



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Cuantificación de la huella hídrica en la producción bananera:
Un estudio de caso en Bocas del Toro, Panamá**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como
requisito para optar por el grado de:**

MAGISTER SCIENTIAE

en

MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Mayelin Kiara Palacio Morales

Turrialba, Costa Rica

2019

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**



FIRMANTES:

Laura Benegas, Ph.D.
Codirectora de tesis

Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Codirector de tesis

Ney Ríos, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana Escuela de Posgrado

Mayelín Kiara Palacio Morales
Candidata

DEDICATORIA

Al Dios de propósitos, por darme la vida y oportunidad de alcanzar muchos logros profesionales, y es el CATIE una de esas hermosas experiencias.

A mi abuelo José Morales, quien en paz descansa, por inculcarme ese espíritu de superación a pesar de las barreras culturales que afrontamos día a día los pueblos indígenas.

A mi hijo Jacob, por ser mi motivación, así como a mis padres, hermanos, amigos y demás familiares por su apoyo moral y económico durante esta fase de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme y permitirme estudiar en esta prestigiosa casa superior de enseñanza CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en donde adquiriré nuevos retos, así como aprendizaje basados en lecciones aprendidas y experiencias en el ámbito profesional y personal.

Al Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos (IFARHU) de Panamá, los cuales me otorgaron la beca para mi desarrollo profesional y así aportar al sector ambiental y agropecuario de mi Panamá.

Al Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) de Panamá por otorgarme el permiso laboral para llevar a cabo esta Maestría en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

A mis codirectores de tesis: Laura Benegas y Francisco Jiménez quienes me guiaron durante este proceso tan importante de mi formación como investigadora, así como al profesor José Ney Ríos, miembro de mi comité consejero por sus recomendaciones y aportes significativos a la mejora continua de mi trabajo de tesis.

A la cooperativa Bananera COOBANA R.L., por brindarme su apoyo y tiempo durante la fase de campo, en especial a Samuel Abrego, Carlos Pérez y Diomedes Rodríguez.

A mis amigos y compañeros de promoción de CATIE, quienes me apoyaron en las situaciones difíciles, así como también compartimos buenos momentos y experiencias, para juntos lograr esta meta.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos del estudio	2
1.3 Marco referencial	3
1.3.1 Contexto del banano en Panamá y en la zona de estudio	3
1.3.2 Requerimientos climáticos del cultivo del banano	4
1.3.3 Perspectiva del recurso hídrico ante la variabilidad y el cambio climático	5
1.3.4 Variabilidad y cambio climático e impactos en la agricultura	6
1.3.5 Escenarios representativos de concentración (RCP)	6
1.3.6 Concepto de huella hídrica	7
1.3.7 Huella hídrica en la agricultura	8
1.3.8 Huella hídrica en diferentes actividades productivas	9
1.3.9 Procesos de la producción y procesamiento de la actividad bananera	11
1.3.10 Normas ISO y huella hídrica	12
1.3.11 El modelo de producción agua	13
1.4 Principales resultados	14
1.5 Principales conclusiones	16
1.6 Principales recomendaciones	16
1.7 Literatura citada	17
CAPÍTULO 2	26
ARTÍCULO 1: Cuantificación de la huella hídrica en la producción bananera: Un estudio de caso en Bocas del Toro, Panamá	26
2.1 Resumen	26
2.2 Abstract	27
2.3 Introducción	28
2.4 Metodología	29
2.4.1 Ubicación del sitio de estudio	29
2.4.2 Selección de la metodología para la determinación de la huella hídrica del cultivo de banano en la provincia de Bocas del Toro, Panamá	30
2.4.3 Determinación de la contribución de diferentes etapas del ciclo productivo y procesamiento primario del banano a la huella hídrica en la empresa COOBANA R.L.	30

2.4.4	Determinación de la huella hídrica en la producción y procesamiento del banano	31
2.4.5	Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica	33
2.4.6	Análisis del efecto en la huella hídrica en diferentes escenarios alternativos de manejo productivo y propuesta de alternativas de reducción de la huella hídrica	35
2.5	Resultados y discusión	35
2.5.1	Selección de una metodología adecuada para determinar la huella hídrica del cultivo de banano en Bocas del Toro	35
2.5.2	Determinación de la huella hídrica en las fases de la producción y procesamiento del banano	37
2.5.3	Estimación de huella hídrica total del banano en el estudio de caso	39
2.5.4	Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica azul, verde y gris en el nivel de cuenca	40
2.5.5	Análisis del posible efecto sobre la huella hídrica del banano en la zona de estudio de dos escenarios representativos de temperatura y precipitación para un umbral temporal al 2030, utilizando el modelo Cropwat 8.0	41
2.5.6	Alternativas para reducir huella hídrica	45
2.6	Conclusiones	46
2.7	Recomendaciones	46
2.8	Literatura citada	47
3.	Anexos	55

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 1

Página

Cuadro 1.1 Objetivos específicos, preguntas de investigación y productos del estudio	2
Cuadro 1.2 Característica de los escenarios RCP 4.5 y 8.5	7
Cuadro 1.3 Huella hídrica verde en la fase de cultivo del banano	14
Cuadro 1.4 Huella hídrica gris en la fase de cultivo del banano, utilizando el nitrógeno como indicador contaminante	14
Cuadro 1.5 Huella hídrica azul en la fase del procesamiento del banano (empacadora)	15
Cuadro 1.6 Huella hídrica gris en la fase de procesamiento primario del banano, utilizando la demanda biológica de oxígeno como indicador contaminante	15
Cuadro 1.7 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 4.5, para el año 2030	16
Cuadro 1.8 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 8.5, para el año 2030	16

Capítulo 2

Cuadro 2.1 Comparación de las principales metodologías disponibles para la cuantificación del agua relacionada con el uso del recurso hídrico	36
Cuadro 2.2 Huella hídrica verde en la fase de producción del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá	37
Cuadro 2.3 Huella hídrica gris (promedio mensual de octubre a diciembre del 2018) en la fase de cultivo del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá, utilizando el nitrógeno como indicador contaminante	38
Cuadro 2.4 Huella hídrica azul en la fase del procesamiento del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá	38
Cuadro 2.5 Huella hídrica gris (promedio mensual de octubre a diciembre del 2018) en la fase de procesamiento primario (empacadora) del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá, utilizando la demanda biológica de oxígeno como indicador contaminante	38
Cuadro 2.6 Análisis de sostenibilidad al nivel de cuenca de la huella hídrica verde, azul y gris en el sitio de estudio, provincia de Bocas del Toro, Panamá	41
Cuadro 2.7 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 4.5, para el año 2030, Bocas del Toro, Panamá	42
Cuadro 2.8 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 8.5, para el año 2030, Bocas del Toro, Panamá	42
Cuadro 2.9 Recomendaciones para reducir la huella hídrica en la finca San José de COOBANA R.L., provincia de Bocas del Toro, Panamá	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Página

Figura 1.1 Climograma de la provincia de Bocas del Toro, periodo 2009 al 2014	4
Figura 1.2 Huella hídrica (azul, verde, gris) de la producción de banano en América Latina y el Caribe	10
Figura 1.3 Integración de las fases de producción y procesamiento del banano	12
Figura 1.4 Proceso del banano en la planta empacadora	12
Figura 1.5 Diagrama de insumos para el módulo de InVEST para la producción de agua de carácter superficial de una cuenca	14
Figura 1.6 Contribución de la huella hídrica verde, azul y gris a la huella hídrica total del banano en la finca San José, Bocas del Toro, Panamá.	15

Capítulo 2

Figura 2.1 Ubicación geográfica de las fincas bananeras de COOBANA R.L, en la provincia de Bocas del Toro, Panamá	29
Figura 2.2 Esquema metodológico de la huella hídrica con base en Hoekstra (2011)	30
Figura 2.3 Insumos del modelo InVEST para producción de agua en la zona de estudio: ráster de precipitación, evapotranspiración, agua disponible en el suelo, uso y cobertura de la cuenca	32
Figura 2.4 Contribución de la huella hídrica verde, azul y gris a la huella hídrica total del banano en la finca San José, provincia de Bocas del Toro, Panamá.	39
Figura 2.5 Mapa de producción de agua para la cuenca del río Sixaola-Changuinola	40
Figura 2.6 Evapotranspiración estimada y requerimiento de riego para el cultivo de banano bajo un escenario de RCP 4.5, utilizando el modelo Cropwat 8.0	43
Figura 2.7 Evapotranspiración estimada y requerimiento de riego para el cultivo de banano bajo un escenario de RCP 8.5, utilizando el modelo Cropwat 8.0	43
Figura 2.8 Precipitación estimada para Panamá, periodo 2010 a 2030, bajo los escenarios representativos RCP 4.5 y 8.5	44

LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

ACV	Análisis del ciclo de vida
CLIMWAT	Base de datos climáticos de la FAO
COOBANA	Cooperativa Bananera del Atlántico
CROPWAT	Programa desarrollado por la FAO para el cálculo de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos
ET	Evapotranspiración
ETc	Evapotranspiración del cultivo
ETo	Evapotranspiración del cultivo de referencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GSI	Godd Stuff International
ha	Hectárea
HH	Huella hídrica
HHa	Huella hídrica azul
HHg	Huella hídrica gris
HHv	Huella hídrica verde
InVEST	Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
Kc	Coefficiente del cultivo
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
km ²	Kilómetro cuadrado
L	Litros
m	Metros
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
RCP	Escenarios representativos de concentración de emisiones
t	Tonelada
UAc	Uso de agua del cultivo
WFN	Water Footprint Network
Y	Rendimiento
°C	Grado centígrado

RESUMEN

La huella hídrica ha tomado relevancia en los últimos años como indicador medioambiental y como base para la planificación y toma de decisiones en el manejo del recurso hídrico. El banano es un cultivo relevante en algunos países tropicales, como Panamá, por sus aportes para la economía y al sector social. Toda la producción de exportación de banano de Panamá se concentra en la provincia de Bocas del Toro, que tiene condiciones de lluvia y temperatura favorables para el cultivo; pero la variabilidad y cambio climático crean incertidumbre sobre posibles afectaciones a la actividad bananera en la zona.

El objetivo del estudio fue determinar la huella hídrica del banano en la fase de cultivo y procesamiento primario (planta empacadora). El análisis se realizó para un periodo de tres meses y tomó como base las fincas bananeras de la empresa COOBANA R.L., ubicadas en Bocas del Toro y utilizando la metodología de Hoekstra. Se calculó la huella hídrica verde (HHv), azul (HHa), gris (HHg) y total (HH). También se evaluó la sostenibilidad del recurso hídrico en el nivel de cuenca para el abastecimiento del cultivo, utilizando el programa InVEST. Finalmente, se analizó el efecto de dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 al año 2030 para el manejo productivo y en la huella hídrica, a fin de proponer alternativas de reducción de este.

En la fase de cultivo, la HHv promedio mensual fue de 133 m³/t, la HHa de 0 t/ha (no hubo de riego) la HHg fue 57 m³/t tomando como único indicador el nitrógeno. En la fase de procesamiento (empacadora) la HHv es cero, la HHa fue 114 m³/t y la HHg fue 14.5 m³/t. La HH total en las dos fases fue de 812 m³/t. Los resultados de sostenibilidad de abastecimiento del recurso hídrico al nivel de la cuenca indican que no se prevé ningún impacto significativo en la huella hídrica. En el escenario RCP 4.5, la HHv fue de 9.6 m³/t y la HHa fue 7.7 m³/t, lo que indica dependencia parcial de riego, mientras que con el RCP 8.5 la HHv fue de 0.14 m³/t y la HHa 17.7 m³/t, lo que significaría una gran dependencia del riego. Para la reducción de la huella hídrica del banano en el sitio de estudio, se proponen acciones, tanto al nivel de la fase de cultivo, tales como riego por goteo, como de la fase del procesamiento primario (empacadora), como la implementación de tecnologías de recirculación del agua, bandejas móviles para la fruta y lavado de esta mediante aspersion.

Palabras claves: huella hídrica verde, azul y gris; fase de cultivo, fase de procesamiento primario, sostenibilidad del recurso hídrico al nivel de cuenca, escenarios de cambio climático.

ABSTRACT

The water footprint has become relevant in recent years as an environmental indicator and as a basis for planning and decision making in the management of water resources. Banana is a relevant crop in some tropical countries like Panama, for its contributions to the economy and the social sector. All of Panama's banana export production is concentrated in the Province of Bocas del Toro, which has favorable rainfall and temperature conditions, but the variability and climate change create uncertainty about possible effects on banana activity in the area.

The objective of the study was to determine the water footprint of banana in the phase of cultivation and primary processing (packing plant). The analysis was carried out for a period of three months and was based on the banana farms of the company COOBANA R.L., located in Bocas del Toro and using the methodology of Hoekstra. The green (HHv), blue (HHa), gray (HHg) and total (HH) water footprints were calculated. The sustainability of the water resource at the watershed level was also evaluated for the supply of the crop, using the InVEST program. Finally, the effect of two scenarios of climate change, RCP 4.5 and 8.5, was analyzed in the year 2030 for productive management and the water footprint, to propose alternatives for reducing it.

In the cultivation phase, the average monthly HHv was $133 \text{ m}^3 / \text{t}$, the HHa was $0 \text{ t} / \text{ha}$ (there was no irrigation), the HHg was $57 \text{ m}^3 / \text{t}$ taking nitrogen as the only indicator. In the processing phase (packing plant) the HHv is zero, the HHa was $114 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHg was $14.5 \text{ m}^3 / \text{t}$. The total HH in the two phases was $812 \text{ m}^3 / \text{t}$. The results of the sustainability of water supply at the watershed level indicate that no significant impact on the water footprint is expected. In the RCP 4.5 scenario, the HHv was $9.6 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHa was $7.7 \text{ m}^3 / \text{t}$, indicating partial dependence on irrigation, while with the RCP 8.5 the HHv was $0.14 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHa $17.7 \text{ m}^3 / \text{t}$, which would mean a great dependence on irrigation. For the reduction of the water footprint of the banana in the study site, actions are proposed, both at the level of the cultivation phase, such as drip irrigation, as well as the primary processing phase (packing), as well as the implementation of technologies of recirculation of the water, mobile trays for the fruit and washing of this by means of aspersion.

Keywords: green, blue and gray water footprint, cultivation phase, primary processing phase, water resource sustainability at basin level, climate change scenarios

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

1.1 Introducción

Panamá es un país especialmente vulnerable a diferentes amenazas relacionadas con la variabilidad y el cambio climático, tales como tormentas extremas, inundaciones y sequías; su ubicación geográfica y las características fisiográficas de su territorio son factores importantes en la determinación de ese riesgo. En el año 2015, el país fue afectado por un evento de sequía que puso en evidencia la vulnerabilidad de algunos sectores como el agropecuario (GWP 2015; Gobierno de la República de Panamá 2016), puesto que el agua es un recurso indispensable para la producción y productividad agrícola.

El recurso hídrico es indispensable para la productividad agrícola y con mejorar la eficiencia de uso se disminuiría la presión sobre el agua y se garantizará la seguridad alimentaria. La agricultura consume el 70% de agua que se extrae anualmente en el mundo. Además, las malas prácticas agrícolas provocan contaminación de los cuerpos de agua, degradación de los suelos, afectación de la biodiversidad y la degradación general de las cuencas hidrográficas (IICA 2014, IICA 2017).

En Panamá la provincia de Bocas del Toro concentra prácticamente toda la producción de banano del país. La zona se caracteriza por precipitaciones de 2000 mm/año en promedio, con temperaturas de 24 °C a 27 °C (ANAM 2009). Se estima que unas 30 mil hectáreas están sembradas de banano, desde Changuinola a Guabito, y es actualmente el eje que mueve la economía bocatoreña, ya que representa la fuente principal de empleo y se estima que el 80% de la economía de Bocas del Toro depende de este rubro. El sector bananero está organizado por entidades privadas como Bocas Fruit Company (BOFC) y la Cooperativa Bananera Atlántico del Pacífico (COOBANA R.L.). La mayor producción de este rubro es para exportación al mercado de Europa y Estados Unidos (ANAM 2004, CONADES 2008).

Las regiones productoras y exportadoras de banano son cada vez más vulnerables a la variabilidad y cambio climático, lo que representa una amenaza para el cultivo, ya que un cambio brusco de temperatura y precipitación provoca estrés hídrico que tiene un efecto negativo en el desarrollo del sistema radicular de la planta, provocando un fenómeno fisiológico llamado arropollamiento y obstrucción foliar que disminuye su rendimiento, haciendo necesario desarrollar estrategias para lograr un manejo eficiente del agua en su cadena de valor. Esta actividad agrícola ha tenido una evolución mediante técnicas amigables con el ambiente que garanticen una producción sostenible (Vallejo-Chaverrí et al. 2017; Soto 2017).

Con base en las consideraciones anteriores surge el concepto de huella hídrica propuesta por Hoekstra (2008) quien lo definió como un indicador que cuantifica la cantidad de agua que se consume y contamina de un producto a lo largo de su cadena de producción y que permite implementar medidas de sostenibilidad del agua. Según el enfoque de la Water Footprint Network (WFN), la huella hídrica se puede dividir en tres tipos de indicadores: huella hídrica verde, huella hídrica azul y huella hídrica gris, de acuerdo con su fuente y por su contaminación (Hoekstra et al. 2011).

Actualmente, COOBANA R.L., cultiva 566 hectáreas de banano en Changuinola, razón por la cual, la disponibilidad del recurso hídrico es indispensable para la producción y procesamiento del banano. El agua utilizada por esta agroindustria proviene de la extracción subterránea de las cuencas del río Sixaola con un caudal de 5 L/s y Changuinola con un caudal de 6 L/s, mediante permiso temporal para el uso de agua (Decreto n.º35 1966a,1996b; COOBANA 2018).

Se estima que el 20% del consumo de agua en la agricultura proviene del agua tipo azul; es decir, de ríos y aguas subterráneas. Sin embargo, la agricultura y la industria son las principales fuentes de contaminantes a los recursos hídricos (WWAP 2012).

En este estudio se identifica una metodología adecuada para determinar la huella hídrica del cultivo de banano en el nivel de finca, considerando las etapas del ciclo productivo y procesamiento primario (planta empacadora), así mismo se analizan escenarios alternativos de manejo productivo, procesamiento primario y su efecto en la huella hídrica de la producción y se proponen alternativas de reducción de la huella hídrica en el nivel de la finca.

1.2 Objetivos del estudio

Objetivo general

Determinar la huella hídrica del sistema de producción bananera, tomando como referencia fincas bananeras de COOBANA R.L., ubicadas en la provincia de Bocas del Toro, Panamá.

Objetivos específicos

1. Identificar una metodología adecuada que permita determinar la huella hídrica del cultivo de banano, en el nivel de fincas, en la provincia de Bocas del Toro.
2. Determinar la huella hídrica del sistema de producción bananero, considerando las etapas del ciclo productivo y procesamiento primario en el nivel de finca bananera.
3. Analizar el efecto en la huella hídrica en diferentes escenarios alternativos de manejo productivo y proponer alternativas de reducción de la huella hídrica.

En el cuadro 1.1 se presentan para cada objetivo específico las preguntas de investigación planteadas así como los productos esperados.

Cuadro 1.1 Objetivos específicos, preguntas de investigación y productos del estudio.

Objetivos específicos	Preguntas de investigación	Producto
1. Identificar una metodología adecuada que permita determinar la huella hídrica del cultivo de banano, en el nivel de fincas, en la provincia de Bocas del Toro.	¿Qué metodologías existen para determinar la huella hídrica de cultivos? ¿Existen metodologías para banano? ¿Son aplicables a Bocas del Toro? ¿Qué ajustes habría que hacerles?	Metodología adecuada para determinar la huella hídrica en banano (existentes, ajustada o nueva).

Objetivos específicos	Preguntas de investigación	Producto
<p>2. Determinar la huella hídrica del sistema de producción bananero, considerando las etapas del ciclo productivo y procesamiento primario en el nivel de finca bananera.</p>	<p>¿Cuál es el aporte de las distintas etapas de producción y procesamiento de banano a la huella hídrica en la Cooperativa?</p>	<p>Datos de los aportes a la huella hídrica de cada etapa de producción y procesamiento.</p>
<p>3. Analizar el efecto en la huella hídrica en diferentes escenarios alternativos de manejo productivo y proponer alternativas de reducción de la huella hídrica.</p>	<p>¿Cuáles medidas de ajuste en la producción y/o procesamiento existen para reducir la huella hídrica? ¿Cómo cambia el valor de la huella hídrica con cada escenario de cambio climático? ¿Cuáles de las medidas alternativas de manejo?</p>	<p>Huella hídrica por cada escenario de manejo analizado. Propuestas de medidas de reducción de la huella hídrica</p>

1.3 Marco referencial

1.3.1 Contexto del banano en Panamá y en la zona de estudio

El banano, en un nivel mundial, se produce en más de 130 países ubicados cerca del ecuador terrestre, razón por la cual, las regiones tropicales y subtropicales concentran la producción mundial de banano (FAO 2004). El 55% de la producción de banano de Panamá se exporta a Europa, alcanzando unos 42 millones de cajas, lo que representa ingresos anuales al país de 220 millones de dólares. Panamá tiene una superficie cultivada de banano de 5600 ha y la totalidad de la producción se da en la provincia de Bocas del Toro (MIDA 2017).

En Panamá, a partir de 1870, se ha desarrollado la producción bananera en gran escala a través de la empresa de Minor C. Keiht, la que comienza su expansión en 1904 a Bocas del Toro, en donde las principales exportadoras eran Chiquita y varias cooperativas del Pacífico (Soto 2014).

La provincia de Bocas del Toro se encuentra ubicada en la zona nororiental de Panamá, con una superficie de 8917 km². La precipitación pluvial fluctúa entre 4500 mm anuales en las partes altas de la Cordillera de Talamanca y 3000 mm anuales en las áreas bajas del oeste de la provincia (Guabito-Changuinola). La temperatura máxima absoluta es de 36 °C y la mínima de 15 °C, con una temperatura media entre 25 y 26 °C. El distrito de mayor actividad bananera es Changuinola, principalmente en las comunidades de Las Delicias, La Mesa, Finca 41, Finca 51, Finca 2, Finca 4 y Finca 72 (Pleurotus et al. 2004).

En los últimos cinco años se observan cambios en la temperatura promedio máxima y mínima con una tendencia a la baja, mientras que la precipitación en los últimos cinco años muestra una tendencia positiva (Figura 1.1).

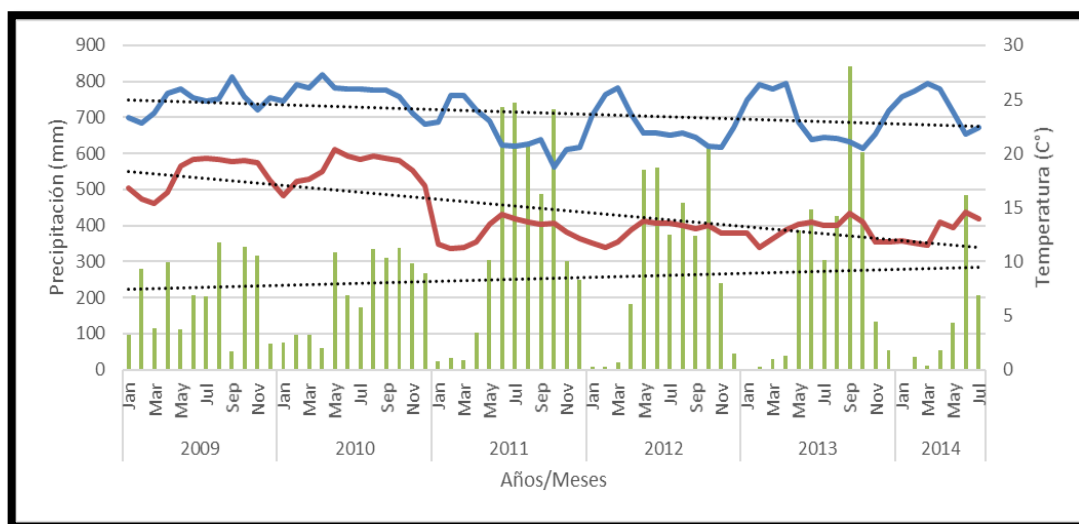


Figura 1.1 Climograma para la provincia de Bocas del Toro, periodo 2009 a 2014.

