



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO
MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DEL BANANO ECUATORIANO:
HUELLA HÍDRICA, IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS
DE MANEJO AGRÍCOLA**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Mario Jordy Pinela Guale

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO
MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DEL BANANO ECUATORIANO:
HUELLA HÍDRICA, IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS
DE MANEJO AGRÍCOLA**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Mario Jordy Pinela Guale

Tutor: Ing. Paola Kimberly Ramón Mazzini, Mgtr.

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen Complexivo presentado por **MARIO JORDY PINELA GUALE** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Titulación **APROBADO** el: 12/08/2926



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ANGEL RODOLFO LEON
MEJIA**

Ing. Ángel Rodolfo León Mejía, MSc.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**PAOLA KIMBERLY
RAMON MAZZINI**

Ing. Paola Ramon Mazzini, Mgtr.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera , Mgtr.
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter Complexivo Titulado **“SOSTENIBILIDAD HIDRICA DEL BANANO ECUATORIANO: HUELLA HIDRICA, IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS DE MANEJO AGRICOLA”** y elaborado por **Mario Jordy Pinela Guale**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

MARIO JORDY
PINELA GUALE

Firmado digitalmente por
MARIO JORDY PINELA
GUALE
Fecha: 2026.09.11 23:26:07
-05'00'

Firma del estudiante

DEDICATORIA

Este triunfo académico se lo dedico con todo mi corazón a las dos mujeres más importantes de mi vida: a mi madre, por ser mi pilar fundamental, mi mayor fuente de inspiración y el ejemplo vivo de perseverancia, cuyo amor incondicional, sacrificios silenciosos, desvelos y oraciones constantes fueron la fuerza que me impulsó a superar cada obstáculo en este camino; y a mi novia, por su paciencia infinita, por ser mi refugio en los momentos de mayor tensión, y por creer en mi potencial incluso cuando yo mismo dudaba, brindándome una compañía y una complicidad que hicieron este largo viaje mucho más ligero y feliz. A ambas les entrego este logro, porque este título no me pertenece solo a mí, sino que es el fruto directo de su entrega, sus palabras de aliento y su apoyo incondicional, demostrándome que con su amor a mi lado no existen metas inalcanzables.

AGRADECIMIENTOS

Mediante este texto quiero agradecer a mi familia, por ser mi puerto seguro, mi motor y mi fuente inagotable de amor e inspiración. Su fe ciega en mis capacidades fue el faro que iluminó cada momento de duda, recordándome siempre quién soy y de lo que soy capaz. Gracias por la paciencia infinita y por celebrar cada pequeño avance como si fuera el destino final.

A mis tutores y profesores, tanto a quienes me acompañaron al inicio como a quienes guiaron mis últimos pasos. Cada uno de ustedes, con sus diferentes perspectivas, exigencias y valiosos conocimientos, aportó una pieza fundamental para moldear no solo este trabajo de investigación, sino también mi carácter y mi visión profesional. Gracias por enseñarme que los cambios de rumbo son también oportunidades de aprendizaje.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo/a. Por la paciencia acumulada durante este largo maratón, por las noches de desvelo transformadas en ideas y por la fuerza interna para levantarme cada vez que el camino se tornaba difuso. Esta tesis es el testimonio de que el tiempo de Dios es perfecto, de que los procesos largos forjan las mejores recompensas y de que rendirse nunca fue una opción. ¡lo logramos!

RESUMEN

La sostenibilidad hídrica en la producción de banano en Ecuador es un aspecto fundamental, debido a la elevada demanda de agua que requiere este cultivo. Al ser uno de los principales productos de exportación del país, su manejo implica retos importantes relacionados con el uso eficiente del recurso hídrico y la reducción de impactos ambientales.

Para analizar este tema, se utiliza el concepto de huella hídrica, el cual se divide en tres componentes: agua verde (proveniente de la lluvia), agua azul (destinada al riego) y agua gris (asociada a la dilución de contaminantes). En el caso del banano ecuatoriano, estos componentes evidencian un consumo considerable de agua, especialmente en sistemas de riego intensivo, así como efectos negativos vinculados al uso de fertilizantes y productos químicos.

Entre los principales problemas ambientales destacan el alto consumo de agua, la contaminación de fuentes hídricas y las alteraciones en el equilibrio natural del ciclo del agua en las zonas de cultivo. Asimismo, la fuerte dependencia del riego en determinadas regiones puede afectar la viabilidad del cultivo a futuro, sobre todo en contextos de cambio climático.

Frente a esta situación, se plantean diversas estrategias de manejo agrícola sostenible, como la implementación de sistemas de riego más eficientes, el uso de coberturas vegetales para conservar la humedad del suelo, la disminución del uso de agroquímicos y el seguimiento constante de la huella hídrica. Estas prácticas buscan optimizar el uso del agua, mitigar impactos ambientales y asegurar la continuidad productiva.

En síntesis, lograr una producción bananera sostenible en Ecuador implica adoptar enfoques que equilibren la rentabilidad económica con la protección y el uso responsable de los recursos hídricos.

Palabras claves: Huella hídrica, erosión, sostenibilidad, cobertura vegetal, rentabilidad, recursos.

ABSTRACT

Water sustainability in banana production in Ecuador is a fundamental aspect, due to the high water demands of this crop. As one of the country's main export products, its management involves significant challenges related to the efficient use of water resources and the reduction of environmental impacts.

To analyze this issue, the concept of water footprint is used, which is divided into three components: green water (from rain), blue water (used for irrigation), and grey water (associated with the dilution of pollutants). In the case of Ecuadorian bananas, these components demonstrate considerable water consumption, especially in intensive irrigation systems, as well as negative effects linked to the use of fertilizers and chemicals.

