energía, agua); no tomamos conocimiento; de lo que la investigación va generando; no nos informamos de avances en estas soluciones; todo esto llega a través de lobby gerencial
La incorporación de SbN (uso previo, adopción, adaptación, rentabilidad, limitaciones)	tenemos un vivero para reforestación a gran escala; lo que no se implementa es porque no da el beneficio adecuado; algunos productos o prácticas no son tan eficientes (quedan con mala fama); algunos sí y los hemos dejado (microorganismos de montaña para degradar el pinzote, cobertura vegetal del suelo, extractos orgánicos para controlar plagas); se ha tenido que hacer adaptaciones	Hacemos barbecho o rotación en áreas con baja productividad; se adoptan SbN con requisitos: impacto, disposición de trabajador, eficacia (es mayoritariamente baja) y costo; hemos adoptado (fermentación microbiana); hemos hecho adaptaciones y evaluado su rentabilidad. Limita que algunas (ej.: tratamiento de aguas) requieren adaptar tecnología y falta el inventivo financiero	no se ve interesante o la necesidad de adoptar SbN; tenemos una planta de tratamiento para dejar los niveles del agua aptos permitidos por ley
La (pre)inversión en SbN (investigación, desarrollo, innovación, alianzas empresariales)	tenemos un departamento de investigación bastante grande (para nosotros); cuando es especializado acudimos a universidades y CORBANA; hemos probado cosas hechas por nosotros y de proveedores; no hemos innovado tanto, trabajamos en incorporar desechos orgánicos al suelo de la plantación	invertimos; no somos tan fuertes en investigación básica; hacemos investigación completamente integrada; la investigación y evaluación de productos de origen natural es sin filtro previo; la innovación es parte del mandato; promovemos alianzas para soluciones naturales, similares o mixtas con otras empresas	no se hace investigación y desarrollo en SbN; no se contempla alianza empresarial al respecto; no hemos explorado ser proveedores de SbN



Figura 4. Soluciones de manejo observadas en fincas productoras de banano en la cuenca del río Sarapiquí. P: pediluvio de bioseguridad; D: dren de escorrentía; G: gavión en cauce; C: cerco vivo.

Figure 4. Management solutions observed on pineapple farms in the Sarapiquí river watershed. E: crop disease; P: biosecurity footbath; D: runoff drain; G: in-stream gabion; C: living fence.

Conclusiones

Las empresas productoras de piña, más numerosas y concentradas en el sector oeste de la cuenca, participaron menos en este estudio (en comparación con las industrias productoras de banano), lo que refleja una actitud empresarial diferente, que abre preguntas de investigación y la posibilidad de sesgo analítico hacia empresas más avanzadas.

En la producción de piña, el proceso de incorporación de SbN varió entre empresas. Se observaron en fincas diversas soluciones artificiales de manejo (producción convencional), de las cuales, algunas degradan tierras (erosión de suelo, quema de rastrojo). Las empresas que participaron tendrían un mayor uso de SbN; declararon niveles de incorporación de SbN (alta en las empresas orgánica y europea) y de reúso de residuos como SbN (cáscara para ganaderos). La agricultura orgánica confluye con el paradigma de la incorporación de SbN, mientras que el de manejo integrado incluye a las SbN solamente como una opción. La preinversión en investigación y desarrollo en productoras de piña destaca en las empresas de capital europeo y multinacionales. En la cadena de la piña en la cuenca, predomina una cultura productiva convencional sobre otra de transformación hacia opciones naturales. El paradigma de SbN discierne y ayuda a contrastar ambas culturas agroambientales.

Por otro lado, en la producción de banano, la cuenca tendría un empresariado familiarizado con las SbN, aun cuando su incorporación esté condicionada a resultados. Las multinacionales participantes declararon conocimiento, investigación y adopción de SbN en el marco del paradigma tecnológico de manejo fitosanitario integrado, así como alianzas empresariales y con otros actores.

A diferencia de la producción primaria, las empresas de procesamiento de piña y de banano o plátano participantes mostraron desinterés por usar SbN, por carencia de incentivos regulatorios y comerciales.

El proceso de incorporación de SbN en la cuenca es complejo y dependería de factores como: eficacia y estabilidad, costos y rentabilidad, capacidad y cultura empresarial, certificaciones y fomento. Este estudio contribuye con información empírica sobre dos núcleos empresariales de la cuenca y propicia futuros temas de investigación: 1) factores de adopción diferencial entre empresas, 2) viabilidad de SbN específicas, 3) perspectivas de otros actores sobre el uso efectivo de SbN en ambas cadenas, 4) innovación asociativa e incentivos para SbN en la agroindustria.