La Cooperativa Bananera del Atlántico (COOBANA R.L.) fue fundada el 30 de octubre de 1991, cuenta con 566 hectáreas, de las cuales casi su totalidad está bajo producción de banano. Según Rodríguez (2018) la caja de banano se vende a \$9.75, y semanalmente se exportan a Europa entre 20 y 24 contenedores de banano, con un promedio de 1080 cajas con un peso 18.14 kg/caja (Machuca 2012). La renovación de las plantaciones ayudó a mejorar la productividad en los últimos años y logró aumentar su producción en un 53%, mejorando su rendimiento por ha de 1700 cajas de 18 kilos a 2600 cajas. COOBANA R.L. está conformada por tres fincas (COOBANA 2018):

- Finca 72 (Miraflores), con 164 ha (en producción)
- Finca 76 (San José), con 208 ha (en producción)
- Finca 80 (San Antonio), con 194 ha (en producción)

En la actualidad COOBANA.R.L. cuenta con más de 550 colaboradores, de los cuales, 217 son socios de la organización donde se destaca una composición étnica del 84% indígenas de la comarca Ngäbe Bugle de la Provincia de Bocas del Toro. Su comercialización la realiza bajo un esquema del comercio justo, en colaboración de Agrofair (Vargas 2017).

1.3.2 Requerimientos climáticos del cultivo de banano

El clima afecta el establecimiento de la gran mayoría de los cultivos e influye directamente en su crecimiento y desarrollo, por lo cual para el establecimiento de plantas de banano se deben tomar en cuenta las siguientes características de la zona en cuanto al clima (INTAGRI 2018):

- Latitud y altitud. La latitud concentra a las mejores producciones a 15° al norte y sur del ecuador terrestre, pero es posible encontrar buenos rendimientos hasta los 30°.
- La altitud máxima recomendada para este cultivo es de 2000 metros sobre el nivel del mar; la mayoría de las plantaciones comerciales se localizan a menos de 600 msnm. Es importante señalar que la altitud puede retrasar un mes el ciclo vegetativo por cada 100 metros adicionales de altitud por encima del nivel del mar.

- Temperatura. Es el principal factor regulador del desarrollo del cultivo; se pueden considerar condiciones óptimas en rangos de 20 a 30 °C, donde se han encontrado los mejores rendimientos y ciclos cortos, pues en temperaturas inferiores a 15 °C se detiene el crecimiento.
- Precipitación. Es el segundo factor más importante, aunque en las zonas en que se ubica existe humedad y precipitación constantes. Mensualmente requiere de 120 a 200 mm y adicionalmente se pueden auxiliar con riego si se reconocen épocas de sequía en la zona.
- Viento. Los daños causados por vientos son plantas caídas y desgarran las hojas generando tiras y reduciendo el área foliar.
- Radiación solar. Por la ubicación cercana al ecuador en trópicos y subtropicos la cantidad de radiación recibida es suficiente y únicamente se debe tener cuidado en el sombreado para evitar baja captación que pueda retrasar la producción.

1.3.3 Perspectiva del recurso hídrico ante la variabilidad y el cambio climático

El clima es uno de los principales factores que inciden en la tierra de manera cíclica donde ocurren fluctuaciones que impactan de diversas formas y grados a la sociedad humana (IDEAM y UNAL 2018).

Según el IPCC (2007), el cambio climático es una variación estadística en el estado medio del clima que persiste durante un periodo prolongado; estos cambios se deben a procesos antropogénicos que alteran la composición de la atmósfera o por los cambios del uso del suelo. También el cambio climático está atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y la variabilidad climática atribuida a causas naturales.

El concepto de variabilidad climática se refiere a las variaciones del estado medio y otras características (sucesos extremos) del clima en las escalas temporales y espaciales. Esta se debe a procesos internos naturales del sistema climático o del forzamiento externo natural antropogénico (OMM 2006). En términos de lluvia, dos de las manifestaciones comunes del cambio y la variabilidad climáticos son las sequías y las inundaciones.

La sequía consiste en las disminuciones de los totales de lluvia respecto de las condiciones normales o esperadas de precipitación. El déficit de precipitación se manifiesta principalmente a través de la disminución del caudal de los ríos, de la altura del agua subterránea que disminuye su disponibilidad en los suelos, por lo cual la agricultura suele ser la primera víctima. Las condiciones del niño favorecen a periodos secos y calientes en Centroamérica y el Caribe entre junio y agosto (IPCC 2007, Argeñal 2010).

Por otra parte, en áreas secas las inundaciones causan desbordamiento de las quebradas y ríos que pueden ser repentinas si son causadas por precipitaciones intensas en un periodo corto de tiempo o precipitación de larga duración. Las condiciones de la niña favorecen condiciones de más humedad y frío entre junio y agosto para la región del Caribe. Para la región centroamericana y el norte de Sudamérica, en las últimas décadas, se está calentando con una tendencia positiva absoluta en las temperaturas, mientras que, respecto de la precipitación, la tendencia es negativa y otra positiva (Aguilar et al. 2005; Argeñal 2010).

Según el SICA (2018), la perspectiva del clima para Centroamérica en relación con la lluvia muestra que países como Belice, Nicaragua, Costa Rica y Panamá presentan una tendencia a la baja, respecto del promedio histórico.

1.3.4 Variabilidad y cambio climático e impactos en la agricultura

La variabilidad y el fenómeno climático traen cambios en los valores medios de temperatura y precipitación, así como eventos extremos (sequías e inundaciones), causando un desequilibrio hidrológico que afecta los sistemas de producción (Meza 2009). La creciente variabilidad climática e incertidumbre hidrológica ponen en riesgo a la economía de agricultura de secano que es cada vez más vulnerable. El estrés hídrico está aumentando, así como la economía y la población que ejercen presión a los recursos hídricos finitos y degradables. La gestión racional del agua es la clave para la adaptación, así como administración de los recursos hídricos de manera eficiente. Se estima que para el año 2025 alrededor de 1800 millones de personas vivirán en áreas de escasez absoluta de agua (World Bank 2015, 2016).

La demanda de los recursos hídricos para la producción de alimentos y energía, así como para el mantenimiento de los ecosistemas son desafíos para la gestión sostenible del agua frente al crecimiento económico y la variabilidad climática (UNESCO 2006).

"El ciclo global del agua se está intensificando debido al cambio climático: las regiones más húmedas se están volviendo más húmedas y las regiones secas se están volviendo aún más secas. En la actualidad, se estima que hay 3600 millones de personas (casi la mitad de la población mundial) que viven en áreas con riesgo de sufrir escasez de agua al menos un mes al año, y esta población podría llegar a alcanzar entre 4800 y 5700 millones en el 2050 (UNESCO 2018)."

Las regiones productoras y exportadoras de banano son cada vez más vulnerables a una mayor variabilidad climática, lo que representa una amenaza para los productores bananeros en términos de rendimiento y estabilidad e ingresos, haciendo necesario desarrollar estrategias sólidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de agua en la cadena de valor bananera (Vallejo-Chaverri et al. 2017).

La adaptación de la agricultura ante el cambio climático son las acciones desarrolladas por los agricultores para adaptarse al cambio en las condiciones climáticas mediante prácticas como adopción de nuevas variedades, adopción de tecnologías como el riego, donde el cultivo pueda adaptarse mejor a un clima cambiante (Rodríguez-Vargas 2007). Según Bosello y Zhang (2005), las estimaciones al año 2050 proyectan un incremento en la frecuencia de la sequía e inundaciones afectarán la producción con impactos en países de zonas tropicales y subtropicales.

1.3.5 Escenarios representativos de concentración (RCP)

Los RCP están basados en los niveles de concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y la trayectoria que se toma con el tiempo para alcanzar esas concentraciones. Estos RCP se nombran de acuerdo con el nivel de forzamiento radiactivo que producen para el año 2100 (IPCC 2007).

El programa SIG NCAR presenta las proyecciones de cambio climático que se han generado para el 5° Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) (Moss et al. 2008). Estos RCP son el resultado de tendencias mundiales que afectan los sistemas naturales y humanos los cuales no están vinculados a ningún escenario socioeconómico (Rodríguez 2017). Para este estudio se consideraron dos escenarios (cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Característica de los escenarios RCP 4.5 y 8.5

Escenario	Desarrollo	Característica
RCP 4.5	Modelo de Sistema de Clima Comunitario (CCSM) de NCAR	Vías de estabilización intermedias, con un forzamiento radiactivo de 4.5 vatios por metro cuadrado (Wm^2) para el año 2100.
RCP 8.5		Vía alta en la que el forzamiento radiactivo es alto 8.5 vatios por metro cuadrado (Wm^2) para el año 2100.

1.3.6 Concepto de huella hídrica

Es el volumen total de agua dulce utilizada directa e indirectamente para generar un producto o servicio en un determinado territorio (Chico et al. 2010). Fue utilizada por primera vez en el 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y desde entonces es difundido por la organización Water Footprint Network (WFN). Es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce en forma de huella hídrica directa asociada a un producto propio de la empresa y la huella hídrica indirecta asociada al agua virtual que se utiliza para la fructificación del producto. Se clasifica en tres componentes: huella hídrica azul, verde y gris para calcular el consumo total o huella hídrica total (Futuro Americano et al.2002, Guamán 2018).

El análisis de la huella hídrica se debe hacer desde un punto de vista hidrológico, económico, ambiental y en el nivel de cuenca, para obtener información más completa y valiosa que facilite una asignación eficiente de los recursos hídricos a las diferentes demandas económicas y ambientales. En este sentido, el estudio del agua virtual debe tener en cuenta no sólo el agua verde y azul (subterránea y superficial), sino también las políticas comerciales ya que estas también contribuyen para una mejor gestión integral de los recursos hídricos (Tolón-Becerra et al.2013).

La huella hídrica es una medida multidimensional del agua que permite analizar el vínculo entre el consumo humano y la apropiación del agua para producir un cultivo desde la perspectiva de la degradación y aprovechamiento del recurso hídrico en una determinada área geográfica (Hoekstra y Hung 2012).

Existen dos metodologías principales para determinar la huella hídrica: Hoekstra (2011) e ISO 46 (ISO 2014). La primera define la huella como medida volumétrica del consumo y contaminación de agua, y la segunda como el cálculo de la huella de agua. Ambas tienen

una participación clave en el ciclo hidrológico ya que este proceso consiste en el movimiento de agua a través de la evaporación y la precipitación (Zarate et al. 2017).

Según Suppen (2013), la principal diferencia de la metodología de Hoekstra respecto de la definición en cuanto a la huella de agua por la norma ISO 14046 radica en su enfoque de análisis de ciclo de vida y sus impactos ambientales. En la definición de huella hídrica de Hoekstra, su base conceptual y metodológica, radica en los colores del agua verde, azul y gris que permite identificar su impacto (Hoekstra et al. 2011). Considerando lo anterior el agua verde que se refiere a la precipitación y el agua azul es alusiva a la escorrentía de las aguas superficiales y subterráneas; esta es parte del ciclo hidrológico que ha sido alterada por las actividades humanas y el aumento en el uso de los acuíferos.

La metodología de Hoekstra (2011) determina la huella hídrica con base en cuatro etapas (Brito 2011):

- 1) Establecer objetivos y alcances.
- 2) La contabilidad de la huella hídrica.
- 3) La evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica
- 4) Recomendación para mejora de la huella hídrica.

El objetivo principal de la huella hídrica es la sensibilización y la identificación de un problema, así como la fijación de metas cuantitativas para mejorar el desempeño de la empresa respecto de su huella hídrica. La evaluación de la huella hídrica debe llevar a un producto en m^3/t (Mekonnen y Hoekstra 2011).

Al desarrollar un estudio de huella hídrica, uno de los beneficios más importantes que se pueden obtener es la oportunidad de identificar dónde y cómo pueden optimizarse la eficiencia y la productividad en relación con la gestión del recurso y disminuir los impactos. Desde el punto de la sostenibilidad, la huella hídrica se ha convertido en un aspecto de mercado y funciona como un mecanismo de comprobación de responsabilidad de gestión del recurso, donde se informa, con evidencia confiable y respaldada científicamente, sobre impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, a quienes toman las decisiones en las compañías (Vallejos 2015).

1.3.7 Huella hídrica en la agricultura

El desafío a futuro de los recursos hídricos para la agricultura de aquí al 2050 es alimentar a una población de 9000 millones, con menos agua disponible. La agricultura se centra en hacer uso del agua de manera eficiente para producir más alimentos, crear resiliencia en las comunidades agrícolas y aplicar tecnologías de agua que protejan el medio ambiente (FAO 2019).

El cambio climático puede aumentar la escasez del agua y amenazar la seguridad alimentaria; por tal causa, se debe hacer una planificación y gestión de recursos hídricos que incorpore las actividades de producción con base en el consumo del agua verde y su interacción con agua azul (Blanco 2017).

Una medida de respuesta ante esta situación clave es la gobernanza, ya que proporciona un equilibrio entre el agua para actividades humanas y los ecosistemas vitales, manteniendo las funciones ecológicas, así como servir de herramienta estratégica para la resiliencia frente al cambio climático (Rockstrom y Falkenmark 2006).

La metodología de la huella hídrica consiste en tres componentes (Hoekstra et al. 2011):

- a) La huella hídrica azul que se refiere al consumo de recursos hídricos azules (aguas superficiales y subterráneas) a lo largo de la cadena de valor de un producto. El consumo se refiere a la pérdida de agua de la contenida en la superficie del suelo disponible en un área de captación. Las pérdidas ocurren cuando el agua se evapora y regresa al mar o se incorpora a un producto.
- b) La huella de agua verde se refiere al consumo de recursos de agua verde (agua de lluvia en la medida en que no se convierte en escorrentía).
- c) La huella de agua gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes, sobre la base de las concentraciones naturales y las normas existentes de calidad ambiental del agua para devolver el agua a la cuenca de origen con la calidad que se extrajo (Mekonnen y Hoekstra 2012).

Para el cálculo de la huella hídrica una herramienta útil es el modelo Cropwat que rinda información del consumo de agua azul (de riego) y el agua verde (precipitación) en la fase de producción agrícola (FAO 2012a). Otra herramienta complementaria es el modelo Climwat que brinda información sobre datos climáticos mensuales en el nivel de país (FAO 2012b).

Para el cálculo del uso del agua del cultivo (UAC) que describe el agua verde (precipitación) o azul (riego) que el cultivo requiere para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas, se puede utilizar el modelo Cropwat 8.0 desarrollado por la FAO. Este programa es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre el suelo y el agua, que permite calcular los requisitos de agua para cada cultivo, así como necesidades de riego basado en el suelo, el clima y el cultivo que permite una mejor gestión y suministro de agua (FAO 2012c). El modelo realiza el balance de agua diario en el suelo, que junto con datos climáticos y parámetros propios del cultivo resultan en la determinación de la evapotranspiración mensual total del cultivo. También permite determinar el componente azul y verde de la evapotranspiración mensual a partir de datos de riego mensual, frecuencia de riego y cantidad de precipitación.

1.3.8 Huella hídrica en diferentes actividades productivas

Huella hídrica en la producción de tomate

El método descrito por Hoekstra et al. (2009) se utilizó para medir la huella del agua en la producción de tomate en España, considerado la producción al aire libre (de secano o de regadío) y el consumo de los componentes agua verde, agua azul y agua gris. Los componentes, en promedio, total de la huella hídrica en la producción de tomate fueron así: 3% verde, 36% azul y 58% gris. Estos promedios dependen de los sistemas de gestión de cultivos y del agua. La huella hídrica contextualizada en el espacio y el tiempo puede proporcionar información útil para la evaluación comparativa, identificando mejores prácticas para lograr una mayor integración y gestión de recursos hídricos mediante la ecoeficiencia (Chico et al. 2010).

Huella hídrica en la ganadería

Consiste en calcular el consumo de agua directo que ingiere el ganado y el consumo de agua indirecto. A partir de un estudio realizado en Panamá en la cuenca del río La Villa, se encontró que el componente de consumo indirecto de agua es el de mayor importancia, ya

que representa el 98.86% del consumo de agua para producir un litro de leche, el 98.83% del consumo de agua de una unidad animal no lactante y el 98.85% del consumo de agua total del hato de la finca. Para la época seca, la huella hídrica por unidad animal fue 2600, 2185 y 1646 L/UA/día, mientras que en la época lluviosa fue de 3832, 3755 y 3261L/UA/día (Muñoz 2014).

Huella hídrica en la producción bananera

Para Panamá el rango específico de huella hídrica azul para el cultivo de banano está entre 0.007 mm/año hasta 4.4 mm/año, la huella hídrica verde está entre 0.046 mm/año hasta 8 mm/año y la huella hídrica gris está entre 0.0014 mm/año hasta 0.6 mm/año. El rango total estimado está entre 0.48 mm/año a 10 mm/año de huella hídrica. La huella hídrica anual de Panamá para el banano se compone de $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ de agua verde, $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ de agua azul y $9.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ de agua gris (Hoekstra y Mekonnen 2017).

En una evaluación de la huella hídrica del cultivo del banano para América Latina y el Caribe (figura 1.2), periodo 1996 al 2002, se observa que la huella hídrica verde es la predominante en los principales países productores (Ecuador, Colombia, Costa Rica y Panamá), países que son muy dependientes de la lluvia para producir. Además, se observa que la huella hídrica gris para Panamá es la más alta de estos cinco países. Sin embargo, los datos de huella hídrica gris, basados en el nivel de contaminación del recurso hídrico provienen solamente del año 2000 (WFP y Hoekstra 2017), razón por la cual países como Costa Rica muestra un porcentaje de huella hídrica gris de cero, aunque según datos del World Resources Institute, citado por la FAO (2011), Costa Rica es el mayor consumidor de plaguicidas en el mundo y que la contaminación del agua se debe a la presencia de residuos químicos usados en la agricultura.

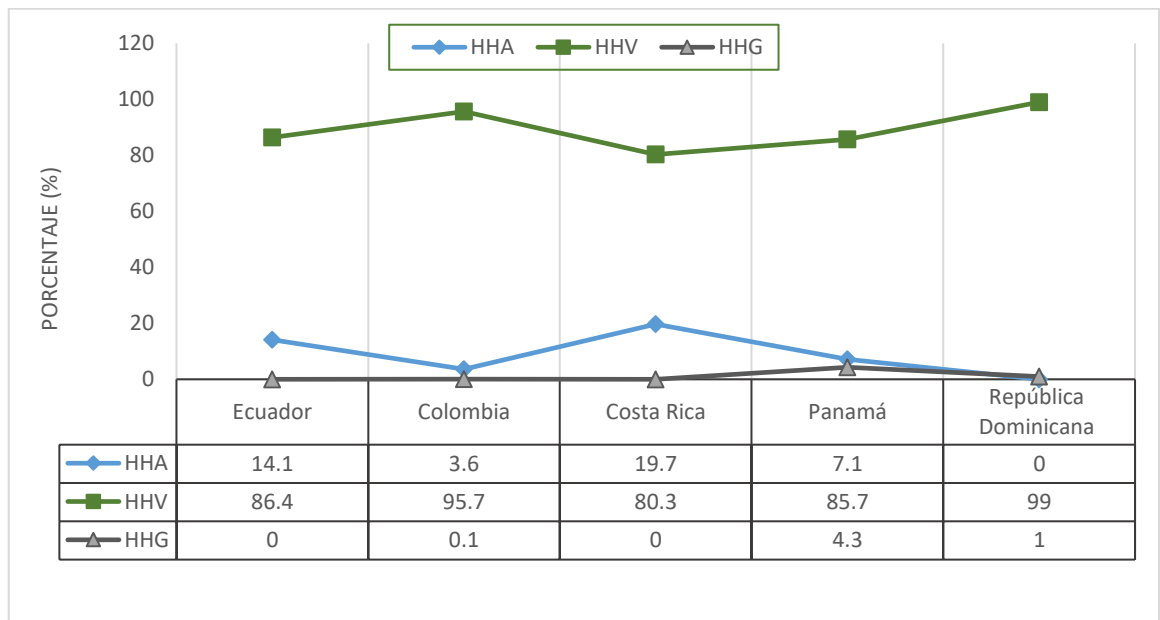


Figura 1.2 Huella hídrica (azul, verde, gris) de la producción de banano de América Latina y el Caribe para los (Fuente: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/#CP>)

En un estudio realizado en Perú, utilizando la metodología de Hoekstra et al. (2009) determinaron la huella hídrica en banano bajo dos tipos de tecnología de producción: para la

producción orgánica los resultados fueron de huella hídrica azul (314 m³/t), huella hídrica verde (0 m³/t) y gris (0 m³/t), mientras que los resultados para la producción convencional, sus componentes fueron: huella hídrica gris 35 m³/t, huella hídrica azul 612 m³/t, huella hídrica verde 0 m³/t (Rojas-Huerta y Muñoz-Salas 2018).

Otros estudios realizados por Dolé, en conjunto con WFP, en Costa Rica, utilizando la metodología ISO 14046 de la huella del agua, que mide el volumen de agua consumida por el cultivo de banano, dio como resultado un consumo de 2.586.485 m³/año de agua. En el estudio se evidenció que la fase del proceso requiere gran volumen de agua para la eliminación de látex (Vallejos-Chaverrí et al. 2017).

Gólcher (2013), utilizando la metodología de Hoekstra et al (2011) realizó un estudio para el cálculo de la huella hídrica para regiones de cultivo de banano, café, arroz de riego y arroz de secano, y obtuvo que para el banano la huella hídrica fue de 1763 m³/t, que corresponde en realidad a la huella verde, ya que no presentó huella azul y la gris fue poco significativa.

En plantaciones bananeras, el 99% de la huella hídrica se debe a la fase de producción agrícola, según el análisis del WFN, mientras que los porcentajes de huella de agua azul, verde y gris dependen de factores como los siguientes (FAO 2017):

- El tipo de riego: en los sitios que no se necesita riego, el 100% de la huella de agua es verde, y donde la dependencia al riego es alta y los sistemas de riego utilizados son ineficientes en términos de utilización del agua, la huella del agua se clasifica como azul.
- El sistema de producción: en métodos de producción convencionales, la huella de agua gris calculada es de aproximadamente 18%, correspondiente a la lixiviación de nitrógeno como resultado de la fertilización, mientras que en sistemas de producción orgánica la huella de agua gris es cero.
- Estaciones de empaque: las estaciones de empaque de banano utilizan el agua para eliminar los desechos, los insectos y el látex de la fruta. El consumo de agua en las estaciones de empaque varía, dependiendo del proceso y de la fuente de agua utilizada.

1.3.9 Procesos de la producción y procesamiento en la actividad bananera

La actividad bananera en el nivel de finca se puede dividir en dos grandes fases: la fase de producción o cultivo en el nivel de campo y la fase de procesamiento en las plantas empacadoras, pero que en la práctica se integran como un solo conjunto (Figura 1.3). La fase de cultivo es mejor conocida y está descrita con detalle en múltiples publicaciones. La fase de procesamiento es importante en términos de la cuantificación de la huella hídrica por el uso de agua y su manejo en el proceso. La figura 1.4 muestra un resumen del procesamiento del banano en la planta empacadora.