Among the main environmental problems are high water consumption, pollution of water sources, and alterations in the natural balance of the water cycle in cultivation areas. Furthermore, the heavy reliance on irrigation in certain regions can affect the future viability of the crop, especially in the context of climate change. Faced with this situation, various sustainable agricultural management strategies are being considered, such as the implementation of more efficient irrigation systems, the use of cover crops to conserve soil moisture, the reduction of agrochemical use, and the constant monitoring of the water footprint. These practices aim to optimize water use, mitigate environmental impacts, and ensure continued production.

In summary, achieving sustainable banana production in Ecuador involves adopting approaches that balance economic profitability with the protection and responsible use of water resources.

Keywords: Water footprint, erosion, sustainability, vegetation cover, profitability, resources.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema.....	2
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos Específicos	3
1 MÉTODOLOGÍA	4
1.1 Tipo de investigación.....	4
1.2 Estrategia de búsqueda bibliográfica	4
1.3 Criterios de inclusión.....	5
1.4 Criterios de exclusión	5
1.5 Selección de estudios mediante el protocolo PRISMA	6
1.6 Extracción y análisis de la información	8
1.7 Matriz de extracción de información de los estudios seleccionados	8
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1 El banano ecuatoriano.....	9
2.2 Huella hídrica	9
2.2.1 Agua verde.....	10
2.2.2 Agua azul.....	10
2.2.3 Agua gris	10
2.3 Huella hídrica en el banano.....	11
2.4 Utilización del agua en el ámbito agrícola.....	11

2.5	Eficiencia del uso del agua en banano	12
2.6	Impactos ambientales asociados al manejo del recurso hídrico	12
2.6.1	Contaminación por fertilizantes nitrogenados	12
2.6.2	Lixiviación de nutrientes	12
2.6.3	Contaminación del agua	12
2.6.4	Degradación del suelo.	13
2.6.5	Déficit hídrico	13
2.6.6	Contaminación de ríos	13
2.7	Estrategias de manejo agrícola sostenible.....	13
2.7.1	Tipos de riego en la producción bananera	13
2.7.2	Uso eficiente del agua	14
2.7.3	Sostenibilidad hídrica.....	14
2.7.4	Sensores de humedad	14
2.7.5	Fertilización racional.....	14
2.7.6	Cobertura vegetal.....	15
2.7.7	Economía circular	15
2.7.8	Buenas prácticas agrícolas (BPA).....	15
2.7.9	Certificaciones	16
3	CONCLUSIONES	17
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagrama del flujo PRISMA.....	7
Tabla 2. Matriz de información.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Ficha del cultivo de banano.....	9
---	---

INTRODUCCIÓN

Dentro del sector agropecuario, el cultivo del banano se manifiesta como una de las actividades económicas más importantes, tanto por su exportación y a la vez la generación de empleo. Para la producción de banano se presenta una demanda importante de recursos naturales, en los cuales el agua constituye un componente esencial para mantener el desarrollo y la productividad del cultivo. Por tal razón, la sostenibilidad hídrica tiene relevancia dentro de los ámbitos productivos, este ayuda a analizar la eficiencia en la utilización de este recurso y la relación con la conservación ambiental.

En este contexto, el estudio se orienta en el análisis de la demanda hídrica asociada a la producción de banano, los impactos relacionados con su manejo, considerando la disponibilidad del recurso, la calidad de las fuentes y la necesidad de sistemas de riego para satisfacer las necesidades del cultivo. Estos factores tienen mayor importancia frente a la variabilidad climática y la presión sobre los recursos naturales.

La comprensión de la investigación abarca las dimensiones científicas, ambiental, social y ámbito productivo. En el ámbito científico, el presente contribuye al análisis de la huella hídrica, y su relación con prácticas agrícolas. Desde la vista ambiental y social, se resalta la necesidad de promover responsablemente el agua, considerando la productividad agrícola y la consideración de poblaciones relacionadas con las zonas ligadas con la producción. Por otra parte, en el ámbito productivo muestra considerar estrategias guiadas en mejorar el uso del recurso hídrico, optimizar los costos de producción, y favorecer la competencia en mercados internacionales.

Problema:

La producción de Banano es una de las actividades agroexportadoras más importantes del país, tiene gran impacto en la economía nacional, la amplitud de empleo y su participación en el mercado internacional de exportación. El país es reconocido mundialmente como uno de los principales exportadores de banano, por lo que este cultivo representa una fuente significativa de ingresos para miles de productores y familias vinculadas directa e indirectamente a la cadena productiva. No obstante, el crecimiento y mantenimiento de este sistema agrícola demandan grandes cantidades de recursos naturales especialmente agua, utilizada en las diferentes etapas del cultivo, manejo agronómico, procesamiento y postcosecha.

(Aldaya *et al.*, 2012) indica que la huella hídrica es un indicador que permite evaluar el uso del agua dentro de la producción. Se divide en tres componentes: el agua verde, que corresponde principalmente al agua de lluvia aprovechada por el cultivo; el agua azul, relacionada con las fuentes superficiales y subterráneas utilizadas para el riego; y el agua gris, que representa el volumen necesario para asimilar la contaminación generada por las actividades agrícolas. A pesar de la importancia de este enfoque, existe limitada información sistematizada sobre la sostenibilidad hídrica aplicada específicamente a la producción bananera ecuatoriana y sobre las estrategias de manejo que podrían contribuir a reducir la presión sobre el recurso hídrico.