Literatura citada

- Adeoye-Olatunde, O. A., & Olenik, N. L. (2021). Research and scholarly methods: Semi-structured interviews. *JACCP Journal of the American College of Clinical Pharmacy*, 4(10), 1358-1367. <https://doi.org/10.1002/jac5.1441>
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (2022, 31 de marzo). *Ley para el desarrollo sostenible de la cuenca del río Sarapiquí y la protección de su cauce principal* [No. 10152]. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC¶m2=1&nValor1=1&nValor2=96811&nValor3=129887&strTipM=TC&IResultado=1&nValor4=1&strSelect=sel
- Bankowska, K., Osiewicz, M., & Pérez-Duarte, S. (2015). Measuring nonresponse bias in a cross-country enterprise survey. *Austrian Journal of Statistics*, 44(2), 13-30. <https://doi.org/10.17713/ajs.v44i2.60>
- 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), 12-17.
- Bebber, D. P. (2023). The long road to a sustainable banana trade. *Plants People Planet*, 5(5), 662-671. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10331>
- Bhatia, M. S., & Gangwani, K. K. (2021). Green supply chain management: Scientometric review and analysis of empirical research. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124722>
- Charlton, K., & Robinson, P. A. (2019). A qualitative investigation of the attitudes and practices of farmers and veterinarians in wales regarding anthelmintic resistance in cattle. *Veterinaria Italiana*, 55(4), 327-337. <https://doi.org/10.12834/VetIt.1848.9845.3>

- 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), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165824>
- Dempere, J., Udjo, E., & Mattos, P. (2024). The Entrepreneurial Impact of the European Directive on Corporate Sustainability Due Diligence. *Administrative Sciences*, 14(10), 1-30. <https://doi.org/10.3390/admsci14100266>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2025). The state of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2025 – The potential to produce more and better. <https://doi.org/10.4060/cd7488en>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2026). FAOSTAT: Crops and livestock products; Commodities by country. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- García Cascante, I., & Valenciano Salazar, J. A. (2016). Inversión extranjera directa y cadenas agroindustriales de Costa Rica: hacia una tipología. *Economía y Sociedad*, 21(49), 1-21. <https://doi.org/10.15359/eys.21-49.3>
- Gobierno de Costa Rica. (2021). *Agenda Agroambiente con miras al 2030*. Ministerio de Agricultura y Ministerio de Ambiente y Energía. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-12155.pdf>
- Guevara, A., Arce, R., & Guevara, P. (2017). *Impacto económico, social y ambiental de la piña en Costa Rica*. Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP), INCAE Business School y CLACDS. <https://canapep.com/wp-content/uploads/2024/05/Informe-Final-CANAPEP.pdf>
- Hejazi, M., Grant, J. H., & Peterson, E. (2022). Trade impact of maximum residue limits in fresh fruits and vegetables. *Food Policy*, 106, 1-12. <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 ecoistémicos en Costa Rica*. PNUD-Costa Rica. <https://impactoplaguicidas.cr/wp-content/uploads/2022/05/Impacto-potencial.pdf>
- 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), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su15054475>

- Mendez, A., Castillo, L. E., Ruepert, C., Hungerbuehler, K., & Ng, C. A. (2018). Tracking pesticide fate in conventional banana cultivation in Costa Rica: A disconnect between protecting ecosystems and consumer health. *Science of the Total Environment*, 613-614(2018), 1250-1262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.172>
- 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*. CEPAL, Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 210 (LC/TS.2022/43). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47886/1/S2200230_es.pdf
- Olmos Carbonell, E. (2025). Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión del agua: potencial, desafíos y política de investigación de la Unión Europea. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*, (7), 149-167. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad.28630>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2024). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2024*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/74da57ed-en>
- 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>
- Raju, C., Pazhanivelan, S., Perianadar, I. V., Kaliaperumal, R., Sathyamoorthy, N. K., & Sendhilvel, V. (2024). Climate change as an existential threat to tropical fruit crop production: A review. *Agriculture*, 14(2018), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agriculture14112018>
- 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>
- Robinson, O. C. (2013). Sampling in interview-based qualitative research: A theoretical and practical guide. *Qualitative Research in Psychology*, 11(1), 25-41. <https://doi.org/10.1080/14780887.2013.801543>
- Rueda, X., Garrett, R. D., & Lambin, E. F. (2017). Corporate investments in supply chain sustainability: Selecting instruments in the agri-food industry. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2480-2492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.026>

- Samper, M., Martínez, M., & González, H. (2022). *Medición y caracterización de los espacios rurales en Costa Rica a partir de estadísticas nacionales: elementos conceptuales, metodología aplicada y resultados principales*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47916-medicion-caracterizacion-espacios-rurales-costa-rica-partir-estadisticas>
- Sapak, Z., & Nusaibah, S. A. (2024). Common diseases in pineapple and their management. In *Advances in Tropical Crop Protection* (pp. 85-104). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59268-3_7
- Scortichini, M. (2022). Sustainable management of diseases in horticulture: Conventional and new options. *Horticulturae*, 8(6), 1-31. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060517>
- Sobrinho Junior, M. F., Ramirez Hernandez, M. C., Albano Amora, S. S., & Costa de Morais, E. R. (2022). Perception of environmental impacts of wind farms in agricultural areas of northeast brazil. *Energies*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.3390/en15010101>
- 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 & Social Science*, 97, 1-34. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102954>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *State of finance for nature. Time to act: Doubling investment by 2025 and eliminating nature-negative finance flows*. ONU Programa para el Medio Ambiente. https://foes.de/publikationen/2022/UNEP_2022_State_of_Finance_for_Nature.pdf
- Universidad de Costa Rica (UCR). (2018). *Monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua, y de residuos de plaguicidas en frutas Mapas de vulnerabilidad para bromacil y ametrina*. Centro de Investigación en Contaminación Ambiental.
- 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>