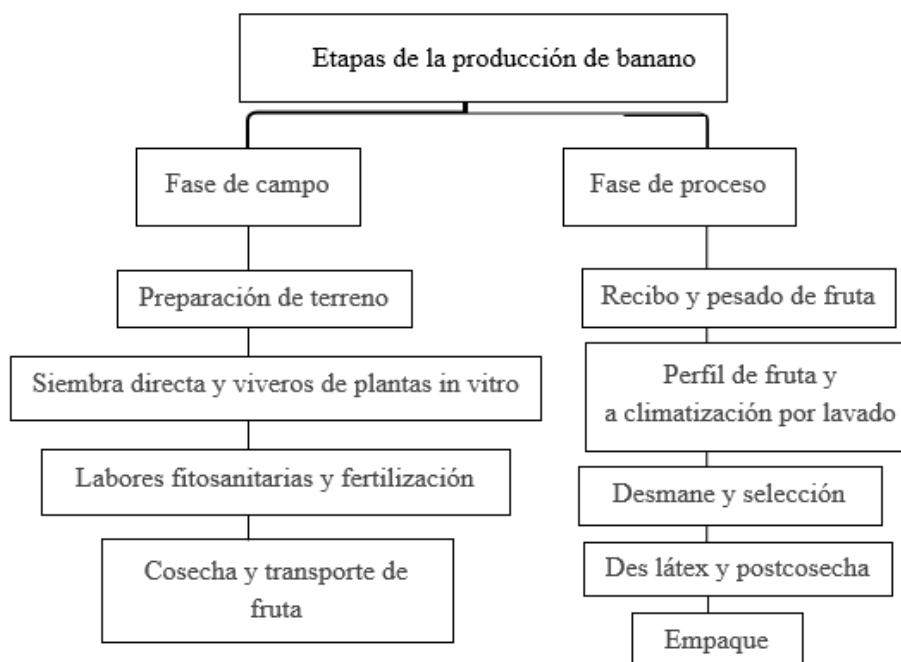


Figura 1.3 Integración de las fases de producción y procesamiento del banano.

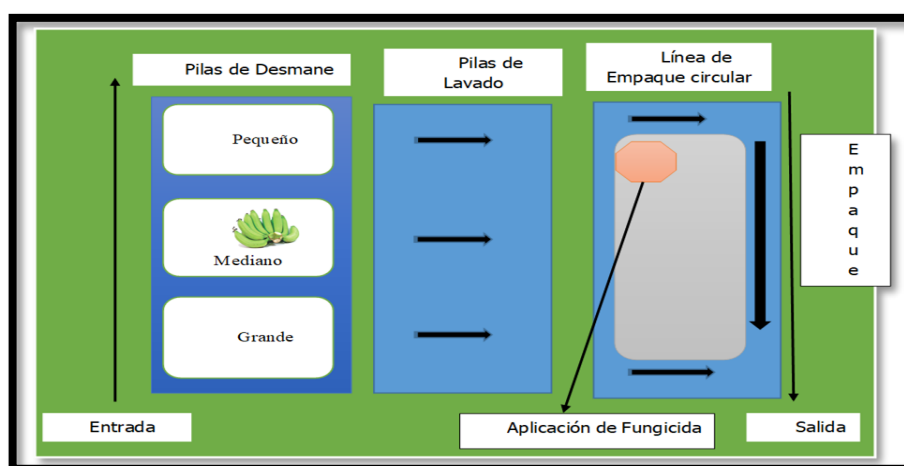


Figura 1.4 Proceso del banano en la planta empacadora.

1.3.10 Normas ISO y huella hídrica

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) es el organismo que ha desarrollado una serie de estándares enfocados en la administración o gestión ambiental. Estos estándares incluyen las series ISO-14040 sobre el análisis del ciclo de vida (ACV), que son de carácter voluntario. La ISO-14040 es una nueva herramienta de gestión ambiental que se podrá ofrecer a las empresas para realizar la evaluación del ciclo de vida de sus productos (ISO 2006). El ACV proporciona información valiosa que permite a los empresarios tomar decisiones dirigidas a mejorar el desempeño ambiental de sus productos y que las empresas deseen certificar bajo el esquema de etiquetas ambientales (Romero-Rodríguez 2003).

La Norma ISO 14044 consiste en el análisis del ciclo de vida dirigido a conocer y evaluar la magnitud de los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a lo largo de todo el ciclo de vida de este y la declaración ambiental en relación con la superioridad de un producto respecto de un artículo competidor que realiza la misma función (ISO 2006).

La cuantificación de la huella del agua, de acuerdo con las normas internacionales ISO 14046 (ISO 2014) “Gestión ambiental” de la huella de agua principios, requisitos, directrices, se basa en las normas internacionales ISO 14040 e ISO 14044 (ISO 2006) sobre el análisis del ciclo de vida (ACV) para evaluar la demanda de recurso y presión sobre el ambiente que generan las actividades humanas, incluyendo la huella ecológica (Rees 1992), el agua virtual y la huella hídrica por Hoekstra (CADIS y COSUDE 2016).

La normativa de referencia de toda la norma ISO 14046 es la norma ISO 14044:2006 de gestión ambiental donde establece que en la evaluación de la huella hídrica deben considerarse todas las etapas del ciclo de vida de un producto desde una perspectiva organizacional. La definición de huella hídrica consiste en cuantificar los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua (evaluación de entradas y salidas) excluyendo los impactos sociales y económicos (Montserrat y Viegas 2014).

La norma ISO 14046 de huella hídrica tiene enfoque basado en el ACV de un producto, proceso u organización, donde se considera el uso del agua directo e indirecto en la cadena de valor con sus posibles impactos. Se difiere a que la evaluación de la huella hídrica no se debe representar solamente en términos de volúmenes de agua consumida y contaminada; se deben evaluar los impactos relacionados con los recursos hídricos (CADIS y COSUDE 2016).

La situación actual está marcada por una escasez de agua dulce que se debe a tres elementos entre sí, son el cambio climático, el aumento de población y una mayor presión sobre los recursos hídricos. Por tanto, la necesidad de gestionar un buen uso del agua se presenta como totalmente necesario como forma de mitigación (AQUAE 2019). Según el SICA (2018), para Panamá, se prevé un déficit de lluvia de casi 150 mm en toda la vertiente del Caribe. Se considera un comportamiento normal con una tendencia a la baja.

1.3.11 El modelo de producción agua

Es parte del conjunto de modelos de InVEST, software de código abierto, que se utilizan para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sustentan y satisfacen la vida humana.

El modelo de rendimiento de agua se basa en la curva de Budyko y la precipitación promedio anual. Este determina el rendimiento anual de agua $Y(x)$ para cada píxel en el paisaje x (Sharp et al. 2018), según la ecuación siguiente: $Y(x) = [1 - AET(x) / P(x)]$, donde: $AET(x)$ es la evapotranspiración real anual para el píxel x y $P(x)$ es la precipitación anual en el píxel x . Los insumos necesarios para utilizar el modelo de producción se detallan en la figura 1.5.

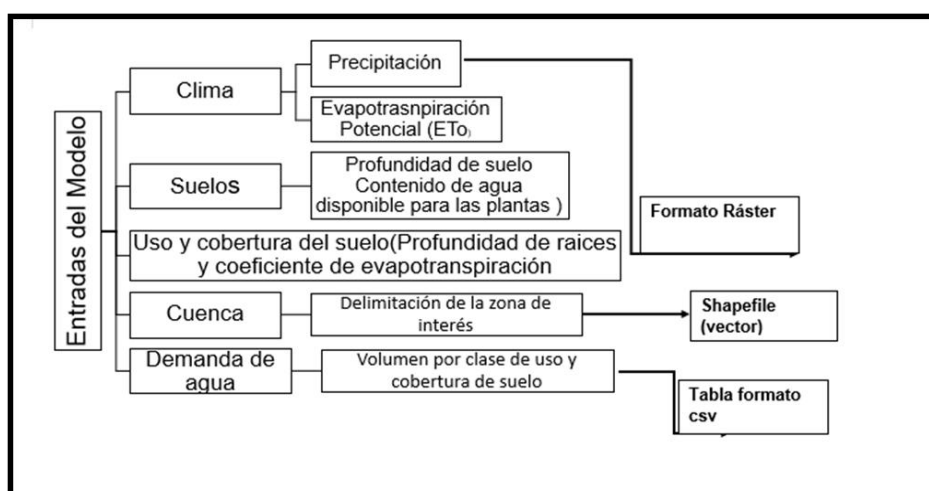


Figura 1.5 Diagrama de insumos para el módulo de InVEST para la producción de agua a nivel superficial de una cuenca.

El resultado del proceso es la generación de un archivo ráster de producción de agua y zonas de mayor potencial de producción y un archivo en formato “shapefile” de la cuenca con su valor de producción total de agua, valores que se usan para determinar el valor de disponibilidad natural en la cuenca.

1.4 Principales resultados

A continuación, se presenta un resumen sobre los principales resultados obtenidos en el estudio (cuadros 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 y figura 1.6). La descripción y detalle de estos se pueden revisar en el capítulo 2 de la tesis.

Cuadro 1.3 Huella hídrica verde en la fase de cultivo del banano.

Mes	Uso del agua por el cultivo	Rendimiento	Huella hídrica verde
	m ³ /ha	t/ha	m ³ /t
Octubre	5093	45	113
Noviembre	5137	42	122
Diciembre	6024	37	163

Cuadro 1.4 Huella hídrica gris en la fase de cultivo del banano, utilizando el nitrógeno como indicador contaminante.

L	Cmax	Cnat	Huella hídrica gris
(kg N/t)	(kg N/m ³)	(kg N/m ³)	(m ³ /t)
0.5734	0.01	0	57.34

L es la cantidad de fertilizante nitrógeno aplicado para producir cada tonelada de banano; Cmax es la concentración máxima aceptable de N en el cuerpo receptor de agua (en este caso 0.010 mg/L para Panamá) y Cnat es la concentración natural de nitrógeno en el cuerpo de agua receptor, en este caso 0 kg/m³.

Cuadro 1.5 Huella hídrica azul en la fase del procesamiento del banano (empacadora)

Mes	Uso de agua en el procesamiento	Rendimiento	Huella hídrica azul
	m ³ /mes	t/mes	m ³ /t
Octubre	4591	44	104
Noviembre	5758	41	140.3
Diciembre	3424	35	97.8

Cuadro 1.6 Huella hídrica gris en la fase de procesamiento primario del banano, utilizando la demanda biológica de oxígeno como indicador contaminante.

L	Cmax	Cnat	Huella hídrica gris
(kg DBO5/t)	(kg DBO5/m ³)	(kg DBO5/m ³)	(m ³ /t)
0.4691	0.035	0.002	14.21

L es la cantidad de contaminante expresado como DBO por cada tonelada de banano procesada; Cmax es la concentración máxima aceptable de DBO5 (kg/m³) en el cuerpo receptor de agua (en este caso 0.035 kg/m³ para Panamá) y Cnat es la concentración natural de DBO5 en el cuerpo de agua receptor, en este caso 0.002 kg/m³.

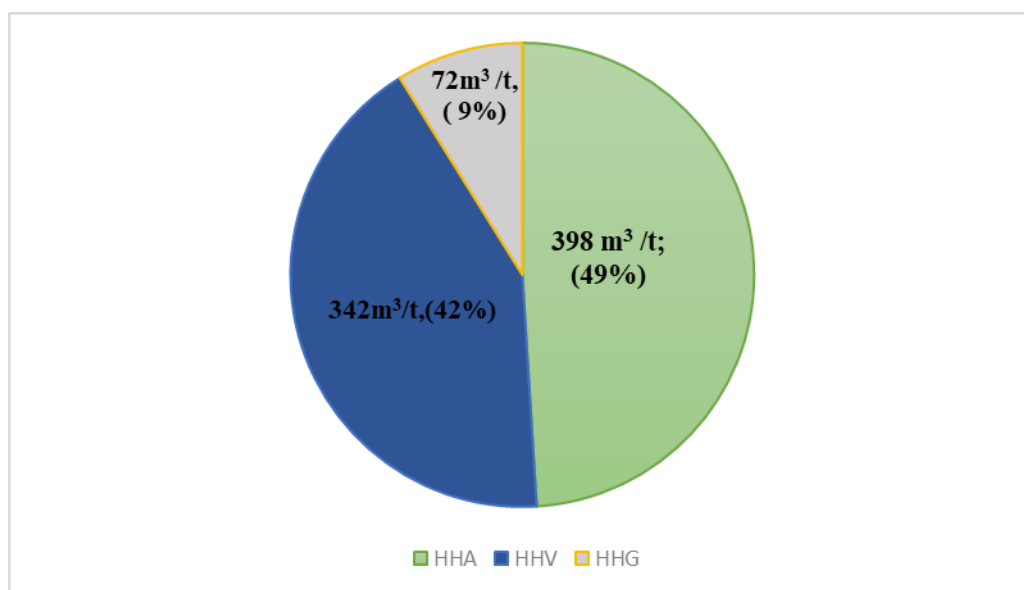


Figura 1.6 Contribución de la huella hídrica verde, azul y gris a la huella hídrica total del banano en la finca San José, Bocas del Toro, Panamá.

Cuadro 1.7 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 4.5, para el año 2030.

Evapotranspiración (mm/periodo de desarrollo)		Uso de agua por el cultivo (m ³ /ha)		Rendimiento	Huella hídrica (m ³ /t)	
Verde	Azul	Verde	Azul	t/ha	Verde	Azul
477.5	386	4775	3860	498.4	9.6	7.7

Cuadro 1.8 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo el escenario representativo (RCP) 8.5, para el año 2030.

Evapotranspiración (mm/periodo de desarrollo)		Uso de agua por el cultivo (m ³ /ha)		Rendimiento	Huella hídrica (m ³ /t)	
Verde	Azul	Verde	Azul	t/ha	Verde	Azul
7.1	883.5	71	8835	498.4	0.14	17.7

1.5 Principales conclusiones

- La metodología que más se ajustó para cuantificar el impacto del uso del agua en el nivel de finca es la planteada por Hoekstra de huella hídrica, ya que son insumos más flexibles para realizar su evaluación en el nivel de finca.
- La huella verde para la fase de producción es la que más contribuye a la huella hídrica total de la finca, ya que el modelo de producción de la empresa COOBANA R.L., depende de la precipitación para poder producir, y resulta vulnerable a los efectos de la variabilidad y el cambio climático. Para la fase de procesamiento su mayor impacto es por la huella hídrica azul mediante el uso consuntivo e ineficiente del agua en los procesos de clasificación y selección de banano en la empacadora.
- Los escenarios de cambio climático indican que la producción de banano tendría que implementar tecnología de riego para poder producir; aunque esto implique un aumento de la huella hídrica azul, debido a que se prevé una disminución de las precipitaciones.

1.6 Principales recomendaciones

- Es necesario disponer de los datos y registros actualizados de todos los procesos de campo y procesamiento de cultivo de banano para poder tener una mayor precisión para aplicar la metodología de huella hídrica y realizar la cuantificación respectiva.
- Es necesario determinar en Panamá normas que establezcan límites permisibles de contaminación del agua para uso en la industria del banano y medir el impacto de huella gris en la actividad bananera.
- Se recomienda hacer estudios comparativos para las tres fincas de producción de banano de la empresa COOBANA R.L., para determinar la huella hídrica total de la empresa en conjunto con esta actividad productiva.

1.7 Literatura citada

- Aguilar, E; Peterson, C; Ramírez, P; Obando, R. Frutos, J; Retana, A; Solera, MJ; Soley, I; González-García, R; Araujo, M; Rosa-Santos, A; Valle, V; Brunet, L; Aguilar, L; Álvarez, M; Bautista, C; Castañón, L; Herrera, E; Ruano, J; Sinay, J; Sánchez, E; Hernández, G; Obed, F; Salgado, E; Vázquez, J; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Ojeda, E; Núñez, R; Haylock, M; Benavides, H; Mayorga, M. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003 (en línea). *Journal of Geophysical Research* 10:1-15. 15p. Consultado 27 may. 2019. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2005JD006119>
- ANAN (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2004. Plan de manejo del humedal de importancia internacional San San Pon Sak (HISSPS). Bocas del Toro. Panamá. 115 p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2009. Informe de monitoreo de calidad de agua en las cuencas hidrográficas de Panamá, compendio de Resultado año 2006-2007. Panamá.
- Argeñal, F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras (en línea). SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Honduras); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Honduras) (eds.). Honduras. 85 p. Consultado 4 jun. 2019. Disponible en <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/10/variabilidad-y-cambio-climatico-honduras2010.pdf>
- AQUAE (Fundación Aquae, España). 2019. Huella hídrica: un indicador para conseguir un mundo más sostenible (en línea, sitio web). Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://www.fundacionaquae.org/blog/infografias/huella-hidrica-un-indicador-para-conseguir-un-mundo-mas-sostenible/>
- Blanco, J. 2017. Bosque, suelo y agua: explorando sus interacciones. Pamplona, España, AEET. *Revista Científica Ecológica y Mi Ambiente* 26(2):1-9.
- Brito, A. 2011. Diagnóstico de implementación de metodología de cálculo de la huella de agua y huella de carbono en empresa DSM (en línea). Tesis Ing. Puerto Montt, Chile, Universidad Austral de Chile. 109 p. Consultado 12 may. 2019. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bpmfcib862d/doc/bpmfcib862d.pdf>

- Bosello, F; Zhang, J. 2005. Assessing climate change impacts: agriculture (en línea). Milán, Italia, Fundación Eni Enrico Mattei. 39 p. Consultado 27 may. 2019. Disponible en <http://services.feem.it/userfiles/attach/Publication/NDL2005/NDL2005-094.pdf>
- Chico, D; Salmoral, G; Llamas, MR; Garrido, A; Aldaya, MM. 2010. The water footprint and virtual water of tomatoes (en línea). Fundación Botín, Santander, España. (8):1-62. (Papeles de Agua Virtual). Consultado 29 jun. 2019. Disponible en https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/PUBLICACIONES/MONOGRAFIAS/PAV/PAV8.pdf
- CADIS (Centro de análisis de ciclo de vida y Diseño sustentable, México); COSUDE (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo, Suiza). 2016. Huella de Agua (ISO 14046:2014) en América Latina y el Caribe: Análisis y Recomendaciones para una Coherencia Regional (en línea). 77 p. Consultado 2 may. 2018. Disponible en <https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Huella%20Agua%20ISO%2014046%20America%20Latina.pdf>
- CONADES (Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible, Panamá). 2008. Estrategia de Desarrollo Sostenible: Plan de Acción (en línea). Gobierno Nacional; Programa Bocas del Toro; BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Estados Unidos) (ed). Panamá. 477 p. Consultado 8 jun.2019. Disponible en <https://www.conades.gob.pa/tmp/file/1361/ESTRATEGIADEDESARROLLOSOSTENIBLEBOCASDELTORODEF.pdf>
- Gobierno de la República de Panamá. 2016. Contribución Nacionalmente Determinada a la Mitigación del Cambio Climático (NDC) de la República de Panamá ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (en línea). Mi Ambiente. 30 p. Consultado 7 jun. 2019. Disponible en <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Panama%20First/PANAMA%20NDC.pdf>
- COOBANA R.L (Corporación Bananera del Atlántico, Panamá). 2018. Historia y producción de la Cooperativa Bananera del Atlántico. Changuinola, Panamá. Comunicación Personal.
- Decreto no. 35, 1966a. Permiso temporal para uso de agua. DRBT-018-2018. Ley 41 de 1 jul. 1998. Panamá, 8 ago.
- Decreto no. 35, 1966b. Permiso temporal para uso de agua, DRBT-019-2018. Ley 41 de 1 jul.1998. Panamá, 8 ago.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2004. La economía mundial del banano 1985-2002 (en línea, sitio web). Consultado 27 jun. Disponible en <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2011. Costa Rica: Número uno del mundo en uso de agroquímicos. Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe (en línea, sitio web). Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/508248/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2012a. Crop water information for banana (PDF). Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2012b. Programa para interpolación de Datos Climáticos New_LocClim (en línea). Programa Informatico. Roma, Italia. Consultado 6 set. 2018 Disponible en <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2012c. Programa para el cálculo de los requisitos de guía de un cultivo, CROPWAT (en línea). Programa Informatico. Roma, Italia. Consultado 6 set. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2017. Huella de agua de la industria bananera (en línea). Foro Mundial del Banano.: Colección de Buenas Costumbres. Consultado 22 jun. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6914s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2019. El Agua (en línea, sitio web). Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/water/es/>
- Futuro Latinoamericano; Servicios Ambientales S.A.; Feel Carbonated Org; Water Footprint Network. 2002. Manual de evaluación: Manual de evaluación huella hídrica (en línea). 44 p. Huella de Ciudades. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/05/ManualEvaluacionHH.pdf>
- Gólcher, C. 2013. Aplicación del cálculo de huella hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica: Foro técnico “Cálculo de huella hídrica para el sector agropecuario de América Latina (en línea). HIDROCEC-UNA. Costa Rica. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <http://legacy.iica.int/esp/organizacion/ltgc/forostecnicos/Documents/Foro4-2013/ChristianGolcher.pdf>

- Guamán, J. 2018. Estimación de la huella hídrica para la secretaría del agua, planta central Quito (en línea). Ing. Quito, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. 75 p. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15620/1/UPS%20-%20ST003568.pdf>
- GWP (Global Water Partnership, Suecia). 2015. Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Panamá (en línea). Tegucigalpa, Honduras. GWP Centroamérica. 38 p. Consultado 7 jun. 2019. Disponible en https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_panama_2016.pdf
- Hoekstra, A; Chapagain, AK. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Oxford, United Kingdom. Blackwell Publishing. 151p.
- Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, A. 2009. Water Footprint Manual: State of the Art.2009 (en línea). Enschede, Netherlands. 131 p. Consultado 13 may.2019. Disponible en <https://waterfootprint.org/media/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>
- Hoekstra, A. 2011. Understanding the water footprint of factory farming (en línea). Insight.14-15 p. Consultado 11 dic. 2018. Disponible en https://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2011-FarmAnimalVoice_1.pdf
- Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M; Mekonnen, M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard (en línea). Washington, USA. Earthscan, 228 p. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- Hoekstra, A., Hung, P. 2012. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade (en línea). IHE DELFT. Value of water research report. (11):1-120. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en https://waterfootprint.org/media/downloads/Report11_1.pdf
- Hoekstra, A; Mekonnen, M. 2012. The water footprint of humanity (en línea). Peter, G (ed). Estados Unidos. 109(9):3231-3237. Consultado 10 jun. 2019. Disponible <https://www.pnas.org/content/pnas/109/9/3232.full.pdf>
- Hoekstra, A; Mekonnen, M. 2017. Water Footprint Network: The Water Footprint Assessment Tool (en línea, sitio web). Consultado 4 jun. 2019. Disponible en <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/#CP>
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia); UNAL (Universidad Nacional de Colombia). 2018. Variabilidad climática y cambio climático

en Colombia (en línea). Bogotá, Colombia. 28 p. Consultado 22 jun. 2019. Disponible en <http://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2014. Agua y alimento para la tierra (en línea). Beekman, G.; Cruz, S.; Espinoza, N.; García, E.; Toledo, C.; Medina, D; Williams, D.; García, M. (cords.) San José, Costa Rica, IICA. 135 p. Consultado 2 jun. 2019. Disponible en <https://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/B3271e.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, México). 2017. El agua para la agricultura de las américas. Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencia Agrícolas., México. Nv. ed.; Villalobos Arámbula, V.; García, M.; Ávila, F. (cords.). 136 p.