Así mismo, las exigencias actuales de los mercados internacionales y de las certificaciones ambientales al incrementado la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles orientadas a la utilización eficiente del agua, a la vez reducción de impactos ambientales y fortalecimiento de la sostenibilidad productiva. Entre estas prácticas destaca en el riego tecnificado, la fertilización racional, el manejo adecuado de efluentes, la reutilización de agua y la aplicación de las buenas prácticas agrícolas. Sin embargo, muchos productores aún enfrentan limitaciones técnicas, económicas e informativas para adoptar estas estrategias de manera eficiente.

Por ello, se plantea la necesidad de realizar una revisión bibliográfica sobre la sostenibilidad hídrica en la producción del banano ecuatoriano, con el propósito de analizar la huella hídrica, comprender los impactos ambientales asociados al uso del agua e identificar el

manejo agropecuario sostenible que permitan mejorar la eficiencia hídrica y contribuir a la sostenibilidad del sistema productivo bananero.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera determina la huella hídrica la sostenibilidad del sector bananero en Ecuador y cuáles son las prácticas agrícolas que mitigan su impacto ecológico para cumplir con los estándares internacionales?

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la sostenibilidad hídrica de la producción de banano dentro del país, a través de una revisión bibliográfica de la huella hídrica, impactos ambientales y estrategias de manejo agrícola, para reconocer y brindar alternativas que mejoren la eficiencia del recurso hídrico y sostenibilidad de la producción

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los constituyentes de la huella hídrica, valorando el manejo de aguas verdes, azul y gris en las fases del cultivo y en el proceso de empacado del banano.
2. Examinar los principales impactos ambientales asociados al manejo del recurso hídrico en la producción, incluyendo en consumo de este, contaminación por fertilizantes y plaguicidas, la generación de efluentes, la lixiviación de nutrientes y la afectación de la calidad del agua.
3. Determinar estrategias de manejo agropecuario sostenible que contribuyan a reducir la huella hídrica, enfatizado al riego eficiente, fertilización racional, el manejo de efluentes, las BPA, la economía circular y las certificaciones ambientales.

1 METODOLOGÍA

1.1 *Tipo de investigación*

La presente investigación realizada en meses desde el mes de marzo a Julio, corresponde a una revisión bibliográfica de carácter descriptivo e integrador, orientada a recopilar, analizar y sintetizar evidencia científica relacionada con la sostenibilidad hídrica en la producción bananera ecuatoriana. La revisión se desarrolló siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptadas al objetivo del estudio, con el fin de garantizar transparencia y reproducibilidad en el proceso de selección de la literatura científica.

1.2 *Estrategia de búsqueda bibliográfica*

La búsqueda de información se realizó en las principales bases de datos científicas internacionales:

- Scopus
- Web of Science
- ScienceDirect
- Google Scholar
- Repositorio Institucional de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

Se utilizaron combinaciones de palabras clave en español e inglés mediante operadores booleanos (AND y OR), entre ellas:

- "banana" OR "banana production"
- "water footprint"
- "water sustainability"
- "water management"
- "irrigation"
- "agricultural drainage"
- "water use efficiency"
- "environmental impact"
- "Good Agricultural Practices"
- "certification"
- "Ecuador"

La búsqueda se limitó principalmente a publicaciones comprendidas entre 2015 y 2025, aunque se incorporaron estudios clásicos ampliamente citados cuando fueron indispensables para sustentar conceptos fundamentales, como la huella hídrica propuesta y gestión sostenible del agua.

1.3 Criterios de inclusión

Se incluyeron estudios que cumplieron los siguientes criterios:

- Artículos científicos revisados por pares.
- Investigaciones relacionadas con producción bananera.
- Estudios sobre sostenibilidad hídrica.
- Investigaciones sobre huella hídrica.
- Trabajos de titulación del Repositorio Institucional de la UPSE relacionados con el manejo del agua en sistemas agrícolas.
- Investigaciones enfocadas en el cultivo de banano, sostenibilidad hídrica, riego, drenaje agrícola, impacto ambiental, certificaciones agrícolas y gestión eficiente del agua.
- Estudios referentes al uso eficiente del agua.
- Publicaciones en inglés y español.

Información aplicable a sistemas agrícolas tropicales y especialmente al Ecuador.

1.4 Criterios de exclusión

Se excluyeron:

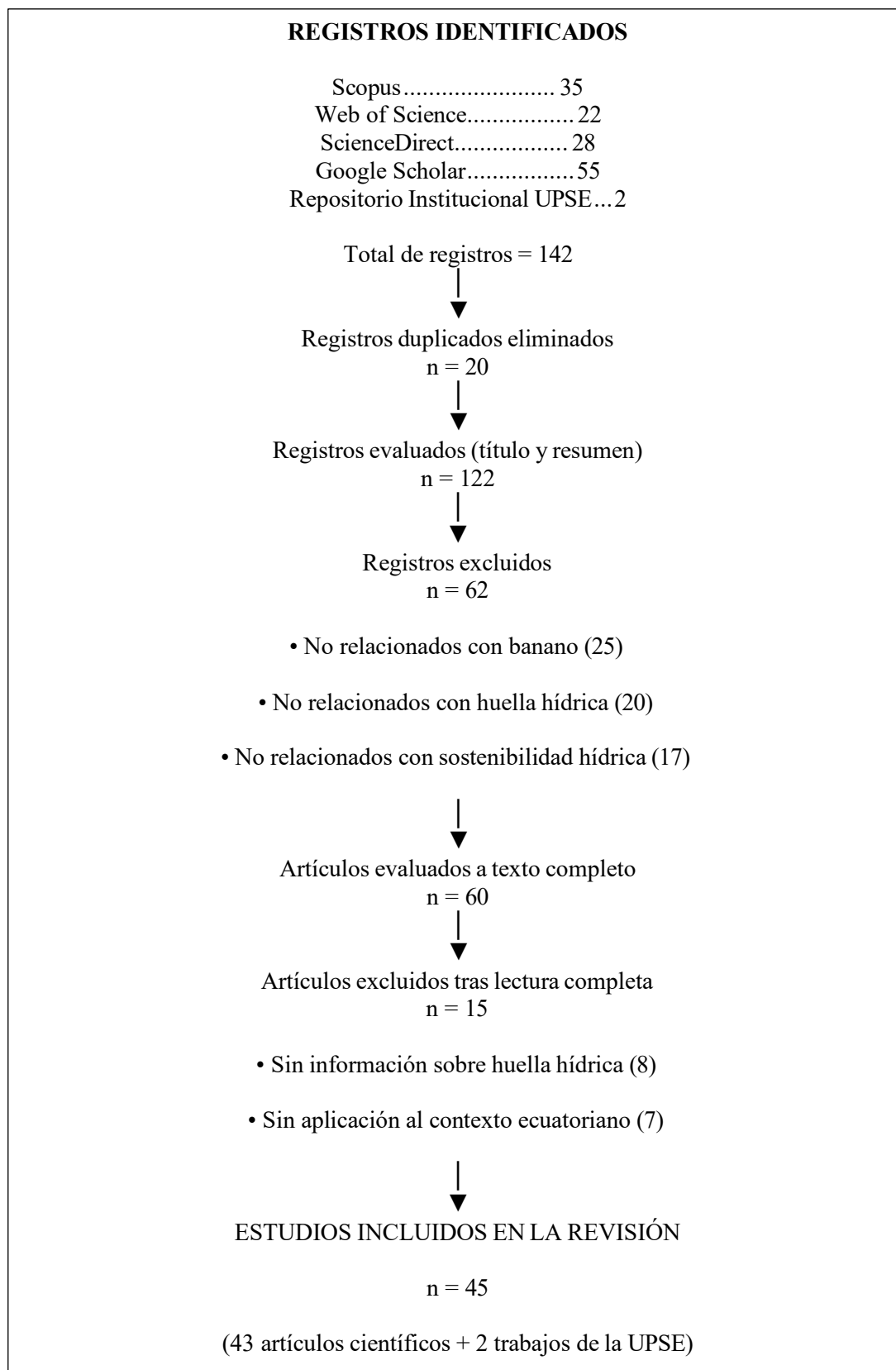
- Literatura gris sin revisión científica.
- Tesis no publicadas.
- Artículos duplicados.
- Estudios sin información relacionada con recursos hídricos.
- Investigaciones enfocadas exclusivamente en otros cultivos

1.5 Selección de estudios mediante el protocolo PRISMA

El proceso de selección se desarrolló conforme a las recomendaciones establecidas por la metodología PRISMA 2020. Se inicio con una investigación de registros, con bases de investigaciones científicas y en el Repositorio institucional de UPSE. Posteriormente se eliminaron los registros duplicados y se efectuó una revisión de títulos y resúmenes para verificar su pertinencia con el objetivo de la investigación. Finalmente, los documentos potencialmente elegibles fueron evaluados en texto completo, seleccionándose únicamente aquellos que aportaban información relevante sobre sostenibilidad hídrica, uso eficiente del agua, huella hídrica, drenaje agrícola, impacto ambiental y certificaciones aplicadas al cultivo de banano.

A continuación, se muestra los valores correspondientes al proceso de selección de literatura utilizado para esta revisión y se presentan con fines de transparencia metodológica, conforme a las directrices PRISMA 2020

Tabla 1. Diagrama del flujo PRISMA



1.6 Extracción y análisis de la información

Los artículos seleccionados fueron analizados de manera sistemática mediante una matriz de extracción de datos que permitió organizar información referente a:

- Autor y año de publicación.
- Información del lugar de estudio.
- Objetivo de la revisión.
- Metodología aplicada.
- Resultados localizados.
- Planes de manejo hídrico.
- Indicadores de sostenibilidad.
- Aportes para la sostenibilidad hídrica en la producción bananera.

Posteriormente se efectuó un análisis cualitativo comparativo de la evidencia científica, reconociendo, coincidencias, diferencias y vacíos de conocimiento relacionados con la sostenibilidad hídrica y las estrategias de manejo agrícola.

1.7 Matriz de extracción de información de los estudios seleccionados

Tabla 2. Matriz de información

Autor	Año	País	Base de datos	Objetivo	Variable hídrica	Principales resultados	Aplicabilidad al Ecuador
Mekonnen & Hoekstra	2011	Países Bajos	Web of Science	Cuantificar la huella hídrica	Agua verde, azul y gris	Metodología internacional de evaluación	Alta
Aldaya et al.	2012	España	Scopus	Evaluación de huella hídrica agrícola	Consumo de agua	Herramienta para agricultura sostenible	Alta
Gaviláñez et al.	2025	Ecuador	MDPI	Producción bananera sostenible	Uso eficiente del agua	Mejoras en eficiencia hídrica	Muy alta
Banchon	2021	Ecuador	Repositorio UPSE	Tesis	Riego		Alta
Cruz	2022	Ecuador	Repositorio UPSE	Tesis	Eficiencia de riego		Alta