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, México). 2018. Requerimientos de clima y suelos para el cultivo de banano. (en línea). México. 3 p. Consultado 28 jun. 2018. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en línea). Ginebra, Suiza, IPCC. 104 p. Informe IPCC 207. Consultado 30 may. 2019. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

ISO (the International Organization for Standardization). 2006. ISO 14044: 2006. (en línea, sitio web). Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://www.iso.org/standard/38498.html>

ISO (International Organization for Standardization). 2014. Environmental management: water footprint principles, requirements and guidelines (en línea). 33 p. Consultado 23 may. Disponible en <https://www.iso.org/standard/43263.html>

Machuca, L. 2012. Banano bocatoreño consigue abastecer mercado nacional (en línea). 4 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <http://legacy.iica.int/Esp/regiones/central/panama/Lists/Noticias%20IICA%20Panama/Attachments/420/Banano%20bocatore%C3%B1o%20consigue%20abastecer%20mercado%20nacional.pdf>

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems* 15(3):401-415.

- Mekonnen, M., Hoekstra, A. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences* (en línea) 15(5):1577-1600. Consultado 2 jun. 2019. Disponible en <https://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>
- Meza, F. 2009. Variabilidad y cambio climático (en línea). Desafíos para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas. (Diapositiva). Centro de Cambio Global. Perú. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en <http://www.met.igp.gob.pe/ccmantaro/presentaciones/meza.pdf>
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá). 2017. Exitosa celebración del día de las frutas. (En línea, sitio web). Consultado 28 jun. 2018. Disponible en https://www.mida.gob.pa/noticias_id_4799.html
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, van Vuuren, R., Weyant, J., Wilbanks, T., Pascal, J., Zurek, M. 2008. Exploración de nuevos escenarios para el análisis de emisiones, cambio climático: impactos y estrategias de respuesta. Ginebra. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Consultado 12 jun 2019. Disponible en <https://gisclimatechange.ucar.edu/>
- Montserrat, F., Viegas, M. 2014. Huella hídrica: la nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación (en línea). Consultado 18 ago. 2018. Disponible en <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896712004.pdf>
- Muñoz, W. 2014. Cálculo de la huella hídrica en fincas ganaderas ubicadas en la cuenca del río de La Villa, Panamá (en línea). Tesis M.Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7078/Calculo_de_la_huella_hidrica_en_fincas_ganaderas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2006. Vigilancia y alerta temprana de la sequía (en línea). Ginebra, Suiza. 28 p. Informe OMM No. 1006. Consultado 30 may. 2019. Disponible en http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf
- Pleurotus, D., Altos, L., Nahedtoral, J. 2004. El cultivo de banano. 15 p.
- Rees, WE. 2008. Ecológica e injusticia ambiental 13:3-28.

- Rockstrom, J; Falkenmark, M. 2006. The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132(3):129-132.
- Rodríguez, M. 2017. Repuesta potenciales de los murciélagos frugívoros ante el cambio climático, en áreas de conservación en un gradiente altitudinal del Caribe de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 97 p.
- Rodríguez, D. 2018. Situación actual de la producción de banano en COOBANA R.L. (entrevista). Changuinola, Panamá, COOBANA.
- Rojas-Huerta, CG; Muñoz-Salas, MN. 2018. Análisis económico de la huella hídrica del banano orgánico en Sullana para los años 2000 al 2014 (en línea). 50 p. Consultado 12 may. 2019. Disponible en <https://www.equipu.pe/dinamic/publicacion/adjunto/1522078583oVSuS861JZ.pdf>
- Romero-Rodríguez, BI. 2003. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental (en línea). *Tendencias Tecnológicas*. 91-97. Consultado 22 jul. 2018. Disponible en <https://www.ineel.mx/boletin032003/tend.pdf>
- Sharp, R; Tallis, HT; Ricketts, T; Guerry, AD; Wood, SA; Chaplin-Kramer, R; Nelson, E; Ennaanay, D; Wolny, S; Olwero, N; Vigerstol, K; Pennington, D; Mendoza, G; Aukema, J; Foster, J; Forrest, J; Cameron, D; Arkema, K; Lonsdorf, E; Kennedy, C; Verutes, G; Kim, CK; Guannel, G; Papenfus, M; Toft, J; Marsik, M; Bernhardt, J; Griffin, R; Glowinski, K; Chaumont, N; Perelman, A; Lacayo, M; Mandle, L; Hamel, P; Vogl, AL; Rogers, L; Bierbower, W; Denu, D; Douglass, J. 2018. InVEST 3.7.0. Guía del usuario (en línea, software). The Natural Capital Project, la Universidad de Stanford, la Universidad de Minnesota, The Nature Conservancy y World Wildlife Fund. Consultado 3 jun. 2019. Disponible en <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/>
- SICA (Sistema de la Integración Centroamericana, El Salvador). 2018. Memorias (en línea). LVII Foro del Clima de América Central: Perspectiva Regional del Clima Centroamérica (2018, Ciudad de Panamá, Panamá). 17 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <https://www.sica.int/Consulta/Documento.aspx?Idn=116351&idm=1>
- Soto, M. 2014. Banano: conceptos básicos bananos. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 338 p.
- Soto, M. 2017. Banano: manejo postcosecha y comercialización. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 320 p.
- Suppen, N. 2013. Medición del agua evitaría desperdicio de este recurso (en línea, sitio web). Consultado 2 sep. 2018. Disponible en <http://revistasumma.com/40877/>

- Tolón-Becerra, A; Lastra-Bravo, XB; Fernández-Membrive, VJ. 2013. Huella hídrica y Sostenibilidad de los recursos hídricos (en línea). Revista Electrónica de Medio Ambiente 14(1):56-86. Consultado 3 jun. 2019. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia). 2006. Water: A shared responsibility: The united nations world water development report 2 (en línea). 52 p. Consultado 1 ago. 2018. Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144409>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia). 2018. Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. (en línea, sitio web). Francia, 168 p. Consultado 25 ago. 2018. Disponible en http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/?utm_source=IWA-NETWORK&utm_campaign=225734ad48-EMAIL_CAMPAIGN_2018_03_15&utm_medium=email&utm_term=0_c457ab9803-225734ad48-158989237
- Vallejo, AL. 2015. Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en plantas empacadoras de banano en Costa Rica (en línea). Tesis Ing. Cartago, Costa Rica. ITEC. 108 p. Consultado 10 set.2018. Disponible en <http://hdl.handle.net/2238/6305>
- Vallejo-Chaverri, AL; Vallejo- Solís, MA; Nájera-Fernández, J; Garnier-Zamora, LA. 2017. Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera (en línea). FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); GIZ (Deutsche Gesellschaft Fur International Zusammenarbeit, Alemania) (eds). 140 p. Roma, Italia. Consultado 8 jun. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i8333s.pdf>
- Vargas, E. 2017. Impacto Fairtrade: COOBANA, R. L (en línea). Boletín de banano-Setiembre 2017-1:1-14. CLAC; Fairtrade. Ciudad de Panamá, Panamá. 13 p. Consultado 29 jun. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/63629760-Contenido-introduccion-por-que-el-proyecto-pip-los-impactos-del-proyecto-pip-impacto-fairtrade-coobana-r-l.html>
- World Bank. 2015. A Water-Secure World for All. Water for Development: Responding to the Challenges (PDF). Washington, Estados Unidos, World Bank. 40 p.
- World Bank Group. 2016. A water -Secure world for all (PDF). Washington, Estados Unidos. World Bank. 26 p.

- WFP (Water Footprint Network, s.l.); Hoekstra, A. 2017. Herramienta de la evaluación de la huella hídrica (en línea, programa interactivo). Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/>
- WWAP (World Water Assessment Program, Francia). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water Under Uncertainty and Risk (en línea). Paris, Francia UNESCO. Consultado 31 may. 2019. Disponible en <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>
- Zárate, E; Torres, A; Kuiper, D; Moreira, D; Castro, C; Cascante, R. 2017. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica (en línea). Unión Europea; IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). San José, Costa Rica. 80 p. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2996/1/BVE17068913e.pdf>
- Zárate, E; Kuiper, D. 2013. Evaluación de huella hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador (en línea). Good Stuff International. Suiza. 70 p. Consultado 29 jun 2018. Disponible en [http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20\(2013\)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20(2013)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf)

CAPÍTULO 2

ARTÍCULO 1

Cuantificación de la huella hídrica en la producción bananera: Un estudio de caso en Bocas del Toro, Panamá

Mayelin Palacio, Laura Benegas, Francisco Jiménez, Ney Ríos.

2.1 Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la huella hídrica del banano en la fase de cultivo y procesamiento primario (planta empacadora). El análisis se realizó para un periodo de tres meses y tomó como base la finca San José de la empresa COOBANA R.L., ubicada en Bocas del Toro, Panamá, utilizando la metodología de Hoekstra, complementada con el programa Cropwat. Además, se usó el método de balance de masa para determinar el volumen de agua necesario para asimilar el contaminante en ambas fases de la producción bananera.

Se calculó la huella hídrica verde (HHv), azul (HHa), gris (HHg) y total (HH). También se evaluó la sostenibilidad del recurso hídrico al nivel de cuenca para el abastecimiento del cultivo, utilizando el programa InVEST. Finalmente, se analizó el efecto de dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 al año 2030 para el manejo productivo y en la huella hídrica, a fin de proponer alternativas de reducción de esta.

En la fase de cultivo, la HHv promedio mensual fue de 133 m³/t, la HHa de 0 t/ha (no hubo de riego) la HHg fue 57 m³/t tomando como único indicador el nitrógeno. En la fase de procesamiento (empacadora) la HHv es cero, la HHa fue 114 m³/t y la HHg fue 14.5 m³/t. La HH total en las dos fases fue de 812 m³/t. Los resultados de sostenibilidad de abastecimiento del recurso hídrico en el nivel de la cuenca indican que no se prevé ningún impacto significativo en la huella hídrica. En el escenario RCP 4.5, la HHv fue de 9.6 m³/t y la HHa fue 7.7 m³/t, lo cual indica dependencia parcial de riego, mientras que con el RCP 8.5 la HHv fue de 0.14 m³/t y la HHa 17.7 m³/t, lo que significaría una gran dependencia del riego. Para la reducción de la huella hídrica del banano en el sitio de estudio, se proponen acciones, tanto al nivel de la fase de cultivo, tales como riego por goteo, como de la fase del procesamiento primario (empacadora), y como la implementación de tecnologías de recirculación del agua, bandejas móviles para la fruta y lavado de esta mediante aspersion.

Palabras claves: huella hídrica verde, azul y gris, fase de cultivo, fase de procesamiento primario, programa Cropwat, sostenibilidad del recurso hídrico en el nivel de cuenca, programa InVEST, escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5

2.2 Abstract

Quantification of the water footprint in banana production. A case study in Bocas del Toro, Panama.

The objective of the study was to determine the water footprint of banana in the phase of cultivation and primary processing (packing plant). The analysis was carried out for a period of three months and was based on the San José farm of the company COOBANA R.L., located in Bocas del Toro, Panama, using the Hoekstra methodology, complemented by the Cropwat program. In addition, the mass balance method was used to determine the volume of water necessary to assimilate the contaminant in both phases of banana production.

The green (HHv), blue (HHa), gray (HHg) and total (HH) water footprints were calculated. The sustainability of the water resource at the watershed level was also evaluated for the supply of the crop, using the InVEST program. Finally, the effect of two scenarios of climate change, RCP 4.5 and 8.5, was analyzed in the year 2030 for productive management and the water footprint, in order to propose alternatives for reducing it.

In the cultivation phase, the average monthly HHv was $133 \text{ m}^3 / \text{t}$, the HHa was $0 \text{ t} / \text{ha}$ (there was no irrigation), the HHg was $57 \text{ m}^3 / \text{t}$ taking nitrogen as the only indicator. In the processing phase (baler) the HHv is zero, the HHa was $114 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHg was $14.5 \text{ m}^3 / \text{t}$. The total HH in the two phases was $812 \text{ m}^3 / \text{t}$. The results of the sustainability of water supply at the watershed level indicate that no significant impact on the water footprint is expected. In the RCP 4.5 scenario, the HHv was $9.6 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHa was $7.7 \text{ m}^3 / \text{t}$, indicating partial dependence on irrigation, while with the RCP 8.5 the HHv was $0.14 \text{ m}^3 / \text{t}$ and the HHa $17.7 \text{ m}^3 / \text{t}$, which would mean a great dependence on irrigation. For the reduction of the water footprint of the banana in the study site, actions are proposed, both at the level of the cultivation phase, such as drip irrigation, as well as the primary processing phase (packing), as well as the implementation of technologies of recirculation of the water, mobile trays for the fruit and washing of this by means of aspersion.

Key words: green, blue and gray water footprint, cultivation phase, primary processing phase, Cropwat program, water resource sustainability at watershed level, InVEST program, climate change scenarios RCP 4.5 and 8.5

2.3 Introducción

El agua está ligada a la agricultura y es considerada un bien público, cada vez más escaso y de alta demanda por la agricultura, la cual consume el 70% del agua dulce que se extrae anualmente en el mundo (IICA 2017). Por ello, diferentes acciones en pro de su conservación y uso eficiente se han convertido en un asunto estratégico para la seguridad hídrica en escala local, nacional y regional. Entender la dinámica de la variabilidad climática, así como su efecto en el suministro y demanda del agua a todos los sectores es fundamental para lograr la seguridad hídrica, la cual requiere implementar medidas preventivas de adaptación al cambio climático (Aldaya et al. 2010, Sadoff y Müller 2010). En el sector agrícola, el uso eficiente del agua busca evitar su desperdicio y contribuir a aumentar la productividad y la oferta de alimentos. Se estima que el 20% del consumo anual del agua proviene del agua azul; es decir de ríos, lagos y agua subterránea (WWAP 2012).

El recurso hídrico es el medio por el cual el cambio climático tendrá efectos sobre las personas, los ecosistemas y las economías. Conflictos entre usuarios se incrementarán en los próximos años de carácter mundial y existirá incertidumbre por el rol que tendrán las prácticas de los sistemas de producción en la eficiencia de su uso, como es el caso de la producción de banano, que utiliza el agua en todos los procesos de su cadena de valor. El cultivo de banano es uno de los alimentos más importantes en las zonas tropicales y gran parte de su producción se destina a la venta en el mercado mundial (FAO 2004, Altendorf 2019).

El cultivo de banano tiene un alto requerimiento de agua que oscila entre 1200 mm en el trópico húmedo y 2200 mm en el trópico seco, ya que requiere de un suministro elevado y frecuente de agua durante todo su ciclo productivo; los déficits hídricos afectan el crecimiento del cultivo y su rendimiento (Tolón-Becerra et al. 2013). En los últimos años, la industria de producción de este cultivo ha demostrado interés en implementar BPA (Buenas Prácticas Agrícolas) en cuanto a la eficiencia del consumo de agua y la utilización de métodos para la descontaminación, considerando necesario implementar prácticas de gestión hídrica agrícola en la industria bananera para reducir su huella hídrica (Zarate y Kuiper 2013, FAO 2017a). La determinación de los requerimientos de agua de la producción de banano es necesaria para la gestión y planificación de los recursos hídricos (UNESCO 2006, Cigales y Pérez 2011).

Una práctica agropecuaria relevante en el cultivo de banano es el riego, y aun cuando con esta práctica se proporciona alrededor del 10% de agua necesaria para el desarrollo de la planta, tiene una función estratégica ya que suplementa el aporte de agua proveniente de las lluvias. Eso es especialmente importante en áreas vulnerables a la variabilidad climática donde el cultivo requiere la provisión de agua en periodos secos. Anomalías climáticas vinculadas a menor precipitación y altas temperaturas podrían resultar en menos agua disponible para el cultivo bajo riego, lo cual provocaría un incremento en la vulnerabilidad de las plantaciones bananeras ante periodos secos y precipitaciones intensas (GSI et al. 2017).

En el nivel mundial, actualmente América Latina y el Caribe (ALC) constituyen la región más importante para la exportación de banano. Para el periodo 2016-2018 su volumen total de producción se estimó en 30 millones de t/año y su exportación promedio anual total fue de 13 millones de t/año, que representa un 80% del banano mundial. En Panamá, para el

año 2018 aumentó su exportación de fruta a un 3.2%, donde el cultivo de banano representa un 15% de las exportaciones panameñas, aportando así al desarrollo económico del país (CGRP 2018). En los últimos años, debido a la variabilidad climática, principalmente sobre los patrones de lluvias, la producción de banano en el país ha disminuido. Hace 30 años Panamá exportaba 50 millones de cajas de banano, mientras que en el 2010 la producción llegaba a solo 12 millones de cajas (IMA 2010).

En Panamá, prácticamente toda la producción de banano (más del 99%) se da en la provincia de Bocas del Toro (MIDA 2017). Uno de los productores mayoritarios en Bocas del Toro es la Cooperativa Bananera del Atlántico (COOBANA R.L.), que cultiva 566 hectáreas de banano en Changuinola. El 60% de la producción total de esta empresa se exporta a Holanda. COOBANA R.L., cuenta con certificación de tres empresas; las cuales garantizan la protección del medio ambiente, la conservación del agua, los suelos, la salud y derechos de los trabajadores (Rainforest Alliance 2014, COOBANA 2017).

La importancia de implementar el concepto de la huella hídrica en la producción de banano surge de un análisis de los impactos que genera el ser humano en los recursos hídricos, basado en un indicador de uso del agua que mide el volumen de agua consumida o contaminada por producto o por cultivo con el fin de evaluar la apropiación humana del recurso hídrico y su sostenibilidad. El análisis de la huella hídrica es una metodología que contribuye al ahorro potencial del agua con la finalidad de incrementar la productividad del agua agrícola para disminuir la presión sobre los recursos hídricos, reducir la degradación ambiental y garantizar la seguridad alimentaria (IICA 2014).

El objetivo de este estudio fue determinar la huella hídrica del sistema de producción bananera, tomando como referencia fincas bananeras de COOBANA R.L., ubicadas en la provincia de Bocas del Toro, Panamá.

2.4 Metodología

2.4.1 Ubicación del sitio de estudio

El estudio se realizó en la finca San José (76), coordenadas: 17P0332607, UTM 1047088 de COOBANA R.L, ubicada en la provincia de Bocas del Toro, en la cuenca hidrográfica (89) entre los ríos Changuinola y Sixaola (Figura 2.1), en la región hídrica del Caribe occidental panameño (ANAM 2009). Las principales actividades que practican en la cuenca son la ganadería y la agricultura, principalmente el banano para exportación.

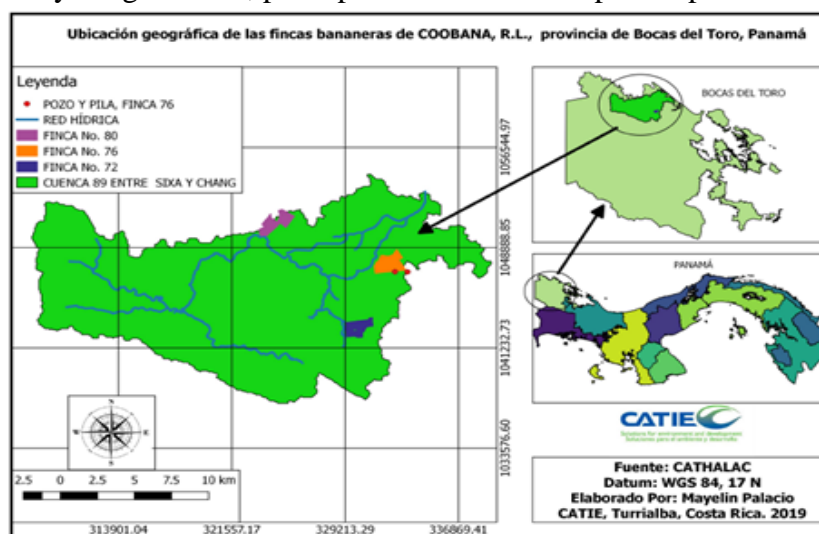


Figura 2.1. Ubicación geográfica de las fincas bananeras de COOBANA R.L., en la provincia de Bocas del Toro, Panamá.

2.4.2 Selección de la metodología para la determinación de la huella hídrica del cultivo de banano en la provincia de Bocas del Toro, Panamá

Se realizó una revisión de literatura disponible sobre el tema de huella hídrica, basado en consultas de artículos en revistas, manuales, tesis, libros, estudios de caso y otras publicaciones. Con base en el análisis de la revisión de literatura se identificaron dos metodologías con potencial para aplicar en el presente estudio: a) la ISO 14046 que define la huella hídrica como métricas que cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua y b) la huella hídrica por la WFP que define el concepto como una medida del volumen de agua que se usa y se contamina al crear o producir un producto (Hoekstra et al. 2012, Ferrer 2014). Con base en la información recopilada se elaboró un cuadro comparativo con el nombre, el autor, alcance del método, ventaja, desventajas y resultados obtenidos. Para seleccionar la metodología que mejor se ajustaba al objetivo del estudio y a la información disponible, se elaboró una línea base con datos de inventarios de producción, de manejo del cultivo y procesamiento de la fruta en la empacadora. Luego se analizó la aplicabilidad de cada metodología en el sitio y se tomaron en cuenta también las recomendaciones de expertos.

2.4.3 Determinación de la contribución de diferentes etapas del ciclo productivo y procesamiento primario del banano a la huella hídrica en la empresa COOBANA R.L.

Para este estudio se siguió la metodología seleccionada para huella hídrica en el cultivo de banano según Hoekstra (2011), cuyas principales fases se indican en la figura 2.2.

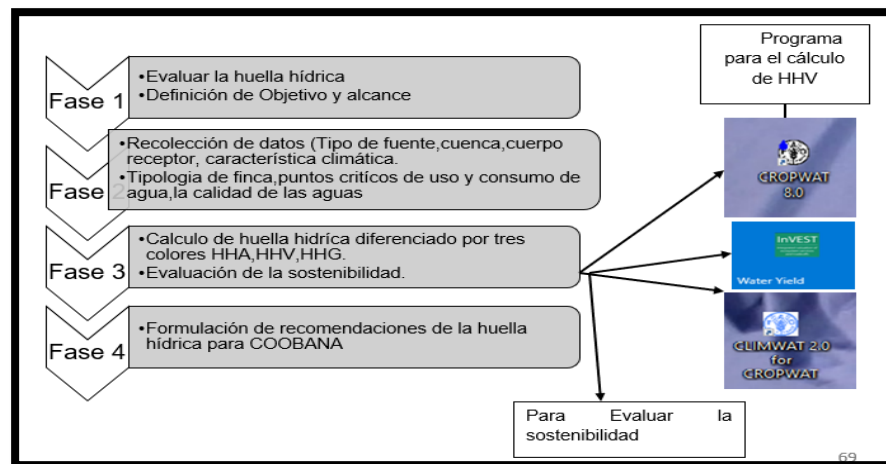


Figura 2.2 Esquema metodológico de la huella hídrica con base en Hoekstra (2011).

El objetivo fue identificar los tipos de huella hídrica de manera directa en la fase de producción y procesamiento primario del banano, en el nivel de finca, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2018, específicamente en la finca San José, una de las más productivas de la empresa COOBANA R.L., de Bocas del Toro, Panamá. La finalidad fue identificar estrategias viables para la disminución de la huella hídrica en su cadena de valor.

Con la metodología descrita por Hoekstra y Chapagain (2008) la huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de aguas superficiales y subterráneas (riego). La huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua de lluvia. La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que es necesario para asimilar la carga de contaminantes. Fueron seleccionados dos indicadores de contaminación: en la etapa de producción y el contaminante escogido fue la concentración de nitrógeno (N), y en la fase de proceso del banano fue la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), que indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua.

2.4.4 Determinación de la huella hídrica en la producción y procesamiento del banano

Se organizó la información recolectada durante la fase de campo (octubre, noviembre y diciembre) sobre superficie sembrada, datos de temperatura (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día), tipo de producción secano o regadío, resultados de análisis de suelo, análisis de agua, producción diaria de agua, consumo de agua, fuente de extracción y su caudal, dimensiones de pozo e inventario de fertilizantes y agroquímicos que se utilizaron durante el periodo de estudio. También se utilizó el programa Cropwat Versión 8.0 para cuantificar la huella hídrica verde (Allen et al. 1998, FAO 2012).

Cálculo de la huella hídrica verde en la fase de producción del cultivo del banano

Para el cálculo de la huella hídrica verde (HHv) en la fase de producción del banano se utilizó la ecuación 1 (Hoekstra et al 2008):

$$HHv = UAc / Y \quad [m^3 /t] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: UAc es el uso de agua proveniente de lluvia por el cultivo, expresado en m³/ha; Y es el rendimiento del cultivo, expresando en t/ha, en este caso durante los tres meses de duración del estudio (anexo 1). El UAc indica el agua que el cultivo requiere para la evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas y fue calculado mediante el programa Cropwat 8.0 de la FAO.

Cálculo de la huella hídrica gris en la fase de producción del cultivo del banano

La huella hídrica gris (HHg) se calculó mediante el método de balance de masa, ya que se basa en el agua necesaria para asimilar la carga de contaminantes basado en la calidad de agua existente. Se utilizó el parámetro nitrógeno (N), determinado con base en la dosis de aplicación de este elemento, según la programación de fertilización de la empresa COOBANA R.L. Aunque existen otros elementos y sustancias contaminantes que se utilizan en la fase de producción del banano (fósforo, potasio, pesticidas), estos no se incluyeron en el estudio por falta de información. Los resultados se obtuvieron siguiendo la fórmula descrita por Pérez (2012) que se sintetiza en la ecuación 2.

$$HHg = L / (Cmax - Cnat) \quad [m^3 /t] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: L es la cantidad de fertilizante nitrógeno aplicado para producir cada tonelada de banano (kg/t) calculada para los tres meses de duración del estudio (anexo 2); Cmax es la

concentración máxima permisible de N (kg/m^3) en el cuerpo receptor de agua, según normativa existente para Panamá, que es de $0.01 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Resolución no. 351, 2000) y C_{nat} es la concentración natural de nitrógeno en el cuerpo de agua receptor (kg/m^3), que para este estudio se consideró 0, siguiendo la sugerencia de Hoekstra et al (2011) para cuando no se dispone de la información. De esa manera se obtuvo el volumen de agua requerido por tonelada de banano para diluir la carga contaminante del nitrógeno hasta un valor máximo permisible de $0.01 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($10 \text{ mg}/\text{l}$).

Cálculo de la huella hídrica azul para la fase de procesamiento del banano

Para el cálculo de la huella hídrica azul (HHa) durante la fase de procesamiento primario de la fruta, se utilizó la ecuación 3 (Hoekstra y Chapagain 2008), teniendo en cuenta que la fuente de agua puede ser subterránea o superficial.

$$HHa = UAe / Y \quad [\text{m}^3 / \text{t}] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: UAe es el uso de agua en la empacadora proveniente de fuentes de agua superficiales o subterráneas (anexo 3), expresado en m^3/ha ; Y es el rendimiento del cultivo, expresando en t/ha , en este caso durante los tres meses de duración del estudio (anexo 1).

Para determinar el uso de agua en la empacadora se realizó un aforo (ml/s), tres veces por semana de las boquillas de PVC que suministran agua para llenar las tinas de lavado de la fruta, así como la determinación del número de horas de trabajo diario de la planta empacadora. Además, se realizó la medición dimensiones de cada tina para estimar su contenido volumétrico de agua y se realizaron los cálculos correspondientes. Además, se monitoreó y se identificaron los puntos críticos de uso y pérdida del agua durante el proceso. En esta etapa de procesamiento la HHv es cero, ya que el uso consuntivo del agua proviene de fuentes subterráneas.

Cálculo de la huella hídrica gris en la fase de procesamiento del banano

Para este cálculo se consideró el volumen de agua azul de la fase de procesamiento de las tinas de lavado más el porcentaje de excedente para cada sección de clasificación y desmane (anexo 4). El parámetro seleccionado fue la demanda biológica de oxígeno (DBO5), dato extraído del análisis del agua que sale de la empacadora de la empresa COOBANA.R. L, (anexo 5). No se incluyeron otros parámetros como los productos químicos utilizados en esta fase por falta de información. Los resultados se obtuvieron siguiendo el método descrito por Zárate et al (2017) que se sintetiza en la ecuación 4:

$$HHg = L / (C_{max} - C_{nat}) \quad [\text{m}^3 / \text{t}] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: HHg es la huella hídrica gris; L es la carga del contaminante emitida en el proceso, que se calcula tomando en cuenta el volumen de agua (m^3) utilizado para cada tonelada de fruto procesada (en este caso 20.27 m^3), así como las concentraciones de contaminante (DBO5) en el efluente expresado en kg/m^3 (en este caso $0.02315 \text{ kg}/\text{m}^3$); C_{max} es la carga de contaminante máxima permisible, según la normativa panameña (Resolución no. 351, 2000), en este sentido, para el indicador DBO5 ($0.035 \text{ kg}/\text{m}^3$); y C_{nat} es la carga contaminante, expresada en este caso como DBO5, que habría en el cuerpo de

agua sin ninguna intervención humana. Chapman citado por Jiménez y Vélez (2006) recomienda para el indicador de contaminación DBO5 un valor de 0.002 kg/m³ como referencia para aguas con bajos niveles de contaminación por materia orgánica biodegradable.

Según Hoekstra y Chapagain (2008), de esa manera, se obtiene la cantidad de m³ de agua que se requiere por tonelada de producto agrícola (en este caso banano) para diluir la carga contaminante hasta el valor máximo permisible, en este caso de 0.035 kg/m³ de DBO5 (35 mg/l).

Cálculo de la huella hídrica total del cultivo de banano

La huella hídrica total (HH) de la fase de producción del cultivo se determinó a partir de la suma de sus tres componentes principales: huella hídrica verde (HHv), azul (HHa) y gris (HHg), expresada en metros cúbicos de agua por tonelada de banano, según se esquematiza en la ecuación 5 (Hoekstra y Chapagain 2008).

$$HH= HHv + HHa + HHg \quad [m^3/t] \quad (5)$$

2.4.5 Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica desde la perspectiva ambiental, en cuanto a la eficiencia en el uso del recurso hídrico con un enfoque de cuenca, se realizó con base en la disponibilidad de agua en la cuenca (GSI et al. 2017). Para calcular producción de agua de la cuenca del río Sixaola y Changuinola, donde se ubica la finca San José de COOBANA R. L., se utilizó el modelo InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). Con base en los objetivos planteados en la presente investigación, solo se usaron los componentes 1 y 2 del modelo InVEST: a) Rendimiento de agua: determina la cantidad de agua que sale de cada píxel como la precipitación menos la fracción del agua que sufre la evapotranspiración; b) Consumo de agua: calcula la entrada de agua a un reservorio según el rendimiento de agua calculado y el uso de consumo de agua en la cuenca de interés.

El modelo de producción de agua de InVEST identifica la cantidad de agua que cada parte del paisaje contribuye anualmente a la producción de agua en una cuenca a partir procesos de álgebra de mapas, utilizando insumos climáticos (precipitación y evapotranspiración potencial), edáficos (profundidad efectiva de raíces y disponibilidad de agua en el suelo) y de cobertura (Ríos 2019), según se ilustra en la figura 2.3.

El resultado del proceso es la generación de un archivo ráster de producción de agua y zonas de mayor potencial de producción en un archivo en formato shapefile de la cuenca, con su valor de producción total de agua.

Posteriormente se evaluó la sostenibilidad de la huella hídrica con un enfoque de cuenca para ver la eficiencia del recurso hídrico de las HHa, HHv y HHg (GSI et al. 2017). La fórmula que se utilizó está basada en la metodología propuesta de Hoekstra (Futuro Latinoamericano et al.2002) según se detalla a continuación:

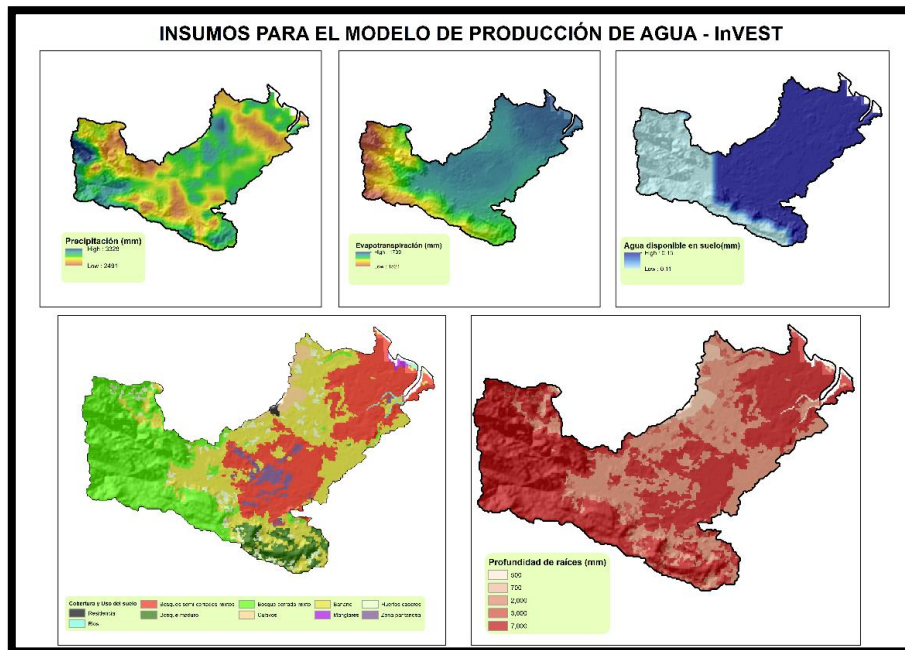


Figura 2.3 Insumos del modelo InVEST para producción de agua en la zona de estudio: ráster de precipitación, evapotranspiración, agua disponible en suelo, uso y cobertura de la cuenca.

Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica verde

Para determinar la sostenibilidad de agua se dividió la huella hídrica verde cuantificada de la producción por el volumen real de agua disponible en la cuenca, según se indica en la ecuación 6. Si el producto de la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental, en cuanto al consumo de agua, no existe o no es significativo (CTA y COSUDE 2013).

$$\text{Sostenibilidad HHv} = \text{Sumatoria de HHv} / \text{Disponibilidad real de agua} \quad \text{Ecuación 6}$$

El requerimiento natural del ecosistema está definido como el 80% del volumen total de escurrimiento de agua en la cuenca (ecuación 7), dejando la disponibilidad real de agua para el uso y consumo (ecuación 8) expresado en m³ (Futuro Latinoamericano et al.2002).

$$\text{Requerimiento natural de agua} = \text{Disponibilidad natural} \times 80\% \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Disponibilidad real de agua de agua} = \text{Disponibilidad natural} - \text{Requerimientos} \quad \text{Ecuación 7}$$

Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica azul

Para determinar la escasez de agua y la sostenibilidad de agua se dividió la huella hídrica azul cuantificada de la producción por el volumen real de agua disponible en la cuenca (agua azul), según se indica en la ecuación 8. Si el producto de la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental, en cuanto al consumo de agua, no existe o no es significativo. La disponibilidad real de agua se calcula según se indicó en la ecuación 7.

$$\text{Sostenibilidad HHa} = \text{Sumatoria de HHa} / \text{Disponibilidad real de agua} \quad \text{Ecuación 8}$$

Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica gris

Se cuantificó mediante el índice de contaminación hídrica (ICH) propuesto por GSI et al. (2017), que es la relación entre el total de huella hídrica gris (HHg) y el volumen de disponibilidad real de agua, según se detalla en la ecuación 9.

$$\text{ICH} = \text{Sumatoria de HHg} / \text{Disponibilidad real de agua} \quad \text{Ecuación 9}$$

2.4.6 Análisis del efecto en la huella hídrica en diferentes escenarios alternativos de manejo productivo y propuesta de alternativas de reducción de la huella hídrica

Se realizó una evaluación de escenarios representativos (RCP) de temperatura y precipitación para el año 2030, utilizando el modelo Cropwat, versión 8.0. Los RCP están basados en los niveles de concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y la trayectoria que se toma con el tiempo para alcanzar esas concentraciones. Estos RCP se nombran de acuerdo con el nivel de forzamiento radiactivo que producen para el año 2100 (IPCC 2007).

Se utilizó para las variables temperatura y precipitación con base en las proyecciones de anomalías climáticas para los años 2020 a 2030 con los RCP vías de estabilización" intermedias en el que el forzamiento radiactivo de 4.5 watos por metro cuadrado (Wm^{-2}) para el 2100 y vía alta en la que el forzamiento radiactivo es alto 8.5 watos por metro cuadrado (Wm^{-2}) para 2100.

Con bases en las anomalías climáticas para cada RCP 4.5 y 8.5 se escogió el año 2030 para calcular la huella hídrica verde y azul con el programa Cropwat 8.0. Esta herramienta permite calcular los requerimientos de agua para el cultivo y necesidad de riego (opción RAC) con base en datos del cultivo (valor kc, días de crecimiento, profundidad radicular, respuesta de rendimiento y altura) y variables climáticas (temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa y radiación solar).

Con base en los resultados de los escenarios RCP 4.5 y 8.5, relacionado con el requerimiento del cultivo de la huella verde y azul se presentan recomendaciones de manejo del cultivo. Así mismo, con base en los resultados de cuantificación de la huella hídrica se plantean propuestas ecoeficientes que podrían contribuir a mejorar la eficiencia en el uso del agua en la etapa de procesamiento y producción del banano, con la finalidad de disminuir la huella hídrica.

2.5 Resultados y discusión

2.5.1 Selección de una metodología adecuada para determinar la huella hídrica del cultivo de banano en Bocas del Toro

Con base en la revisión de literatura y análisis de metodologías se determinó que para el caso de estudio de COOBANA R.L., la metodología de Hoekstra (2011) resulta más útil para cuantificar la huella hídrica (cuadro 2.1). Esta permite estimar la huella hídrica en el nivel de finca, utilizando como insumo de referencia datos básicos relacionados con la producción y fuente de agua. El concepto de huella hídrica es un indicador que relaciona el uso del agua con el consumo. Permite conocer el volumen de agua que necesita para producir un alimento (Muñoz 2014).

Esta metodología de Hoekstra es muy utilizada ya que estudia la disponibilidad de agua orientada a las fuentes de las que provienen: huella hídrica verde, azul y gris. También esta metodología se complementa fácilmente con programas que estiman las huellas hídricas verde y azul con modelos como Cropwat, AquaCrop, InVEST, que consideran variables climáticas, así como el balance hídrico, lo que permite inferir en los tipos de huella hídrica que se consume para producir y poder gestionar de manera eficiente la misma. Por otra parte, la metodología de ISO 14046 es muy rigurosa en cuanto insumo y utilización de programas complementarios para la evaluación de la huella del agua (Vallejo 2015, Álvarez et al. 2016).

Cuadro 2.1 Comparación de las principales metodologías disponibles para la cuantificación del agua relacionada con el uso del recurso hídrico.

METODOLOGÍAS		
Criterio	Hoekstra 2011	ISO 2014
Alcance	Utiliza el término huella hídrica. Se basa en criterios de clasificación del agua: huella hídrica azul, verde y gris (Hoekstra 2011).	Utiliza el término huella del agua. Se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV) (ISO 2014). Establecida por la norma (ISO14044).
Etapas de evaluación	• Establece metas y alcance	• Define objetivo y alcance
	• Contabiliza la huella hídrica	• Analiza el inventario de la huella del agua
	• Evalúa la sostenibilidad de la huella hídrica	• Evalúa el impacto de la huella del agua
	• Recomendaciones para la huella hídrica.	• Interpretación de resultados
Ventajas	Cuantifica el volumen total que se usa y contamina.	Mide el impacto ambiental del agua en la salud humana y el ecosistema.
	Evalúa la sostenibilidad y eficiencia del agua en diferentes escalas (Hoekstra y Hung 2012).	Tiene dimensiones geográficas y temporales Mide el impacto ambiental del agua en la salud humana y el ecosistema. Relaciona la disponibilidad y la degradación.
Desventajas	Se basa en la disponibilidad del agua en el nivel de cantidad (Kounina et al. 2013). No es una medida de severidad de los impactos ambientales del consumo y contaminación.	Se basa en impactos en el nivel de calidad. Se necesita conocimiento hidrológico. Tiene una visión general con base en el ACV. Necesita datos completos de inventarios para su aplicación. No se puede aplicar en productos industriales (Boulay et al. 2015).

METODOLOGÍAS		
Criterio	Hoekstra 2011	ISO 2014
Resultados	Permiten estimar el volumen de agua consuntiva clasificado por tipos de fuentes de huella hídrica azul, verde y gris en el nivel de finca, unidad de producto o tiempo, según el alcance.	Un valor de impacto individual que se utiliza como un indicador de referencia para el rendimiento del proceso. Unidad de referencia y comparación si se cumple el principio de integralidad (todos los impactos ambientales).

2.5.2 Determinación de la huella hídrica en las fases de la producción y procesamiento del banano

Actualmente los modelos de producción de banano buscan la sostenibilidad ambiental y el uso eficiente del recurso hídrico. La finca San José de COOBANA R.L., tiene un modelo de producción de banano en secano, que depende completamente de las precipitaciones para el desarrollo del cultivo. Soto (2014) indica que Changuinola, Panamá, se encuentra en una zona atlántica de alta pluviosidad distribuida durante todo el año, y por lo tanto, no se requiere riego (huella hídrica azul) en ninguna época del año. En el cuadro 2.2 se presenta la huella hídrica verde para los tres meses de estudio.

Cuadro 2.2 Huella hídrica verde en la fase de producción del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá.

Mes	Uso del agua por el cultivo	Rendimiento	Huella hídrica verde
	m³/ha	t/ha	m³/t
Octubre	5093	45	113
Noviembre	5137	42	122
Diciembre	6024	37	163

Para este estudio de caso (finca San José de COOBANA R.L.), en la fase producción, se obtuvo una huella hídrica verde promedio mensual de 133 m³/t y se consideró una huella hídrica azul de cero, ya que esta empresa no utiliza riego para el cultivo. En un estudio realizado en Ecuador sobre la huella hídrica en banano, para los años 2009 y 2010, se obtuvieron valores de huella hídrica verde entre 141.5 m³/t y 213.5 m³/t, en promedio para tres meses (Pérez 2012).

En otro estudio realizado en República Dominicana sobre la huella hídrica de banano, en un modelo de producción bajo riego, se encontraron valores de huella hídrica verde de 176.6 m³/t y huella hídrica azul de 344.2 m³/t (GSI et al. 2017).

El valor de huella gris para la fase de cultivo fue de 57.34 m³/t, con base en la carga contaminante del indicador nitrógeno (cuadro 2.3). El banano requiere en la toda su fase fenológica el consumo de nitrógeno para su desarrollo fenológico, lo que puede contaminar

las aguas. Este valor de huella hídrica gris en la fase cultivo es muy similar al valor encontrado en Ecuador para banano, de 56 m³/t (Zarate y Kuiper 2013). Estos mismos autores reportan que para el cultivo de banano, la huella hídrica gris, asociada a lixiviados de nitrógeno en la fase de cultivo representó 18% de la huella hídrica total.

Cuadro 2.3 Huella hídrica gris (promedio mensual de octubre a diciembre del 2018) en la fase de cultivo del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá, utilizando el nitrógeno como indicador contaminante.

L	Cmax	Cnat	Huella hídrica gris
(kg N/t)	(kg N/m ³)	(kg N/m ³)	(m ³ /t)
0.5734	0.01	0	57.34

Donde L es la cantidad de fertilizante nitrógeno aplicado para producir cada tonelada de banano; Cmax es la concentración máxima aceptable de N en el cuerpo receptor de agua (en este caso 0.010 mg/L para Panamá) y Cnat es la concentración natural de nitrógeno en el cuerpo de agua receptor, en este caso 0 kg/m³.

Para la fase de procesamiento, se cuantificó la huella hídrica azul que proviene de fuentes subterráneas utilizadas para abastecer las pilas de la empacadora. El valor promedio mensual de huella hídrica azul fue de 114.0 m³/t (cuadro 2.4). En el procesamiento se considera que la huella verde es de cero.

Cuadro 2.4 Huella hídrica azul en la fase del procesamiento del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá

Mes	Uso de agua en el procesamiento	Rendimiento	Huella hídrica azul
	m³/mes	t/mes	m³/t
Octubre	4591	44	104
Noviembre	5758	41	140.3
Diciembre	3424	35	97.8

En estudios realizados en dos plantas empacadoras de huella hídrica se obtuvieron valores estimados de 661 m³/t para la Planta Varcil Pinares y 11664 m³/t en la planta EARTH, para tres meses. Esta diferencia de huella hídrica entre las empacadora se debe al diseño de la planta que puede tener puntos críticos de fuga de agua, así como la eficiencia de uso del agua en cada proceso (Ayala 2017).

Para la fase de procesamiento se obtuvo valor de huella hídrica gris para el contaminante de DBO5 que es de 14.5 m³/t (cuadro 2.5). Este valor de huella es menor que el valor que se encontró para Ecuador, en banano, para esta etapa de 37 m³/t (Zarate y Kuiper 2013).

Cuadro 2.5 Huella hídrica gris (promedio mensual de octubre a diciembre del 2018) en la fase de procesamiento primario (empacadora) del banano en la finca San José, en Bocas del Toro, Panamá, utilizando la demanda biológica de oxígeno como indicador contaminante.

L	Cmax	Cnat	Huella hídrica gris
(kg DBO5/t)	(kg DBO5/m ³)	(kg DBO5/m ³)	(m ³ /t)
0.4691	0.035	0.002	14.21

Donde L es la cantidad de contaminante expresado como DBO por cada tonelada de banano procesada; Cmax es la concentración máxima aceptable de DBO5 (kg/m³) en el cuerpo receptor de agua (en este caso 0.035 kg/m³ para Panamá) y Cnat es la concentración natural de DBO5 en el cuerpo de agua receptor, en este caso 0.002 kg/m³,

2.5.3 Estimación de huella hídrica total del banano en el estudio de caso

Para el cálculo de huella hídrica total del cultivo de banano se sumaron los resultados de cada mes de huella hídrica azul y verde, así como la huella hídrica gris de las dos fases (producción y procesamiento) del banano. La huella hídrica total fue de 811.94 m³/t (figura 2.4). Este valor de huella hídrica que se encuentra es superior a los reportados para Ecuador y Perú, que fueron de 314 m³/t para producción de banano orgánico y de 647 m³/t para producción de banano convencional (Rojas-Huerta y Muñoz-Salas 2018). La WFN Indica que la huella hídrica promedio para banano es 790 m³/t. Los resultados varían de acuerdo con el sistema de producción y fuente de agua (FAO 2017). Los resultados muestran que la huella hídrica total de la finca San José están estrechamente relacionados con la zona de estudio y sistema de producción de la empresa COOBANA R.L.

AgroDer (2012) menciona que el análisis de huella hídrica no debe ser interpretado como un elemento aislado ya que es dinámico en función de la variabilidad del clima, región geográfica, modelo de tecnología y producción, así como las prácticas agrícolas que influyen en la elaboración de un producto.