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El banano ecuatoriano

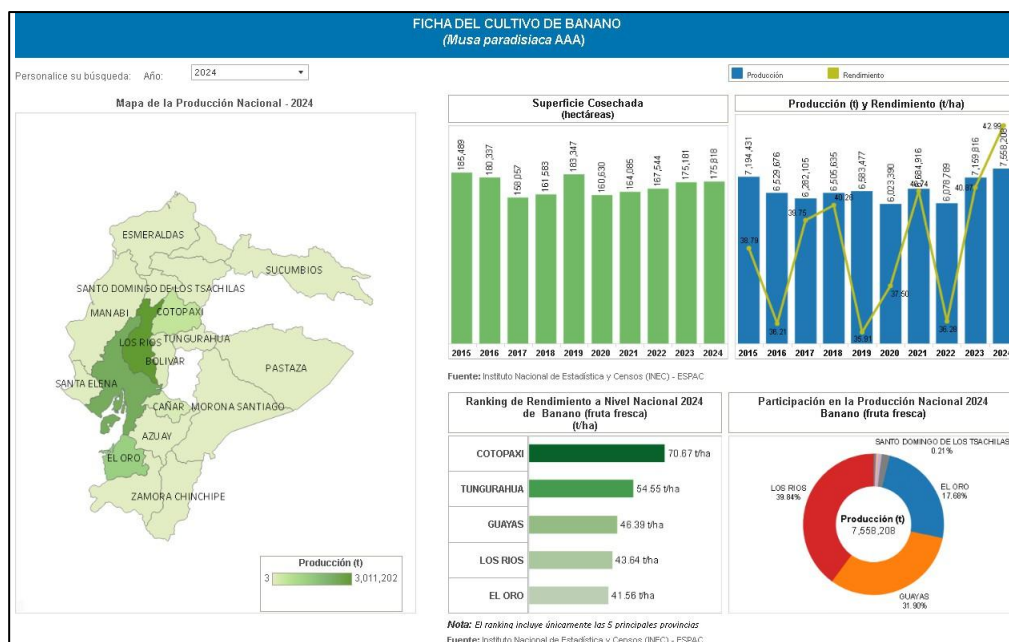


Ilustración 1. Ficha del cultivo de banano

En el 2024 la producción de Ecuador fue de 7.56 millones de toneladas en 175,818 ha. El rendimiento fue de 42.99t/ha, el más alto de los últimos 10 años.

Estando el 88% destinado desde la costa; Los Rios (39%), Guayas (32%), El Oro (18%). Sin embargo, se puede observar que Cotopaxi gana por una eficiencia con 70.67 t/ha. Mientras que Los Rios solo rinde 43.64 t/ha.

En el periodo de 2021 al 2024 fue uno de los mejores años en la producción en los últimos años registrados (Mazón, 2025).

2.2 Huella hídrica

La huella hídrica es un indicador que permite evaluar el volumen total de agua dulce utilizado a lo largo del ciclo de producción de un bien o servicio. Esta no se limita en el consumo del agua de manera directa, también se le suma el agua que se le incorpora de forma indirecta dentro de su sistema de producción. Por ello, la metodología distingue tres componentes: el agua verde, proveniente de la precipitación almacenada en el suelo; el agua azul, obtenida de fuentes superficiales y subterráneas destinadas principalmente al riego; y el agua gris, correspondiente al volumen de agua requerido para diluir los contaminantes generados hasta alcanzar concentraciones aceptables. Esta clasificación proporciona una

base científica para evaluar la sostenibilidad del uso del recurso hídrico y comparar la eficiencia entre diferentes sistemas de producción agrícola (Aldaya *et al.*, 2012).

La evaluación de la huella hídrica permite cuantificar el consumo y la contaminación de la producción, en ello la producción de banano requiere un suministro constante de agua durante todo el ciclo del cultivo para garantizar el crecimiento de la planta, el rendimiento y la calidad del fruto. La evaluación de la huella hídrica constituye una herramienta que permite cuantificar el volumen de agua consumida y contaminada durante el proceso productivo, diferenciando el agua verde, azul y gris, lo que facilita la identificación de oportunidades para aumentar la eficiencia del recurso hídrico y tener mayor reducción del impacto ambiental (FAO, 2017).

2.2.1 Agua verde

El componente de agua verde corresponde al agua de lluvia que se infiltra y queda almacenada en la zona radicular del suelo, donde posteriormente es utilizada por las plantas mediante procesos de absorción y evapotranspiración. Este tipo de agua es especialmente importante en los sistemas agrícolas porque representa la principal fuente hídrica para los cultivos de secano y complementa las necesidades hídricas en sistemas con riego. La cuantificación del agua verde permite evaluar el aprovechamiento de las precipitaciones y determinar la dependencia del cultivo respecto a otras fuentes de agua (Aldaya *et al.*, 2012).

2.2.2 Agua azul

La huella de agua azul hace referencia al volumen de agua dulce extraído de ríos, embalses, lagos y acuíferos para cubrir las necesidades de producción agrícola, principalmente mediante sistemas de riego. Este componente adquiere mayor relevancia en regiones donde las precipitaciones son insuficientes o presentan una marcada estacionalidad, ya que el rendimiento de los cultivos depende del aporte de agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas. Una gestión eficiente del agua azul contribuye a reducir la presión sobre los recursos hídricos y favorece la sostenibilidad de los sistemas productivos (Aldaya *et al.*, 2012a)

2.2.3 Agua gris

La huella de agua gris representa la cantidad de agua dulce que es necesaria para diluir los residuos de los contaminantes producidos durante las actividades agrícolas, esta hasta alcanzar los estándares de calidad el volumen de agua dulce necesario para diluir los

contaminantes generados durante las actividades productivas hasta alcanzar los estándares de calidad establecidos para los cuerpos de agua. En la agricultura, este componente está estrechamente relacionado con la lixiviación de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, así como con el uso de plaguicidas y otros agroquímicos. Por ello, la huella gris constituye un indicador del impacto potencial que las prácticas agrícolas pueden ejercer sobre la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (Aldaya *et al.*, 2012)

2.3 Huella hídrica en el banano

Según (Gavilánez Luna y Rodríguez Jarama, 2025) en Ecuador, la evaluación de la huella hídrica del banano demuestra que el consumo de agua varía según las condiciones climáticas, las características del suelo y las prácticas de manejo implementadas en cada finca. Obteniendo datos de una investigación de nueve plantaciones, se estableció una huella hídrica promedio de 351,4 m³ por tonelada de banano, compuesta por gran parte de agua azul en un 49% (172,0 m³/t) agua verde en un 45% (158,2 m³/t), la proporción del agua gris fue notablemente baja, dando un 6% (21,1 m³/t). Estos resultados manifiestan la eficacia del riego y de los insumos agrícolas anexado al impacto directo a la sostenibilidad de la producción.