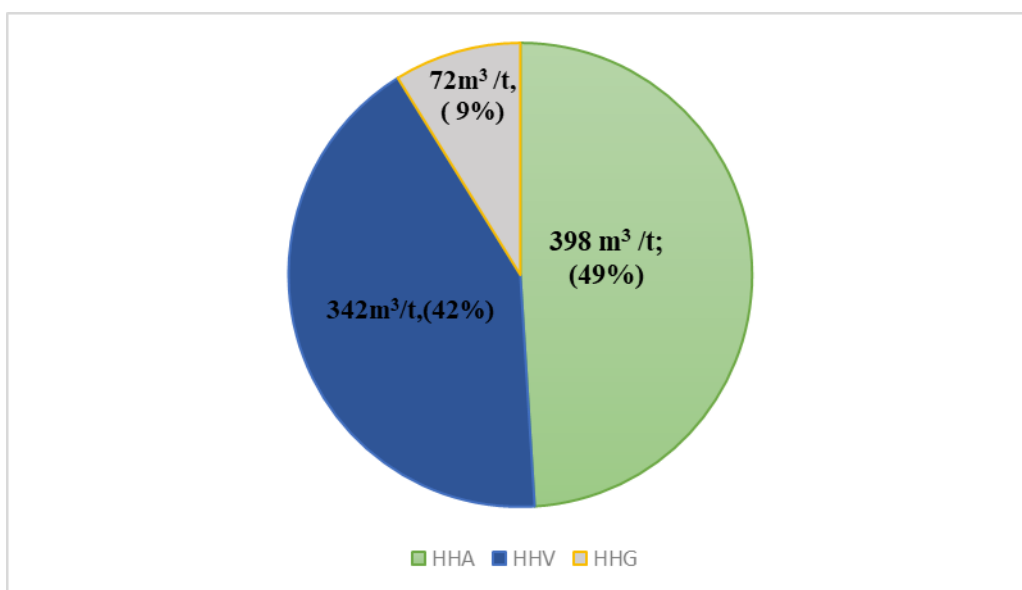


Figura 2.4 Contribución de la huella hídrica verde, azul y gris a la huella hídrica total del banano en la finca San José, provincia de Bocas del Toro, Panamá.

Los resultados muestran que bajo el sistema de secano (sin uso de riego), como es este caso, la huella hídrica verde tiende a ser mucho mayor respecto de las demás, representando un 49% de la huella hídrica total. Estos datos coinciden con el estudio hecho en el cultivo de arroz bajo producción en secano en donde su mayor porcentaje de contribución de huella hídrica fue la verde, con 66% de la huella hídrica total (Campus 2013).

2.5.4 Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica azul, verde y gris en el nivel de cuenca

La figura 2.5 presenta los resultados de estimación de producción de agua, mediante el programa InVEST, para la cuenca del río Changuinola-Sixaola en la cual está ubicado el sitio de estudio. Se observa que la zona de color azul es de mayor producción de agua para la cuenca con un rango de 2580 a 805 mm.

Esta cuenca está en la región hídrica del Caribe occidental de Panamá donde sus principales actividades son la ganadería y agricultura y el banano para exportación es el principal cultivo (ANAM 2009). El área de drenaje de la cuenca es de 222.5 km² y su principal río es el San San, que posee una superficie de 37.3 km² (ANAM 2013).

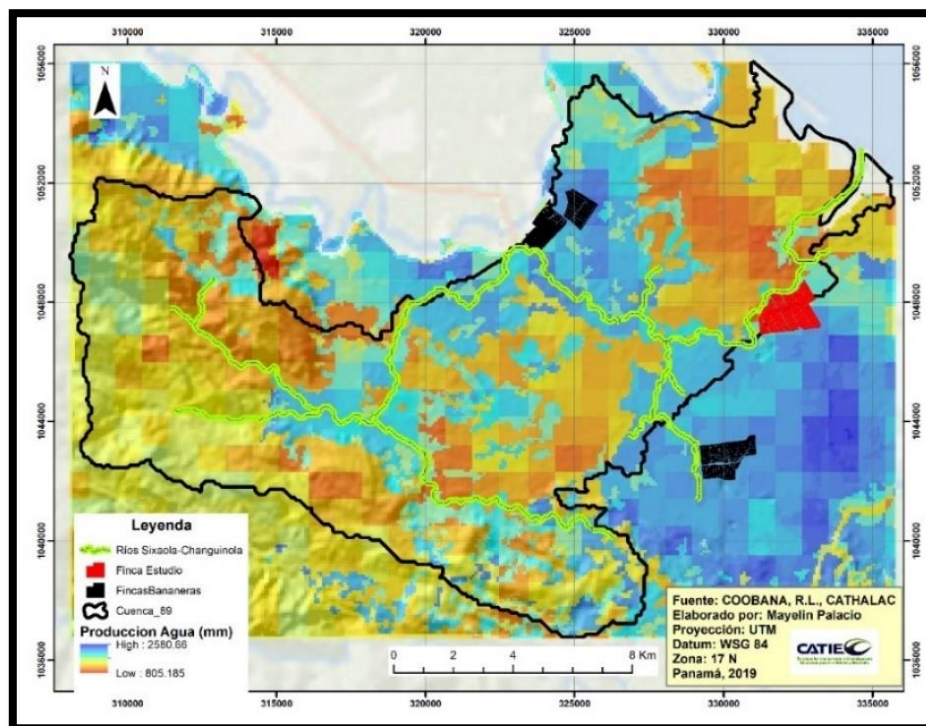


Figura 2.5 Mapa de producción de agua para la cuenca del río Sixaola-Changuinola.

La cuenca entre río Sixaola Changuinola tiene un área de 246.8 km². Con base en el análisis de escasez de agua con el modelo InVEST, esta tiene un consumo de 18.000 m³ entre los diferentes usos de agua. Su consumo por hectárea es de 1546 m³. Tiene una disponibilidad natural de 381.890.008 m³ para toda la cuenca. La disponibilidad real de agua de la cuenca dio como resultado un valor de 76.378.001 m³.

Es importante hacer notar que estos modelos biofísicos que estiman la disponibilidad de agua no consideran las interacciones entre la superficie y el agua subterránea o la dimensión temporal del suministro de agua. Los sistemas están diseñados para estimar la variabilidad anual en el volumen de agua, de acuerdo con los niveles probables para una cuenca. También son vulnerables a las variaciones extremas causadas por los cambios en la cobertura y uso del suelo, que pueden alterar el ciclo hidrológico, afectando los patrones de evapotranspiración, infiltración y retención de agua que tienen un efecto a través del tiempo en el volumen de agua disponible (World Commission On Dams 2000, Ennaanay 2006).

La sostenibilidad de la huella hídrica azul, verde y gris para la cuenca entre río Sixaola y Changuinola tiene valores menores de uno (cuadro 2.6). Según Hoekstra et al. (2011), valores menores a uno tiene un impacto poco significativo en la huella hídrica.

Cuadro 2.6 Análisis de sostenibilidad en el nivel de cuenca de la huella hídrica verde, azul y gris en el sitio de estudio, provincia de Bocas del Toro, Panamá.

Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica para banano		
Verde	Azul	Gris
0.0052	0.004	0.00094

Estos resultados se deben al nivel de alcance del estudio, ya que se evaluó la sostenibilidad de la huella hídrica verde, azul y gris con los resultados de huella hídrica para una finca de la empresa COOBANA R.L. Para la evaluación de huella gris, su impacto fue poco significativo porque se dejaron otros contaminantes que no se consideraron en el estudio y por el nivel de escala geográfica del análisis.

Aunque la fuente de abastecimiento para la finca San José es agua subterránea, debido a que en Panamá se desconoce información de los pozos subterráneos en algunas zonas, no se pudo estimar esta, razón por lo cual solo se realizó en el nivel de agua superficial. Los acuíferos locales de la zona de estudio pertenecen a la unidad hidrogeológica grupo Changuinola (K-CHA). En esta unidad se han inventariado muy pocos pozos y no se tiene una información sobre la productividad, solo de calidad química de las aguas, que es considerada buena (ETESA 1999).

La cuenca hidrográfica es la unidad de gestión del agua, por lo cual un análisis de sostenibilidad hídrica mejora la identificación de las presiones e impactos generados sobre los recursos hídricos. En la escala de cuenca para la evaluación de la huella hídrica se quiere comprender cómo las actividades humanas pueden influenciar sobre el ciclo hidrológico (Hoekstra et al. 2011). Se busca establecer los vínculos existentes entre los aspectos hidrológicos, económicos y ambientales para relacionarlo con la huella hídrica y lograr sus posibles implicaciones políticas (García 2013).

InVEST con su modelo de producción de agua es una alternativa para la modelación hidrológica. El modelo supone que la evapotranspiración proviene de la lluvia y es probable que la producción de rendimiento de agua esté sobreestimada (Torres 2018).

Debido a que InVEST se basa en parámetros físicos de naturaleza determinística tiene la ventaja de servir como herramienta para predecir los impactos ambientales mediante cambios del uso y manejo de tierras (Barrios y Urribarri 2010).

2.5.5 Análisis del posible efecto sobre la huella hídrica del banano en la zona de estudio de dos escenarios representativos de temperatura y precipitación para un umbral temporal al 2030, utilizando el modelo Cropwat 8.0

El valor de evapotranspiración de referencia (ET_o) del cultivo del banano se modificó para este estudio de caso, de acuerdo con los RCP 4.5 y 8.5. Este proceso se validó en estudios realizados en el cultivo de chile (*Capsicum annuum*), en el cual se observó un

aumento del valor de ETo en los días más cálidos y con la atmósfera más seca, debido a los cambios en las variables de precipitación y temperatura del aire (López et al. 2015).

Los cuadros 2.7 y 2.8 presentan los resultados correspondientes a los dos escenarios climáticos representativos (RCP) seleccionados.

Cuadro 2.7 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo escenario representativo (RCP) 4.5, para el año 2030, provincia de Bocas del Toro, Panamá.

Evapotranspiración (mm/periodo de desarrollo)		Uso de agua por el cultivo (m ³ /ha)		Rendimiento	Huella hídrica (m ³ /t)	
Verde	Azul	Verde	Azul	t/ha	Verde	Azul
477.5	386	4775	3860	498.4	9.6	7.7

Cuadro 2.8 Huella hídrica azul y verde para el cultivo de banano bajo escenario representativo (RCP) 8.5, para el año 2030, provincia de Bocas del Toro, Panamá.

Evapotranspiración (mm/periodo de desarrollo)		Uso de agua por el cultivo (m ³ /ha)		Rendimiento	Huella hídrica (m ³ /t)	
Verde	Azul	Verde	Azul	t/ha	Verde	Azul
7.1	883.5	71	8835	498.4	0.14	17.7

En el escenario RCP 4.5, la huella verde se mantiene mayor a la azul debido a que en este aún se mantiene un nivel de precipitación alto que sustenta más de la mitad de los requerimientos de agua del cultivo. Estudios realizados en China encontraron valores de huella hídrica verde (327.5 km³), lo que contribuye con el 80% del requerimiento hídrico agrícola total (Hou et al. 2018).

Con el escenario RCP 8.5 el valor de huella hídrica verde sería de cero (lluvias muy bajas) y el cultivo dependería en gran medida del riego, que se evidencia en una huella azul de 17.7 m³/t (más del 99% de la huella hídrica conjunta verde más azul).

Con base en los resultados obtenidos, la zona bananera en estudio puede llegar a tener afectaciones que resulten en bajos rendimientos si no se aplican medidas de adaptación en este cultivo ante el fenómeno del cambio climático, como sería el uso de riego, tanto en el escenario 4.5 como 8.5.

Estudios realizados por la FAO (2017b) para el año 2015 indican que el sector bananero de América Latina sufrió una amenaza en la producción derivada del fenómeno de El Niño, que afectó negativamente los rendimientos en países productores como Costa Rica, Ecuador y Colombia, que tuvieron un descenso del 1% de su producción por eventos climáticos, tales como precipitaciones intensas y sequías prologadas.

El cambio climático tiene una determinación clave en la producción agrícola, principalmente en la zona tropical, ya que se estiman aumentos en la temperatura y disminución en las precipitaciones, lo que podría provocar pérdidas y bajos rendimientos en los cultivos (Hernández et al. 2017).

La temperatura para Panamá con RCP 4.5 se encuentra en el rango de 25 a 30 °C, el cual es adecuado para el desarrollo del cultivo de banano. Con el escenario RCP 8.5 la temperatura del aire podría aumentar ligeramente, incrementando posiblemente la evapotranspiración y las necesidades de agua del cultivo. Estudios realizados por Moreno

(2002), en Panamá, mostraron una tendencia de aumento en las temperaturas mínimas en la mayoría de las estaciones meteorológicas. Estos cambios significativos en los registros extremos pueden sugerir evidencias de un cambio en el clima (UNESCO 2008).

Las figuras 2.6 y 2.7 presentan la evapotranspiración estimada y las necesidades de riego del cultivo de banano en la zona de estudio bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente. Esas necesidades de riego indicadas en las figuras anteriores están asociadas, principalmente, a la disminución estimada de la precipitación según los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (figura 2.8).

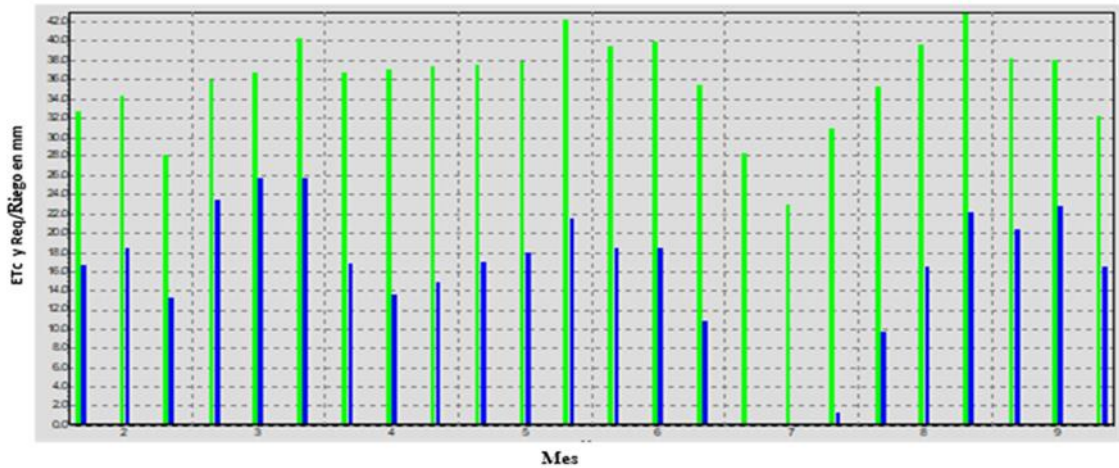


Figura 2.6. Evapotranspiración estimada y requerimiento de riego para el cultivo de banano bajo un escenario de RCP 4.5, utilizando el modelo Cropwat 8.0.

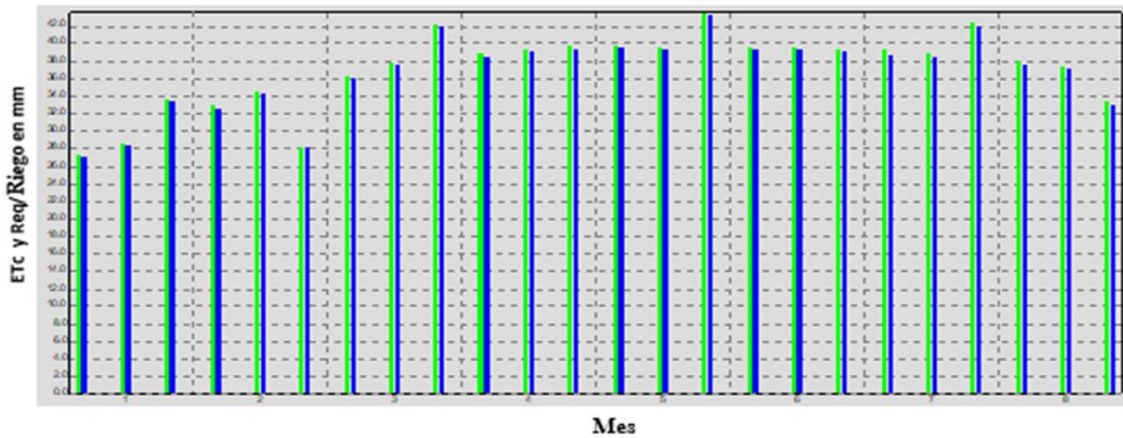


Figura 2.7. Evapotranspiración estimada y requerimiento de riego para el cultivo de banano bajo un escenario de RCP 8.5, utilizando el modelo Cropwat 8.0

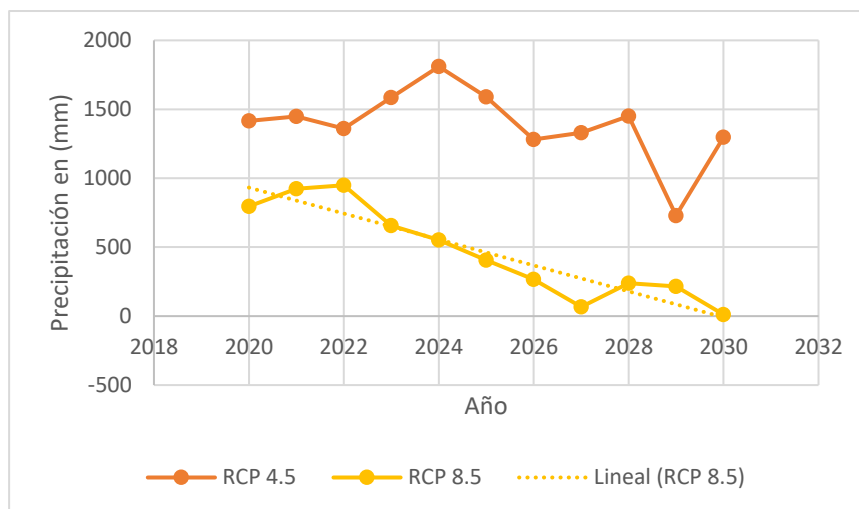


Figura 2.8. Precipitación estimada para Panamá para el periodo 2020 a 2030, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

La implementación de Cropwat con escenarios de cambio climático permiten desarrollar estrategias de irrigación bajo condiciones de déficit hídrico en un determinado tiempo de cultivos en secano, así como estimaciones hacia el futuro del rendimiento del cultivo en función de las variables climáticas (Clenes et al. 2016).

Mekonnen y Hoekstra (2011) utilizaron el modelo Cropwat para calcular la evapotranspiración de 20 cultivos menores donde se aplica tanto en el marco de evaluación de la huella hídrica como en la guía de la red de la huella hídrica. Sin embargo, la huella hídrica varía según los diferentes cultivos, condiciones climáticas y región de producción.

La respuesta de los cultivos ante escenarios climáticos en los que se especifican promedios anuales por décadas o datos con una frecuencia diaria para ciertas variables climáticas como temperatura y precipitación generan estimaciones de cambios en la producción. Este enfoque metodológico tiene la ventaja que permite obtener información sobre las posibles respuestas fisiológicas de los cultivos, así como los impactos negativos que puede sufrir la agricultura frente a escenarios de cambio climático y que pueden afectar de manera significativa la seguridad alimentaria (Esperanza 2013).

Existe un rango de incertidumbre para las estimaciones de huella hídrica que es generado a partir de los insumos utilizados por los modelos y los supuestos realizados en diferentes estudios. Aunque a veces se utilicen las mismas fuentes de datos climáticos, las estimaciones sobre el consumo de huella hídrica por unidad de cultivo pueden variar (Zhuo et al. 2016).

Se recomienda, con base en los escenarios, algunas prácticas que consisten en implementar estrategias donde se podría reducir la huella hídrica con el propósito de mitigar la contaminación de los afluentes y el exceso de consumo de agua.

Un estudio realizado con dos escenarios de cambio climático (Nouri et al. 2019) recomienda alternativas para reducir evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos mediante el uso de coberturas y del riego por goteo durante la época seca.

El resultado de la suma de huella hídrica azul para el procesamiento de los tres meses fue de 398 m³/t. por lo cual, si implementará un sistema de recirculación del agua, que según la literatura, reduce un 50% el uso de agua (Vallejo-Chaverrí et al. 2017), y la huella hídrica azul (bajo este supuesto) se podría reducir a 199 m³/t.

Soto (2015) recomienda un cambio del diseño tradicional de la planta de empaque de banano, consistente en implementar bandejas móviles con lavado de fruta por aspersión, donde se puede reducir en un 66% el uso de agua. Bajo este supuesto se obtendría un valor de huella hídrica azul 263 m³/t.

Se puede notar que bajo el escenario de RCP 8.5 se necesita la implementación de un sistema de riego para responder a la demanda de agua del cultivo de banano. Este sistema de riego debería ser por goteo, ya que tiene una eficiencia de alrededor del 90% (Briceño et al. 2012), lo que permitiría un uso más eficiente de agua azul, así como una reducción potencial en la huella hídrica azul de 17.7 m³/t a 15.9 m³/t en la fase de producción.

2.5.6 Alternativas para reducir huella hídrica

Para alcanzar la reducción de huella hídrica del cultivo de banano en la zona de estudio, específicamente en la finca San José de la empresa COOBANA R.L, se deberían implementar acciones para reducir el consumo directo de agua y los niveles de concentración de los contaminantes vertidos en los cuerpos de agua (cuadro 2.9).

Cuadro 2.9. Recomendaciones para reducir la huella hídrica en la finca San José de COOBANA R.L., provincia de Bocas del Toro, Panamá

Elementos o fases	Propuesta
Desperdicio de agua en la fase de procesamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Recirculación del agua de las pilas de clasificación y selección de la fruta. • Uso de manguera de presión para el lavado en la fase de diagnóstico de la finca. • Instalación de boquillas con reducción de caudal en las tinas del proceso. • Instalación de medidores para llevar un control del volumen de entradas y salidas de la fuente de abastecimiento. • Uso de productos a base de enzimas que disminuyen la carga de concentración de látex en el agua. • Uso de biorremediación para reducir la carga orgánica en el cuerpo receptor.
Fase de producción	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de uso de cobertura y sistema agroforestal en área de drenajes y linderos de la finca. • Implementación de fertilizante nitrogenado de lenta liberación. • Implementación de cosecha de agua de lluvia para la utilización en riego u otro proceso que necesita demanda de agua. • Establecer programas de fertilización de acuerdo con la necesidad nutricional del cultivo.
Altos costo para la adopción de tecnología amigables con el ambiente	Generación de un marco regulatorio de compensación a las empresas que contribuyen con la protección de recurso hídrico y producción sustentable en Panamá.

2.6 Conclusiones

La metodología que más se ajustó para cuantificar el impacto del uso del agua en el nivel de finca es la planteada por Hoekstra de huella hídrica, ya que son insumos más flexibles para realizar su evaluación en el nivel de finca.

La huella verde para la fase de producción es la que más contribuye a la huella hídrica total de la finca, ya que el modelo de producción de la empresa COOBANA.R. L, depende de la precipitación para poder producir, y resulta vulnerable a los efectos de la variabilidad y el cambio climático. Para la fase de procesamiento su mayor impacto es por la huella hídrica azul por el uso consuntivo e ineficiente del agua en los procesos de clasificación y selección de banano en la empacadora.

En las dos fases de producción y procesamiento se encontró huella hídrica gris, aunque en términos de la huella hídrica total de banano en la zona de estudio, estos resultados podrían estar relacionados con el nivel de alcance del estudio y la tecnología de producción de la finca.

Los escenarios de cambio climático indican que la producción de banano tendría que implementar la tecnología de riego para producir, aunque esto implique un aumento de la huella hídrica azul, debido a que se prevé una disminución de las precipitaciones.

2.7 Recomendaciones

Es necesario disponer de los datos y registros actualizados de todos los procesos de campo y procesamiento de cultivo de banano para tener una mayor precisión y aplicar la metodología de huella hídrica y realizar la cuantificación respectiva.

Es necesario establecer en Panamá normas que establezcan límites permisibles de contaminación del agua para uso en la industria del banano y medir el impacto de huella gris en la actividad bananera.

Se podrían utilizar otros modelos hidrológicos, tales como SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para obtener datos de producción de agua, que, aunque requieren información más específica de la zona de estudio, permiten estimar de manera más precisa los tipos de huella hídrica azul y verde.

Se recomienda hacer estudios comparativos para las tres fincas de producción de banano de la empresa COOBANA R.L., para determinar la huella hídrica total de la empresa en conjunto en esta actividad productiva.