También, se ha consolidado como un indicador estratégico para evaluar el desempeño ambiental de la industria bananera, ya que permite identificar las etapas del proceso productivo con mayor consumo de agua y establecer acciones de mejora. La FAO destaca que la medición sistemática de este indicador facilita la implementación de prácticas como la optimización del riego, la reutilización del agua en las empacadoras y el monitoreo continuo del consumo hídrico, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible (FAO, 2017)

2.4 Utilización del agua en el ámbito agrícola

El diseño de sistemas de riego para el cultivo de banano requiere un análisis previo de las características edáficas, climáticas e hidráulicas del sitio, ya que variables como la capacidad de campo, la velocidad de infiltración y la demanda hídrica del cultivo permiten determinar la cantidad de agua necesaria para optimizar su aprovechamiento y reducir pérdidas durante la aplicación del riego (Banchón Chonillo, 2021).

2.5 Eficiencia del uso del agua en banano

La planificación hidráulica del riego constituye un elemento fundamental para la sostenibilidad hídrica en las plantaciones bananeras, debido a que el dimensionamiento adecuado de tuberías, caudales y presiones favorece una distribución uniforme del agua, disminuyendo pérdidas por infiltración profunda y mejorando la eficiencia del recurso hídrico (Banchón Chonillo, 2021).

2.6 Impactos ambientales asociados al manejo del recurso hídrico

2.6.1 Contaminación por fertilizantes nitrogenados

La aplicación intensiva de fertilizantes nitrogenados en las plantaciones bananeras incrementa el riesgo de contaminación ambiental debido a la pérdida de nitrógeno por lixiviación y volatilización. Cuando las dosis aplicadas superan los requerimientos del cultivo, disminuye la eficiencia en el uso del nitrógeno y aumenta la concentración de nitratos en aguas superficiales y subterráneas, además de favorecer la emisión de óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero con elevado potencial de calentamiento global. Estas pérdidas reducen la eficiencia del sistema productivo y generan impactos negativos sobre la calidad del agua y el ambiente (Parraga *et al.*, 2026a)

2.6.2 Lixiviación de nutrientes

La lixiviación de nutrientes constituye uno de los principales mecanismos de contaminación asociados a la agricultura intensiva. En los sistemas bananeros, el nitrógeno y el fósforo que no son absorbidos por las plantas pueden desplazarse hacia capas profundas del suelo o alcanzar cuerpos de agua superficiales mediante el drenaje y la escorrentía, deteriorando la calidad del agua y aumentando la huella hídrica gris. La magnitud de este proceso depende de factores como la textura del suelo, la intensidad de las lluvias, el manejo del riego y las dosis de fertilización aplicadas (Mekonnen y Hoekstra, 2011)

2.6.3 Contaminación del agua

La etapa agrícola representa el principal foco de impacto ambiental dentro de la cadena productiva del banano, debido al elevado consumo de agua y al uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos. Estos insumos pueden incorporarse a las corrientes de escorrentía o infiltrarse hacia los acuíferos, afectando la calidad de los recursos hídricos. Por ello, la mayor parte de la huella hídrica y de los impactos ambientales del banano se concentra en el manejo del cultivo antes de la cosecha (Roibás, Elbehri y Hospido, 2015).

2.6.4 Degradación del suelo.

La permanencia del cultivo de banano durante varios años sobre un mismo terreno puede provocar un deterioro progresivo de la calidad del suelo. En plantaciones evaluadas durante un período de hasta quince años se observaron disminuciones en el pH, el fósforo disponible y variables relacionadas con el crecimiento y rendimiento del cultivo. Estos resultados evidencian que el manejo continuo sin estrategias adecuadas de conservación favorece la degradación del suelo y compromete la sostenibilidad del agroecosistema en el mediano plazo (Rofner, Sulca y Rojas, 2023).

2.6.5 Déficit hídrico

El incremento de la variabilidad climática ha intensificado los periodos de déficit hídrico en las zonas productoras de banano, generando una mayor dependencia del riego para mantener el crecimiento y la productividad del cultivo. En este contexto, el monitoreo de la humedad del suelo, el cálculo de la evapotranspiración y la programación eficiente del riego son herramientas fundamentales para reducir el estrés hídrico y optimizar el uso del agua frente a escenarios climáticos cada vez más variables (Panigrahi *et al.*, 2021)

2.6.6 Contaminación de ríos.

La contaminación de ríos y otros cuerpos de agua constituye uno de los principales impactos asociados a la huella hídrica gris en la agricultura. Este componente representa el volumen de agua necesario para diluir las cargas contaminantes derivadas del uso de fertilizantes y plaguicidas hasta cumplir los estándares de calidad establecidos. En consecuencia, la reducción de pérdidas de nutrientes y el manejo responsable de agroquímicos son estrategias esenciales para disminuir el riesgo de contaminación de los recursos hídricos (Mekonnen y Hoekstra, 2011)

2.7 Estrategias de manejo agrícola sostenible

2.7.1 Tipos de riego en la producción bananera

En la producción de banano, la selección del sistema de riego influye directamente en la utilización del agua y en respuesta fisiológica del cultivo frente al estrés hídrico. Dentro de la integración de información que comprende la evapotranspiración, humedad del suelo y condiciones climáticas permite ajustar la frecuencia y el volumen de riego, implementando

métodos para favorecer el uso más racional del recurso hídrico y una mayor estabilidad de la producción (*Panigrahi et al, 2021*))

2.7.2 *Uso eficiente del agua*

La determinación del sistema de riego constituye una herramienta esencial para optimizar el uso del agua en la producción del cultivo de banano. Al analizar la uniformidad de aplicación mediante indicadores técnicos, es posible identificar deficiencias en la distribución del recurso hídrico y establecer acciones de mejora que incrementen la eficiencia del riego y favorezcan un aprovechamiento más sostenible del agua (Cruz Mora, 2022).

2.7.3 *Sostenibilidad hídrica.*

La sostenibilidad de los sistemas agrícolas bajo riego depende de la interacción entre factores ambientales, económicos y sociales, por lo que la evaluación mediante indicadores permite identificar limitaciones en el manejo del agua y establecer estrategias para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola (Cadena-Piedrahita *et al.*, 2021).

La eficiencia en la aplicación del agua depende de la uniformidad del sistema de riego. Cuando esta es insuficiente, se generan pérdidas de agua y una distribución desigual en el cultivo, lo que puede afectar el desarrollo de las plantas e incrementar el consumo hídrico; por ello, el monitoreo periódico de los indicadores de desempeño constituye una práctica fundamental para fortalecer la sostenibilidad hídrica en la producción bananera (Cruz Mora, 2022).

2.7.4 *Sensores de humedad*

El monitoreo continuo de la humedad del suelo mediante sensores permite conocer con mayor precisión la disponibilidad de agua en la zona radicular del cultivo de banano. Esta información facilita la programación del riego de acuerdo con las necesidades reales de las plantas, evitando tanto el déficit como el exceso de agua. Como resultado, se mejora la eficiencia en el uso del recurso hídrico, se reduce el estrés de las plantas y se favorece una producción más sostenible (Panigrahi *et al.*, 2021).

2.7.5 *Fertilización racional*

La fertilización orgánica aplicada de forma continua en plantaciones bananeras contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, disminuir la acidificación y favorecer la actividad de las comunidades microbianas. Además, reduce las pérdidas de nutrientes por lixiviación y

mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que disminuye el riesgo de contaminación de los recursos hídricos y fortalece la sostenibilidad del sistema de producción. También a su vez uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de banano incrementa el riesgo de pérdidas de nitrógeno hacia el ambiente mediante lixiviación, escorrentía y emisiones gaseosas. En consecuencia, la fertilización basada en análisis de suelo, el fraccionamiento de las aplicaciones y el ajuste de las dosis según la demanda nutricional del cultivo mejoran la eficiencia del uso de los nutrientes y reducen los impactos ambientales asociados a la producción bananera (Parraga *et al.*, 2026).

2.7.6 Cobertura vegetal

La conservación de la cobertura del suelo representa una estrategia complementaria para mejorar la eficacia en la utilización del recurso hídrico en las plantaciones bananeras. Al favorecer la infiltración y reducir las pérdidas por escorrentía y evaporación, las coberturas vegetales contribuyen a disminuir la dependencia del riego, mejorar el balance hídrico del cultivo y fortalecer la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción (Gaviláñez Luna y Rodríguez Jarama, 2025).

2.7.7 Economía circular

La sostenibilidad del sector bananero requiere la adopción de modelos productivos que optimicen el uso de los recursos naturales y reduzcan la generación de residuos a lo largo de toda la cadena de valor. La incorporación de prácticas de economía circular, junto con el uso eficiente del agua y la gestión responsable de insumos agrícolas, mejora la competitividad del sector y contribuye a enfrentar los desafíos ambientales derivados del cambio climático y de las crecientes exigencias de los mercados internacionales (FAO, 2026).

2.7.8 Buenas prácticas agrícolas (BPA)

En la producción bananera, la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas favorece la reducción de la huella hídrica mediante el uso eficiente del riego, el monitoreo del consumo de agua, la aplicación racional de fertilizantes y el manejo adecuado de los efluentes generados durante el proceso de producción y empaque. Estas acciones contribuyen a mejorar la eficiencia del uso del agua y a disminuir los riesgos de contaminación de los cuerpos hídricos (FAO, 2017)

Los estándares de Buenas Prácticas Agrícolas establecidos por GlobalG.A.P. ellos impulsan una dirección unificada de recursos naturales, incluyendo el uso moderado del agua, la

seguridad de las fuentes hídricas y el chequeo de las actividades agrícolas que podrían afectar al medio ambiente. Asimismo, estos lineamientos fomentan el cumplimiento de criterios de sostenibilidad, trazabilidad y seguridad alimentaria, aspectos fundamentales para la competitividad del banano en los mercados internacionales (BananaExport, 2025)..

2.7.9 Certificaciones

En el área de certificaciones ambientales se analizaron tres certificaciones vinculadas directamente con la sostenibilidad hídrica, debido a su importancia como herramientas de gestión ambiental y a su reconocimiento dentro del sector bananero exportador.:

- **Global G.A.P.:** se enfoca en el manejo del agua, la trazabilidad de esta y las BPA.
- **Rainforest Alliance:** se maneja en la conservación de ecosistemas, la protección de fuentes de agua y la biodiversidad del entorno donde está la producción.
- **Fairtrade International:** se maneja la certificación de productos de comercio justo, compete la sostenibilidad ambiental, desarrollo social y uso responsable de los recursos (BananaExportNw, 2025)