Antes de realizar un estudio del impacto del uso del recurso hídrico en el nivel de cultivo es necesario identificar la diferencia entre una evaluación de la huella del agua y huella hídrica.

2.8 Literatura citada

- Aldaya, MM; Allan, JA; Hoekstra, AY. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade (en línea). *Ecological Economics* 69(4):887-894. Consultado 8 ago. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.001>
- AgroDer. 2012. Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. WWF México y AgroDER. México D.F. 45 p.
- Ayala, B. 2017. Comparación de Huella Hídrica en la Planta Empacadora de Universidad EARTH y Varcli Pinares. Tesis Lic. Guácimo, Costa Rica. Universidad EARTH. 42 p.
- Allen, F; Pereira, LJ; Raes, D; Smith, M. 1998. CropWat 8.0. Evapotranspiración de cultivos. Pautas para calcular los requerimientos de agua de los cultivos. Papel de Irrigación y Drenaje de la FAO 56 (en línea, programa informático). Roma, Italia. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- Altendorf, S. 2019. Bananas and major tropical fruits in Latin American and the Caribbean. The significance of the region to world supply (en línea). *Food Outlook* 73-76. Consultado 3 jun 2019. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Food_Outlook_May_2019_Tropical_Fruits_Article_.pdf
- Álvarez, A; Morábito, J; Schilardi, C. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincia del cultivo del centro y noroeste argentino (en línea). *Revista FCA UNCUYO* 48(1):161-177. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en https://pdfs.semanticscholar.org/7687/3166e15e0a16ef3182be0ad37de2af006f8a.pdf?_ga=2.77042909.999449683.1560136506-679855636.1560136506
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2009a. Informe de Monitoreo de Calidad de Agua en las cuencas Hidrográficas de Panamá, compendio de Resultado año 2006 -2007. Panamá.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2009b. Atlas de Tierras secas y degradadas de Panamá. CONALSED. Panamá. Proyectos Editoriales Panamá. 86 p. Consultada 8 jun. 2019. Disponible en http://edo.jrc.ec.europa.eu/gisdata/scado/land_degradation/pa/ATLAS_DESERTIFICACION.pdf

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2013. Informe de Monitoreo de la calidad de agua en la Cuencas Hidrográficas de Panamá, compendio de los Resultados años 2009-2012. Panamá.
- Barrios, A; Urribarri, L. 2010. Aplicación del Modelo SWAT en los Andes Venezolanos: cuenca alta del río Chama (en línea). Revista Geográfica Venezolana 51(1):1-29.
- Boulay, M; Bayart, B; Bulle, C; Franceschini, H; Motoshita, M; Muñoz, I; Pfister, S. 2015. Analysis of water use impact assessment methods (part B): applicability for water footprinting and decision making with a laundry case study. Klopffer, W., Curran, M (eds.). The International Journal of life Cycle Assessment 20(6). Berlín, Alemania. 18 p. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/273206944_Analysis_of_water_use_impact_assessment_methods_part_B_applicability_for_water_footprinting_and_decision_making_with_a_laundry_case_study
- Briceño, M; Álvarez, F; Barahona, U. 2012. Manual Técnico de riego con Énfasis en riego por goteo. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. San Francisco Morazán, Honduras. 122 p.
- Campus. 2013. Cultivos rentables agotan que los recursos hídricos (en línea, sitio web). Ortiz, L (ed). Heredia, Costa Rica, UNA. Consultado 1 jul. 2019. Disponible en http://www.campus.una.ac.cr/ediciones/2013/agosto/2013agosto_pag09.html
- Cigales, M; Pérez, O. 2011. Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México (en línea). Avances de Investigación Agropecuaria 15(3):21-31. Consultado 3 jun 2019. Disponible en <http://ww.ucol.mx/revaia/anteriores/PDF%20DE%20REVISTA/2011/sept/2.pdf>
- CGRP (Contraloría General de La República, Panamá). 2018. Principales Indicadores Económicos Mensuales en La República: Enero-diciembre 2017-18 (en línea, sitio web). Consultado 2 jun. 2019. Disponible en https://www.contraloria.gob.pa/INEC/archivos/A3912018_valor_fob.pdf
- Clenes, J; Toro, J; Martínez, L. 2016. Los Balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos: una revisión analítica (en línea). Revista Colombiana Hortícola 10(1):1-15. Consultado 22 jun. 2019. Disponible en https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/4460
- COOBANA, R.L. (Cooperativa Bananera de la Atlántica, Panamá). 2017. Panamá: Mejoran cifras de producción bananera (en línea). Central América data.com. Consultado 20 oct. 2018. Disponible en https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Panam_Mejoran_cifras_de_produccion_bananera

- CTA (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Colombia); COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Suiza). 2013. La Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce (en línea). Colombia. 121 p. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Guia_Metodologica_HH_Cuenca.pdf
- Ennaanay, D. 2006. Impacts of Land Use Changes on the Hydrologic Regime in the Minnesota River Basin (PDF). Tesis Ph.D. Estados Unidos. University of Minnesota. 24 p.
- Esperanza, M. 2013. Efectos del Cambio Climático En la Producción y Rendimiento de Cultivos por Sectores: Evaluación del Riesgo Agroclimático por Sectores (en línea). FONADE (Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo en Territorio, Colombia); IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia) (eds.). 50 p. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatic+o+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A; Panamá); UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia); Universidad de Panamá; Ministerio de Comercio Industria. 1999. Mapa hidrogeológico de Panamá. Fábrega, O; Contreras, C (eds.). 59 p. Consultado 20 jun. 2019. Disponible en http://www.hidromet.com.pa/documentos/Nota_Explicativa_Hidrogeologico.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2004. La economía mundial del banano 1985-2002 (en línea, sitio web). Consultado el 27 jun. Disponible en <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2012. Programa para el cálculo de los requisitos de guía de un cultivo, CROPWAT (en línea). Programa Informático. Roma, Italia. Consultado 6 set. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2017a. Huella de agua de la industria bananera (en línea). Foro Mundial del Banano.: Colección de Buenas Costumbres. Consultado 22 jun. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6914s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2017b. Situación del mercado del banano 2015-2016(PDF). Italia, Roma. 7p.
- Ferrer, M. 2014. Huella hídrica: la nueva norma internacional ISO 14046: 2014 y su implementación (en línea). Viegas, M (comp.). Universidad de León. 10 p.

Consultado 9 jun. 2019. Disponible en <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896712004.pdf>

Futuro Latinoamericano; Servicios Ambientales S.A.; Feel Carbonated Org; Water Footprint Network. 2002. Manual de evaluación: Manual de evaluación huella hídrica (en línea). 44 p. Huella de Ciudades. Consultado 10 ago. 2018. Disponible en <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/05/ManualEvaluacionHH.pdf>

García. A.M. 2013. La huella hídrica como indicador de presiones: aplicación a la cuenca del Duero y al sector porcino español (en línea). Tesis Doctoral. Alcalá, España, Universidad Alcalá. 211 p. Consultado 20 jun. 2019. Disponible en https://www2.uned.es/catedraeconomiaagua/Tesis%20Doctoral_Angel%20de%20Miguel%20Garcia.pdf

GSI (Godd Stuff International), TASTE (Developing Sustainable Trade), AGROFAIR FUNDACIÓN COMPITE. 2017. Evaluación de la Huella Hídrica del sector bananero en República Dominicana (en línea). 53 p. Consultado 25 jul. 2018. Disponible en <https://www.goodstuffinternational.com/index.php/es/proyectos/283-es-huella-hidrica-sector-bananero-domrep>

Hernández, J; Landeros, C; Martínez, J; López, G; Platos, D; Nikolskii, L. 2017. Valoración de la Evapotranspiración real estimada y rendimiento de caña de azúcar en Veracruz, México (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(5):1013-1019. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263152411001.pdf>

Hoekstra, A; Chapagain, AK. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Oxford, United Kingdom. Blackwell Publishing. 151p.

Hoekstra, AY. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences 15(5):1577-1600.

Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M; Mekonnen, M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard (en línea). Washington, USA. Earthscan, 228 p. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf

Hoekstra, A; Hung, P. 2012. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade (en línea). IHE DELFT. Value of water research report. (11):1-120. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en https://waterfootprint.org/media/downloads/Report11_1.pdf

- Hoekstra, A; Mekonnen, M; Chapagain A; Mathews, R; Richter, B. 2012. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability (en línea). Añel, J. (ed.). University of Oxford, United Kingdom. PLoS 7(2):1-326. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0032688>
- Hou, S; Liu, Y; Zhao, X; Tillotson; Guo, W; Li, Y. 2018. Blue and Green Water Footprint Assessment for China A Multi-Region Input Output Approach MDPI. Sustainability (10):2822. doi:10.3390/su10082822
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2014. Agua y alimento para la tierra (PDF). Beekman, G., Cruz, S., Espinoza, N., García, E., Toledo, C., Medina, D., Williams, D., García, M. (cords.) San José, Costa Rica IICA. 135 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, México). 2017. El agua para la agricultura de las américas: Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas- México. Nv. ed., Villalobos Arámbula, V., García, M., Ávila, F. (cords.). 136 p.
- IMA (Instituto de Mercadeo Agropecuario, Panamá). 2010. Producción de Bananos en Bocas del Toro presenta Problemas (en línea, sitio web). Consultado 3 de jun. 2019. Disponible en <http://ima.gob.pa/?p=9945>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Suiza). 2007. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en línea). Ginebra, Suiza, IPCC. 104 p. Informe IPCC 2007. Consultado 30 may. 2019. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- ISO (International Organization for Standardization, Suiza). 2014. Environmental management-water footprint-Principles, requirements and guidelines (en línea). ISO 14046:2014. Consultado 8 jun. 2019. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es>
- Jiménez, M; Vélez, M.2006. Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial: Avances en recursos hidráulicos (en línea). Revista unal.edu.co (14).53-70. Consultado 7 may.2019.Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9331/9974>
- Kounina, A; Margni, M; Byart, B; Boulay, A; Berger, M; Bulle,C; Frischknecht,R; Koehler, A; Canals,LL; Motoshita,M; Núñez,M; Peters,G; Pfister,S; Ridoutt,B; Zelm,R; Verones, F; Humbert,S. 2013. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment (en línea). The International Journal of Life

- Cycle Assessment 18(3):707-721. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0519-3>
- López, J; Díaz, T; Watts, C; Rodríguez, I; Catellanos, A; Partida, L; Velázquez, T .2015. Evapotranspiración coeficiente del cultivo de Chile bell en el valle de Culiacán, México (en línea). Terra Latinoamericana 33(3):219. Consultado 21 jun. 2019. Disponible http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000300209
- Mekonnen, MM; Hoekstra, AY. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences 15(5):1577-1600
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá). 2017. Exitosa celebración del día de las frutas. (en línea, sitio web). Consultado 28 jun. 2018. Disponible en https://www.mida.gob.pa/noticias_id_4799.html
- Moreno A. 2002. “Escenarios de Cambio Climático y Evaluación de sus Posibles Impactos en el Comportamiento Productivo del Cultivo del Arroz en la República de Panamá”. Tesis M.Sc. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 38 p.
- Muñoz, W. 2014. Cálculo de la huella hídrica en fincas ganaderas ubicadas en la cuenca del río de La Villa, Panamá (en línea). Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7078/Calculo_de_la_huella_hidrica_en_fincas_ganaderas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nouri, H; Stokvis, B; Galindo, A; Blatchford, M; Hoekstra, A. 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation (en línea). Science of the Total Environment 653(2019):241-252. Consultado 21 jun.2019. Disponible en <http://www.ayhoekstra.nl/pubs/Nouri-et-al-2019.pdf>
- Pérez, S. 2012. Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador. Tesis Lic. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 55 p.
- Rainforest Alliance. 2014. Conozca una finca sostenible de banano (en línea, blog). New York, Estados Unidos. Consultado 1 jun. 2019. Disponible en <https://thefrogblog.es/2014/02/05/conozca-una-finca-sostenible-de-banano/>
- Resolución no. 351, 2000. Aprueba el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 35-200. Agua descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas (en línea). Gaceta Oficial. Panamá 10 ago. Consultado 28 jun. 2019. Disponible en <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/pan78325.pdf>

- Ríos, J. 2019. Entrenamiento del Software InVEST. *In* Curso Internacional Adaptación al Cambio Climático - Entrenamiento del Software InVEST. 28p. Memoria. Coclé, Panamá. Mi Ambiente.
- Rojas-Huerta, CG; Muñoz-Salas, MN. 2018. Análisis económico de la huella hídrica del banano orgánico en Sullana para los años 2000 al 2014 (en línea). 50 p. Consultado 12 may. 2019. Disponible en <https://www.e-quipu.pe/dinamic/publicacion/adjunto/1522078583oVSuS861JZ.pdf>
- Sadoff, C; Müller, M. 2010. La gestión de agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. 14 ed. Estocolmo (SE): Global Water Partnership. 109 p. ISBN 978-91-85321-80-3.
- Soto, M. 2014. Banano I: Conceptos básicos. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 338 p.
- Soto, M. 2015. Banano II: tecnología de producción. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 706 p.
- Soto, M. 2017. Banano III: Manejo poscosecha y comercialización. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 320 p.
- Torres, S. 2018. Evaluación del servicio ecosistémico correspondiente a la producción de agua en la cuenca Alta Del Río Guayllabamba utilizando el modelo computacional InVEST. Tesis Ing. Ecuador. Escuela Politécnica y Nacional. 111 p.
- Tolón-Becerra, A; Lastra-Bravo, XB; Fernández-Membrive, VJ. 2013. Huella hídrica y Sostenibilidad de los recursos hídricos (en línea). *Revista Electrónica de Medio Ambiente* 14(1):56-86. Consultado 3 jun. 2019. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia). 2006. Water: A shared responsibility: The united nations world water development report 2 (en línea). 52 p. Consultado 1 ago. 2018. Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144409>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia). 2008. Balance Hídrico Superficial de Panamá: Período1971-2002 (en línea). Documento Técnico, 9. 135 p. Consultado 22 jun. 2019. Disponible en http://www.hidromet.com.pa/documentos/Balance_Hidrico_Superficial_Panama_1_971-2002.pdf
- Vallejo, AL. 2015. Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en plantas empacadoras de banano en Costa Rica (en línea). Tesis Ing. Cartago, Costa

Rica. ITEC. 108 p. Consultado 10 set.2018. Disponible en <http://hdl.handle.net/2238/6305>

Vallejo-Chaverri, AL; Vallejo- Solís, MA; Nájera-Fernández, J; Garnier-Zamora, LA. 2017. Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera (en línea). FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); GIZ (Deutsche Gesellschaft Fur International Zusammenarbeit, Alemania) (eds). 140 p. Roma, Italia. Consultado 8 jun. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i8333s.pdf>

World Commission on Dams. 2000. Dams and development: A new framework for decision-making (en línea). Report. Earthscan Publications LTD, London. 456 p. Consultado el 6 jun. 2019. Disponible en https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf

WWAP (World Water Assessment Program, Francia). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water Under Uncertainty and Risk (en línea). Paris, Francia UNESCO. Consultado 31 may. 2019. Disponible en <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>

Zárate, E; Torres, A; Kuiper, D; Moreira, D; Castro, C; Cascante, R. 2017. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica (en línea). Unión Europea; IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). San José, Costa Rica. 80 p. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2996/1/BVE17068913e.pdf>

Zárate, E; Kuiper, D. 2013. Evaluación de huella hídrica del banano para pequeños productores en Perú y Ecuador (en línea). Good Stuff International. Suiza. 70 p. Consultado 29 jun 2018. Disponible en [http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20\(2013\)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Zarate%20and%20Kuiper%20(2013)%20Water%20Footprint%20Assessment%20of%20Bananas.pdf)

Zhuo, L; Mekonnen, M; Hoekstra, A; Wada, Y. 2016. Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin 1961–2009 (en línea). Advances in Water Resources 87(2016):29-41. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en <http://www.ayhoekstra.nl/pubs/Zhuo-et-al-2016a.pdf>

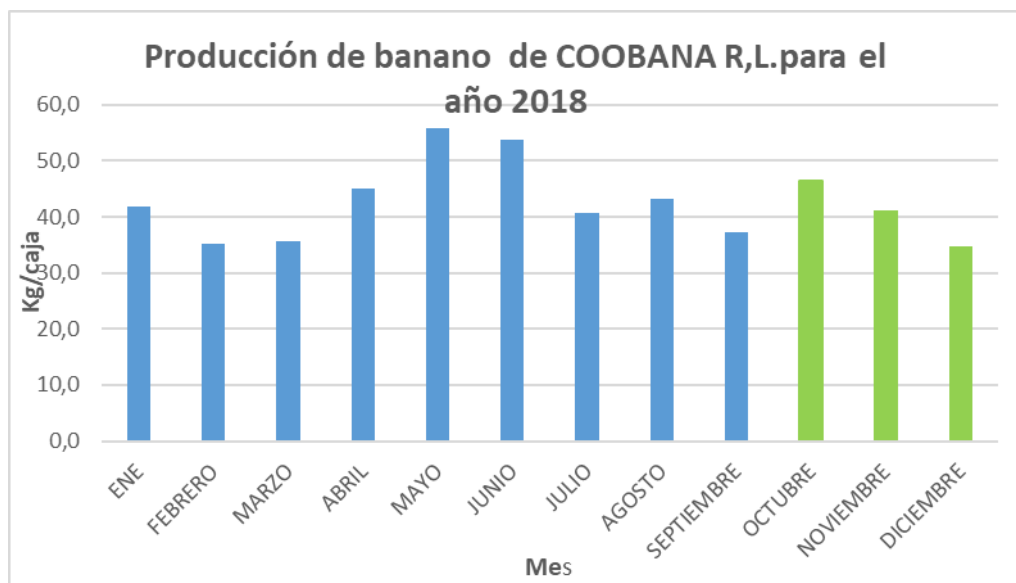
Anexo 3. Medida de volumen de las boquillas en la empacadora.

5			mi		
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
200	188	190	130	93	310
190	200	190	130	96	250
200	160	200	170	90	196
198	170	198	93	93	248
188	180	210	95	90	275
195,2	179,6	197,6	123,6	92,4	255,8
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
230	0	110	250	0	0
240	0	99	250	0	0
90	0	99	247	0	0
120	0	99	256	0	0
250	0	110	250	0	0
186	0	103,4	250,6	0	0
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
150	158	172	109	166	350
151	178	192	135	150	376
150	180	188	157	124	373
162	160	199	99,5	182	370
174	157	192	125	147	345
157,4	166,6	188,6	125,1	153,8	362,8
177	39	109	368	0	393
181	38	97	395	0	396
181	37	102	395	0	356
179	41	110	389	0	405
170	41	198	389	0	402
177,6	39,2	123,2	387,2	0	390,4
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
181	149	250	0	28	204
171	142	812	0	29	204
171	158	910	0	28	205
198	142	625	0	29	203
168	155	652	0	29	203
177,8	149,2	649,8	0	28,6	203,8
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
274	298	348	14	0	390
262	267	395	28	0	405
276	272	396	22	0	391
263	249	394	28	0	315
273	308	405	28	0	391
269,6	278,8	387,6	24	0	378,4
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
218	220	279	70	40	398
220	229	218	63	38	397
204	228	278	70	38	381
209	237	269	69	46	398
212	221	278	71	43	390
212,6	227	264,4	68,6	41	392,8
217	218	276	75	38	390
220	238	102	68	30	388
219	218	268	70	32	360
219	237	232	70	37	318
218	216	170	71	32	368
218,6	225,4	209,6	70,8	33,8	364,8
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
186	156	198	84	0	398
178	178	182	79	0	374
176	172	174	81	0	390
170	152	198	55	0	390
182	174	168	72	0	368
178,4	166,4	184	74,2	0	384
176	172	166	0	40	354
174	170	170	0	42	360
176	154	178	0	38	338
174	158	176	0	42	395
168	152	170	0	40	390
173,6	161,2	172	0	40,4	367,4
210	198	180	0	295	290
194	180	190	0	305	380
212	198	190	0	265	395
198	196	178	0	310	377
226	198	177	0	290	395
208	194	183	0	293	367,4
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
132	90	198	170	280	400
132	148	198	100	342	393
130	176	226	138	330	302
120	190	224	162	375	382
126	102	230	90	294	353
128	141,2	215,2	132	324,2	366
Boquilla 1	Boquillas 2	Boquilla 3	Clasificación	Diagnóstico	Salida de Trampa
96	138	0	74	187	343
96	152	0	55	106	350
232	261	0	34	163	395
224	248	0	108	247	270
264	281	0	55	192	384
182,4	216	0	65,2	179	348,4

Anexo 4. Análisis de agua de la salida de la trampa de agua.

Salida a la Trampa de Sólidos							
Parámetros	Simbología	Unidad	Método	Resultado (6/7/2018)	Incertidumbre	L.M.C	Límite Máximo
Aceites y Grasas	A y G	Mg/L	SM 5520 B	< 10	1	10,0	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	Mg/L	SM 5510 B	23.15	0.21	1,0	<150
Sólidos de Suspensión	S.S	Mg/L	SM2540D	40	3	5,0	<50

Anexo 5. Producción de COOBANA cajas por kilogramos



Anexo 6. Resultado de los RCP de temperatura

Temperatura min_tsa(rcp4.5) (°C)												
Tmin	tsa (rcp 4.5)	0,44	0,45	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
21,9 Enero	22,34	22,35	22,38	22,40	22,42	22,43	22,44	22,45	22,46	22,47	22,49	
22 Febrero	22,44	22,45	22,48	22,50	22,52	22,53	22,54	22,55	22,56	22,57	22,59	
22,4 Marzo	22,84	22,85	22,88	22,90	22,92	22,93	22,94	22,95	22,96	22,97	22,99	
23,1 Abril	23,54	23,55	23,58	23,60	23,62	23,63	23,64	23,65	23,66	23,67	23,69	
23,8 Mayo	24,24	24,25	24,28	24,30	24,32	24,33	24,34	24,35	24,36	24,37	24,39	
23,8 Junio	24,24	24,25	24,28	24,30	24,32	24,33	24,34	24,35	24,36	24,37	24,39	
23,4 julio	23,84	23,85	23,88	23,90	23,92	23,93	23,94	23,95	23,96	23,97	23,99	
23,5 Agosto	23,94	23,95	23,98	24,00	24,02	24,03	24,04	24,05	24,06	24,07	24,09	
23,4 Septiembre	23,84	23,85	23,88	23,90	23,92	23,93	23,94	23,95	23,96	23,97	23,99	
22,3 Octubre	22,69	22,70	22,73	22,75	22,77	22,78	22,79	22,80	22,81	22,82	22,84	
23 Noviembre	23,66	23,67	23,700	23,72	23,74	23,75	23,76	23,8	23,8	23,79	23,81	
22 Diciembre	22,59	22,61	22,634	22,66	22,68	22,68	22,70	22,7	22,7	22,72	22,75	
Promedio	23,35	23,36	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,46	23,47	23,48	23,50	

Tmi	tsa (rcp8.5)	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,65	0,68	0,69	0,72
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
21,9	Enero	22,39	22,42	22,54	22,46	22,48	22,51	22,52	22,55	22,58	22,59	22,62
22	Febrero	22,49	22,52	22,54	22,56	22,58	22,61	22,62	22,65	22,68	22,69	22,72
22,4	Marzo	22,89	22,92	22,94	22,96	22,98	23,01	23,02	23,05	23,08	23,09	23,12
23,1	Abril	23,59	23,62	23,64	23,66	23,68	23,71	23,72	23,75	23,78	23,79	23,82
23,8	Mayo	24,29	24,32	24,34	24,36	24,38	24,41	24,42	24,45	24,48	24,49	24,52
23,8	Junio	24,29	24,32	24,34	24,36	24,38	24,41	24,42	24,45	24,48	24,49	24,52
23,4	Julio	23,89	23,92	23,94	23,96	23,98	24,01	24,02	24,05	24,08	24,09	24,12
23,5	Agosto	23,99	24,02	24,04	24,06	24,08	24,11	24,12	24,15	24,18	24,19	24,22
23,4	Septiembre	23,89	23,92	23,94	23,96	23,98	24,01	24,02	24,05	24,08	24,09	24,12
22,3	Octubre	22,79	22,82	22,84	22,86	22,88	22,91	22,92	22,95	22,98	22,99	23,02
23	Noviembre	23,71	23,74	23,761	23,78	23,80	23,8	23,84	23,9	23,90	23,91	23,94
22	Diciembre	22,64	22,67	22,695	22,71	22,74	22,8	22,78	22,8	22,83	22,85	22,88
	Promedio	23,40	23,43	23,46	23,47	23,50	23,52	23,54	23,57	23,59	22,59	22,88

Tmax	tsa (rcp4.5)	0,44	0,45	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
27,8	Enero	28,24	28,25	28,28	28,30	28,32	28,33	28,34	28,35	28,36	28,37	28,39
29	Febrero	29,44	29,45	29,48	29,50	29,52	29,53	29,54	29,55	29,56	29,57	29,59
29,4	Marzo	29,84	29,85	29,88	29,90	29,92	29,93	29,94	29,95	29,96	29,97	29,99
29,6	Abril	30,04	30,05	30,08	30,10	30,12	30,13	30,14	30,15	30,16	30,17	30,19
30	Mayo	30,44	30,45	30,48	30,50	30,52	30,53	30,54	30,55	30,56	30,57	30,59
30,1	Junio	30,54	30,55	30,58	30,60	30,62	30,63	30,64	30,65	30,66	30,67	30,69
26,6	Julio	27,04	27,05	27,08	27,10	27,12	27,13	27,14	27,15	27,16	27,17	27,19
29,8	Agosto	30,24	30,25	30,28	30,30	30,32	30,33	30,34	30,35	30,36	30,37	30,39
30,1	Septiembre	30,54	30,55	30,58	30,60	30,62	30,63	30,64	30,65	30,66	30,67	30,69
32,5	Octubre	32,94	32,95	32,98	33,00	33,02	33,03	33,04	33,05	33,06	33,07	33,09
31	Noviembre	31,44	31,45	31,480	31,50	31,52	31,53	31,54	31,6	31,6	31,57	31,59
30	Diciembre	30,14	30,15	30,180	30,20	30,22	30,23	30,24	30,3	30,3	30,27	30,29
	Promedio	30,07	30,09	30,11	30,14	30,16	30,16	30,18	30,19	30,19	30,20	30,22

Tmax	tsa (rcp8.5)	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,65	0,68	0,69	0,72
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
27,8	Enero	28,29	28,32	29,54	28,36	28,38	28,41	28,42	28,45	28,48	28,49	28,52
29	Febrero	29,49	29,52	29,54	29,56	29,58	29,61	29,62	29,65	29,68	29,69	29,72
29,4	Marzo	29,89	29,92	29,94	29,96	29,98	30,01	30,02	30,05	30,08	30,09	30,12
29,6	Abril	30,09	30,12	30,14	30,16	30,18	30,21	30,22	30,25	30,28	30,29	30,32
30	Mayo	30,49	30,52	30,54	30,56	30,58	30,61	30,62	30,65	30,68	30,69	30,72
30,1	Junio	30,59	30,62	30,64	30,66	30,68	30,71	30,72	30,75	30,78	30,79	30,82
29,6	Julio	30,09	30,12	30,14	30,16	30,18	30,21	30,22	30,25	30,28	2058,60	30,32
29,8	Agosto	30,29	30,32	30,34	30,36	30,38	30,41	30,42	30,45	30,48	30,49	30,52
30,1	Septiembre	30,59	30,62	30,64	30,66	30,68	30,71	30,72	30,75	30,78	30,79	30,82
32,55	Octubre	33,04	33,07	33,09	33,11	33,13	33,16	33,17	33,20	33,23	33,24	33,27
31	Noviembre	31,49	31,52	31,541	31,56	31,58	31,6	31,62	31,7	31,68	31,69	31,72
30	Diciembre	30,19	30,22	30,241	30,26	30,28	30,3	30,32	30,4	30,38	30,39	30,42
	Promedio	30,38	30,41	30,53	30,45	30,47	30,50	30,51	30,54	30,57	28,49	30,42

Tmi	tsa (rcp8.5)	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,65	0,68	0,69	0,72
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
21,9	Enero	22,39	22,42	22,54	22,46	22,48	22,51	22,52	22,55	22,58	22,59	22,62
22	Febrero	22,49	22,52	22,54	22,56	22,58	22,61	22,62	22,65	22,68	22,69	22,72
22,4	Marzo	22,89	22,92	22,94	22,96	22,98	23,01	23,02	23,05	23,08	23,09	23,12
23,1	Abril	23,59	23,62	23,64	23,66	23,68	23,71	23,72	23,75	23,78	23,79	23,82
23,8	Mayo	24,29	24,32	24,34	24,36	24,38	24,41	24,42	24,45	24,48	24,49	24,52
23,4	Junio	23,89	23,92	23,94	23,96	23,98	24,01	24,02	24,05	24,08	24,09	24,12
23,5	Agosto	23,99	24,02	24,04	24,06	24,08	24,11	24,12	24,15	24,18	24,19	24,22
23,4	Septiembre	23,89	23,92	23,94	23,96	23,98	24,01	24,02	24,05	24,08	24,09	24,12
22,3	Octubre	22,79	22,82	22,84	22,86	22,88	22,91	22,92	22,95	22,98	22,99	23,02
23	Noviembre	23,71	23,74	23,761	23,78	23,80	23,8	23,84	23,9	23,90	23,91	23,94
22	Diciembre	22,64	22,67	22,695	22,71	22,74	22,8	22,78	22,8	22,83	22,85	22,88
	Promedio	23,40	23,43	23,46	23,47	23,50	23,52	23,54	23,57	23,59	22,59	22,88

Tmax	tsa (rcp4.5)	0,44	0,45	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
27,8	Enero	28,24	28,25	28,28	28,30	28,32	28,33	28,34	28,35	28,36	28,37	28,39
29	Febrero	29,44	29,45	29,48	29,50	29,52	29,53	29,54	29,55	29,56	29,57	29,59
29,4	Marzo	29,84	29,85	29,88	29,90	29,92	29,93	29,94	29,95	29,96	29,97	29,99
29,6	Abril	30,04	30,05	30,08	30,10	30,12	30,13	30,14	30,15	30,16	30,17	30,19
30	Mayo	30,44	30,45	30,48	30,50	30,52	30,53	30,54	30,55	30,56	30,57	30,59
30,1	Junio	30,54	30,55	30,58	30,60	30,62	30,63	30,64	30,65	30,66	30,67	30,69
26,6	Julio	27,04	27,05	27,08	27,10	27,12	27,13	27,14	27,15	27,16	27,17	27,19
29,8	Agosto	30,24	30,25	30,28	30,30	30,32	30,33	30,34	30,35	30,36	30,37	30,39
30,1	Septiembre	30,54	30,55	30,58	30,60	30,62	30,63	30,64	30,65	30,66	30,67	30,69
32,5	Octubre	32,94	32,95	32,98	33,00	33,02	33,03	33,04	33,05	33,06	33,07	33,09
31	Noviembre	31,44	31,45	31,480	31,50	31,52	31,53	31,54	31,6	31,6	31,57	31,59
30	Diciembre	30,14	30,15	30,180	30,20	30,22	30,23	30,24	30,3	30,3	30,27	30,29
	Promedio	30,07	30,09	30,11	30,14	30,16	30,16	30,18	30,19	30,19	30,20	30,22

Tmax	tsa (rcp8.5)	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,65	0,68	0,69	0,72
MES	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
27,8	Enero	28,29	28,32	29,54	28,36	28,38	28,41	28,42	28,45	28,48	28,49	28,52
29	Febrero	29,49	29,52	29,54	29,56	29,58	29,61	29,62	29,65	29,68	29,69	29,72
29,4	Marzo	29,89	29,92	29,94	29,96	29,98	30,01	30,02	30,05	30,08	30,09	30,12
29,6	Abril	30,09	30,12	30,14	30,16	30,18	30,21	30,22	30,25	30,28	30,29	30,32
30	Mayo	30,49	30,52	30,54	30,56	30,58	30,61	30,62	30,65	30,68	30,69	30,72
30,1	Junio	30,59	30,62	30,64	30,66	30,68	30,71	30,72	30,75	30,78	30,79	30,82
29,6	Julio	30,09	30,12	30,14	30,16	30,18	30,21	30,22	30,25	30,28	2058,60	30,32
29,8	Agosto	30,29	30,32	30,34	30,36	30,38	30,41	30,42	30,45	30,48	30,49	30,52
30,1	Septiembre	30,59	30,62	30,64	30,66	30,68	30,71	30,72	30,75	30,78	30,79	30,82
32,55	Octubre	33,04	33,07	33,09	33,11	33,13	33,16	33,17	33,20	33,23	33,24	33,27
31	Noviembre	31,49	31,52	31,541	31,56	31,58	31,6	31,62	31,7	31,68	31,69	31,72
30	Diciembre	30,19	30,22	30,241	30,26	30,28	30,3	30,32	30,4	30,38	30,39	30,42
	Promedio	30,38	30,41	30,53	30,45	30,47	30,50	30,51	30,54	30,57	28,49	30,42

Anexo 7. Resultado de los RCP de precipitación

pcp (rcp4.5)												
		-56,31	-55,27	-58,00	-51,06	-44,13	-50,93	-60,44	-58,95	-55,18	-77,47	-74,13
Mes		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Enero	202	88,3	90,4	84,8	98,9	112,9	99,1	79,9	82,9	90,5	45,5	52,3
Febrero	198	86,5	88,6	83,2	96,9	110,6	97,2	78,3	81,3	88,7	44,6	51,2
Marzo	157	68,6	70,2	65,9	76,8	87,7	77,0	62,1	64,5	70,4	35,4	40,6
Abril	289	126,3	129,3	121,4	141,4	161,5	141,8	114,3	118,6	129,5	65,1	74,8
Mayo	264	115,3	118,1	110,9	129,2	147,5	129,5	104,5	108,4	118,3	59,5	68,3
Junio	296	129,3	132,4	124,3	144,9	165,4	145,2	117,1	121,5	132,7	66,7	76,6
Julio	434	189,6	194,1	182,3	212,4	242,5	213,0	171,7	178,2	194,5	97,8	112,3
Agosto	306	133,7	136,9	128,5	149,7	171,0	150,2	121,1	125,6	137,1	68,9	79,2
Septiembre	205	89,6	91,7	86,1	100,3	114,5	100,6	81,1	84,2	91,9	46,2	53,0
Octubre	209	91,3	93,5	87,8	102,3	116,8	102,6	82,7	85,8	93,7	47,1	54,1
Noviembre	362	158,2	161,9	152,0	177,2	202,3	177,6	143,2	148,6	162,2	81,6	554,0
Diciembre	317	138,5	141,8	133,1	155,1	177,1	155,6	125,4	130,1	142,1	71,4	82,0
Promedio		1415	1449	1360	1585	1810	1589	1281	1330	1452	730	1298

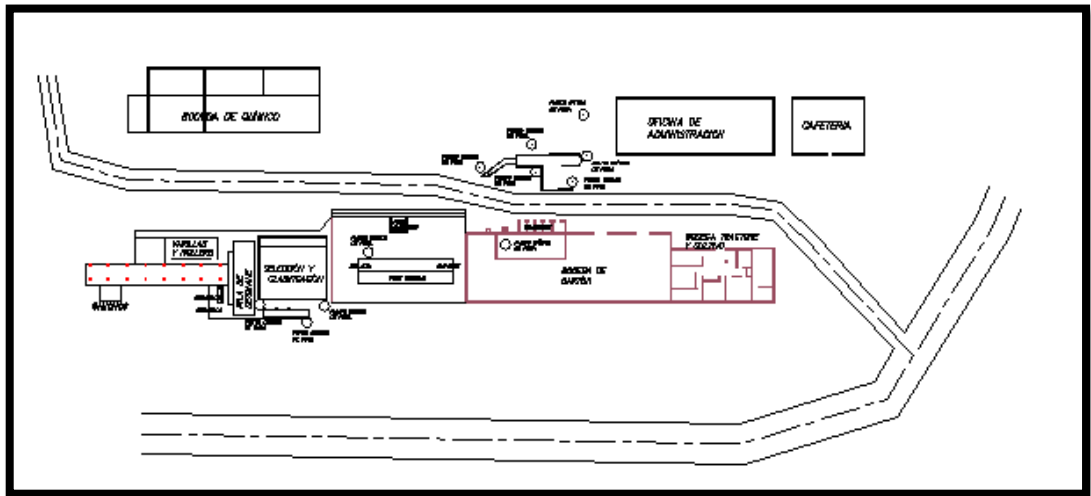
pcp (rcp8.5)												
Mes		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		-75,44	-71,48	-70,69	-79,74	-82,94	-87,45	-91,80	-97,96	-92,7	-93,3	-99,6
Enero	202	49,6	57,6	59,2	40,9	34,5	25,3	16,56	4,1	14,8	13,5	0,7
Febrero	198	48,6	56,5	58,0	40,1	33,8	24,8	16,23	4,0	14,5	13,2	0,7
Marzo	157	38,6	44,8	46,0	31,8	26,8	19,7	12,87	3,2	11,5	10,5	0,6
Abril	289	71,0	82,4	84,7	58,5	49,3	36,3	23,69	5,9	21,2	19,3	1,0
Mayo	264	64,8	75,3	77,4	53,5	45,0	33,1	21,64	5,4	19,4	17,6	0,9
Junio	296	72,7	84,4	86,7	60,0	50,5	37,1	24,26	6,0	21,7	19,8	1,0
Julio	434	106,6	123,8	127,2	87,9	74,0	54,5	35,57	8,8	31,8	29,0	1,5
Agosto	306	75,1	87,3	89,7	62,0	52,2	38,4	25,08	6,2	22,5	20,5	1,1
Septiembre	205	50,3	58,5	60,1	41,5	35,0	25,7	16,80	4,2	15,0	13,7	0,7
Octubre	209	51,3	59,6	61,2	42,3	35,6	26,2	17,13	4,3	15,3	14,0	0,7
Noviembre	362	88,9	103,3	106,1	73,3	61,7	45,4	29,67	7,4	26,6	24,2	1,3
Diciembre	317	77,8	90,4	92,9	64,2	54,1	39,8	25,98	6,5	23,3	21,2	1,1
Promedio	3239	795	924	949	656	552	406	265	66	238	217	11

Anexo 8. Condiciones agroclimáticas para el cultivo de banano, de finca San José.

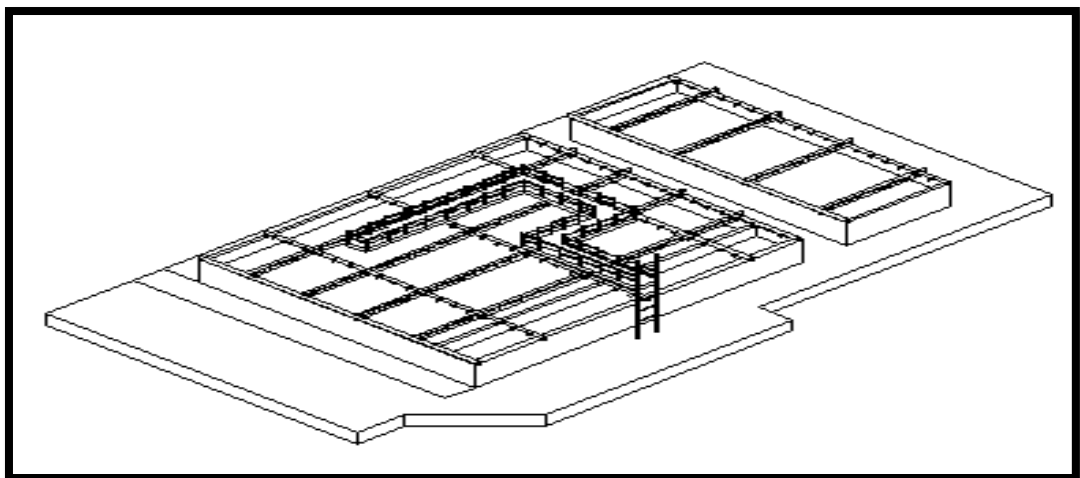
0-----meses-----5				6--meses--9				10--meses----12					
INFANTIL				JUVENIL				REPRODUCTIVA					
0 FASE		1 FASE		2 FASE		3 FASE		3 FASE		3 FASE			
Brotación de la yema		Crecimiento de la yema lateral		Crecimiento del Pseudotallo y desarrollo del hijo		F: Emisión de la flor y formación de fruto							
Selección del hijo de espada Y desarrollo foliar		Ahijamiento F10 :Primera hoja con 10 cm de ancho.		Fm: Primera hoja con relación al mínimo Transición Floral y		Maduración de Fruta Cosecha senescencia y muerte de la planta madre							
Época		seca		Iluviosa		Iluviosa		Secca		Iluviosa		secca	
Meses		F M A		M J		J A S O		N D		E			

COOBANA.

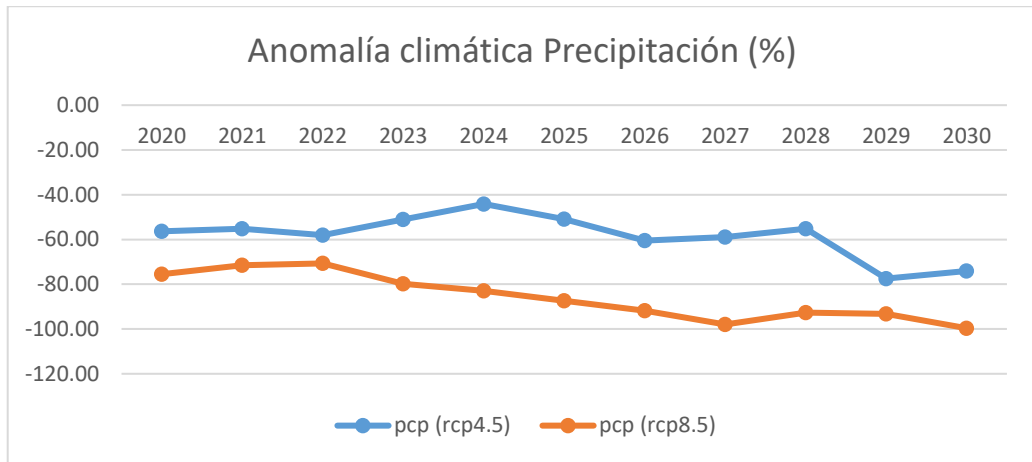
Anexo 9. Finca empacadora San José



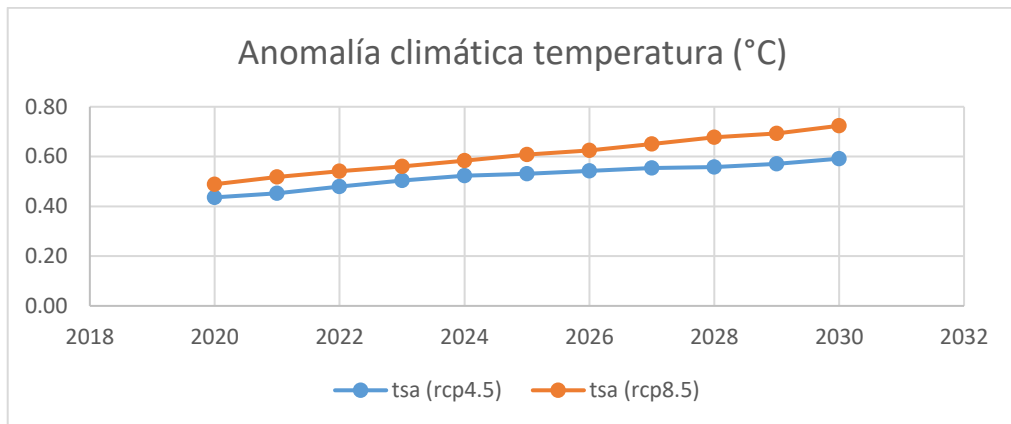
Anexo 10. Esquema de la planta de procesamiento de banano



Anexo 11. Anomalías climáticas de precipitación.



Anexo 12. Anomalía climática de temperatura de PCR 4.5 y 8.5



Anexo 13. Característica de la planta empacadora de banano.

Característica	Valor
Tina de selección m ³	47.13
Tina de clasificación m ³	69.16
Caudal de boquilla selección m ³ /s	0.00313174
Caudal de boquilla clasificación m ³ /s	0.00292638
Tiempo de llenado (s)	39,600

Anexo 14. Evapotranspiración del cultivo para el 2030 bajo escenario de RCP 8.5

Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego	ET verde	ET azul	ETV	ETA
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec				
Ene		1 Inic	1	3,04	27,3	0,2	27,1	27,3	27,1	0,2	27,1
Ene		2 Inic	1	2,86	28,6	0,2	28,4	28,6	28,4	0,2	28,4
Ene		3 Inic	1	3,06	33,6	0,2	33,4	33,6	33,4	0,2	33,4
Feb		1 Inic	1	3,29	32,9	0,2	32,7	32,9	32,7	0,2	32,7
Feb		2 Inic	1	3,46	34,6	0,2	34,4	34,6	34,4	0,2	34,4
Feb		3 Inic	1	3,54	28,3	0,2	28,1	28,3	28,1	0,2	28,1
Mar		1 Des	1,01	3,64	36,4	0,2	36,2	36,4	36,2	0,2	36,2
Mar		2 Des	1,02	3,78	37,8	0,2	37,6	37,8	37,6	0,2	37,6
Mar		3 Des	1,04	3,84	42,2	0,2	42	42,2	42	0,2	42
Abr		1 Des	1,06	3,89	38,9	0,3	38,6	38,9	38,6	0,3	38,6
Abr		2 Des	1,08	3,94	39,4	0,3	39,1	39,4	39,1	0,3	39,1
Abr		3 Des	1,09	3,98	39,8	0,3	39,5	39,8	39,5	0,3	39,5
May		1 Med	1,1	3,99	39,9	0,3	39,5	39,9	39,6	0,4	39,6
May		2 Med	1,1	3,96	39,6	0,3	39,3	39,6	39,3	0,3	39,3
May		3 Med	1,1	3,96	43,5	0,3	43,2	43,5	43,2	0,3	43,2
Jun		1 Med	1,1	3,96	39,6	0,3	39,3	39,6	39,3	0,3	39,3
Jun		2 Med	1,1	3,96	39,6	0,3	39,3	39,6	39,3	0,3	39,3
Jun		3 Med	1,1	3,94	39,4	0,4	39	39,4	39	0,4	39
Jul		1 Med	1,1	3,92	39,2	0,4	38,8	39,2	38,8	0,4	38,8
Jul		2 Fin	1,1	3,89	38,9	0,5	38,4	38,9	38,4	0,5	38,4
Jul		3 Fin	1,08	3,85	42,3	0,5	41,9	42,3	41,8	0,4	41,8
Ago		1 Fin	1,06	3,8	38	0,4	37,6	38	37,6	0,4	37,6
Ago		2 Fin	1,03	3,75	37,5	0,4	37,1	37,5	37,1	0,4	37,1
Ago		3 Fin	1,01	3,7	33,3	0,3	33	33,3	33	0,3	33
					890,8	7,4	883,3	890,6	883,5	7,1	883,5

Anexo 15. Salida de fluido de la empacadora



Anexo 16. Llenado de las pilas de lavados para el proceso de clasificación del banano.



Anexo 17. Clasificación en la empacadora de banano de COOBANA R, L.