3 CONCLUSIONES

- La revisión bibliográfica evidenció que la sostenibilidad hídrica constituye un componente estratégico para la producción bananera ecuatoriana, debido a que el uso eficiente del agua influye directamente en la productividad del cultivo, la conservación de los recursos naturales y la competitividad del sector en los mercados internacionales. La integración de literatura científica internacional y de investigaciones desarrolladas en el contexto ecuatoriano permitió obtener una visión amplia sobre las principales estrategias de manejo del recurso hídrico.
- La evidencia analizada indica que la implementación de tecnologías de riego eficientes, el monitoreo de la humedad del suelo, la programación del riego con base en los requerimientos hídricos del cultivo y la evaluación periódica de los sistemas de distribución del agua contribuyen significativamente a optimizar el consumo del recurso y a reducir pérdidas por aplicación ineficiente. Estas prácticas representan alternativas viables para fortalecer la resiliencia del sector bananero frente a los efectos del cambio climático y a la creciente presión sobre la disponibilidad de agua.
- El estudio permitió identificar que el drenaje agrícola no debe considerarse únicamente como un mecanismo para evacuar excedentes de agua, sino como un componente esencial de la gestión hídrica. El tratamiento, control y posible reutilización del agua drenada mediante reservorios, lagunas de sedimentación o sistemas naturales de filtración pueden disminuir el transporte de sedimentos, nutrientes y agroquímicos hacia los cuerpos de agua, favoreciendo una producción agrícola con menor impacto ambiental y promoviendo principios de economía circular.
- Asimismo, se determinó que las certificaciones agrícolas y la adopción de Buenas Prácticas Agrícolas constituyen herramientas que impulsan una gestión responsable del recurso hídrico. Estándares como GLOBALG.A.P., Rainforest Alliance y Fairtrade incentivan la optimización del uso del agua, la protección de las fuentes hídricas y el monitoreo ambiental, fortaleciendo la sostenibilidad de la cadena productiva del banano ecuatoriano.

- Finalmente, la incorporación de trabajos académicos del Repositorio Institucional de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) complementó la evidencia científica internacional al aportar información técnica desarrollada en condiciones locales sobre sistemas de riego y eficiencia en el uso del agua. Esta integración permitió contextualizar los resultados al ámbito ecuatoriano y evidenció la importancia de fortalecer la investigación aplicada para continuar desarrollando estrategias que contribuyan a una gestión sostenible del recurso hídrico en la producción bananera.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldaya, M.M., Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. y Mekonnen, M.M. (2012). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Routledge. DOI: 10.4324/9781849775526.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan.

BananaExport (2025) *GLOBALG.A.P. | Smart farm assurance solutions, GLOBALG.A.P.* Disponible en: <https://globalgap.org/> (Accedido: 13 de julio de 2026).

BananaExportNw (2025) «Globalgap la certificación más virilizada en el sector banano», *Banana Export*, 17 mayo. Disponible en: <https://bananaexport.com/2025/05/17/globalgap-la-certificacion-mas-virilizada-en-el-sector-banano/> (Accedido: 13 de julio de 2026).

Banchón Chonillo, J.A. (2021) «Diseño de un sistema de riego por aspersión en cultivo de banano para la finca el garrido ubicada en Calichana, cantón Pasaje, provincia del Oro». Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6363> (Accedido: 14 de julio de 2026).

Cadena-Piedrahita, D. *et al.* (2021) «Sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz situados dentro del sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador», *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(2), pp. 84-94. Disponible en: <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i2.522>.

Cruz Mora, E.A. (2022) «Evaluación de un sistema de riego por aspersión estacionario en el cultivo de banano en El Azúcar, provincia de Santa Elena». Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8814> (Accedido: 14 de julio de 2026).

FAO (2017) *Huella hídrica de la industria bananera | Foro Mundial del Banano | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Disponible en: https://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/water-footprint/en/?utm_source= (Accedido: 13 de julio de 2026).

FAO (2026) *Bananas | Markets and Trade | Food and Agriculture Organization of the United Nations, MarketsAndTrade*. Disponible en: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/major-tropical-fruits/> (Accedido: 13 de julio de 2026).

Gavilánez Luna, F.C. y Rodríguez Jarama, F. del R. (2025) «Sustainable Water Use in Banana Export Systems: A Water Footprint Analysis of Bananas in Guayas, Ecuador», *Water*, 17(24), p. 3475. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w17243475>.

Mazón, B. (2025) *BANANO ECUADOR, Tableau Public*. Disponible en: <https://public.tableau.com/app/profile/bmazon/viz/BANANOECUADOR/DASH1> (Accedido: 14 de julio de 2026).

Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2011) «The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products», *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), pp. 1577-1600. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.

Panigrahi, N. *et al.* (2021) «Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production», *Scientia Horticulturae*, 276, p. 109735. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>.

Parraga, H.D.A. *et al.* (2026a) «Evaluación del impacto ambiental del uso de fertilizantes nitrogenados en la producción de banano (*Musa spp.*): Environmental impact assessment of the use of nitrogen fertilizers in banana (*Musa spp.*) production», *Journal of Science and Research*, 11(1), pp. 113-128.

Parraga, H.D.A. *et al.* (2026b) «Evaluación del impacto ambiental del uso de fertilizantes nitrogenados en la producción de banano (*Musa spp.*): Environmental impact assessment of the use of nitrogen fertilizers in banana (*Musa spp.*) production», *Journal of Science and Research*, 11(1), pp. 113-128.

Rofner, N.F., Sulca, C.A.G. y Rojas, A.R. (2023) «Modelling of alluvial soil quality and production in permanent banana Harton plantations», *Soil and Water Research*, 18(3), pp. 192-203. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/22/2023-SWR>.

Roibás, L., Elbehri, A. y Hospido, A. (2015) «Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain»,

Sustainable Production and Consumption, 2, pp. 3-16. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.006>.