



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Evaluación de la Huella de Agua por uso directo en la finca bananera “San Felipe”, Cantón Pasaje, Provincia El Oro”

Trabajo de Titulación previo

a la obtención del título de

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Voltaire Adrián González Moreno
C.I: 0704301506
Correo electrónico: adrianky94@gmail.com

Dunia Lisseth Panamito Reyes
C.I: 0704789379
Correo electrónico: dunialissethp@gmail.com

DIRECTORA:

Ing. Alexandra Elizabeth Guanuchi Quito
C.I: 0104604665

Cuenca – Ecuador

16-diciembre-2021



Resumen

Teniendo en cuenta que menos del 1% del agua presente en el planeta es para consumo humano y que gran parte de ésta es destinada para fines agrícolas, el cuidado y gestión del agua se convierte en el eje central para garantizar su sostenibilidad. Ante esta problemática y en concordancia con lo que promueve la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) se planteó, en este proyecto de investigación evaluar la huella de agua en una finca bananera, considerando toda la cadena de producción, además de proponer una alternativa que minimice la huella de agua evaluada. Para cumplir con los objetivos de la investigación se tomó como escenario una finca de 6,18 hectáreas ubicada en la ciudad de Pasaje, que produce banano de tipo orgánico para su exportación. El estudio siguió las pautas contempladas en la norma ISO 14046:2014 la cual se basa en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y contempla el impacto por escasez siguiendo la metodología AWARE, el impacto por eutrofización utilizando el método ReCiPe y el impacto por ecotoxicidad por medio de la metodología USEtox. Además, del respaldo de la guía metodológica para la huella del agua y carbono en la producción bananera publicada por la FAO. Referente a los resultados generados en el proyecto, se obtuvo que en la finca San Felipe se consumen $7,4 \text{ m}^3$ y se degradan $0,467 \text{ m}^3$ de agua, por cada caja de banano para exportación de 18,14 Kg. En cuanto a los impactos evaluados, se obtuvo que el impacto por eutrofización fue de $0,00365 \text{ Kg}$ de Fósforo equivalente (Kg Pe), el impacto por ecotoxicidad fue de $22,475 \text{ PAF.m}^3.\text{dia}$ o CTUe mientras que el impacto por escasez fue de $4,44 \text{ m}^3$ equivalente, siendo este último el mayor impacto calculado en la finca bananera, por lo que se propuso como estrategia de minimización un sistema de tratamiento y recirculación de agua, el cual consiste de un filtro dinámico grueso que permitirá disminuir la carga orgánica y la demanda hídrica, con esto se espera que el proyecto sea de gran aporte para futuras investigaciones en el sector bananero.

Palabras Clave: Huella de agua. Banano de exportación. Análisis de ciclo de vida. Eutrofización.

Escasez. Ecotoxicidad. Gestión del recurso hídrico.



Abstract

Considering that less than 1% of the water present on the planet is for human consumption and that most of it is used for agricultural purposes, the care and management of water become the central axis to ensure its sustainability. Because of this problem and following what is promoted by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), this research project proposes to evaluate the water footprint of a banana farm, considering the entire production chain, and to propose an alternative that minimizes the evaluated water footprint. To meet the research objectives, a 6,18-hectare farm located in the city of Pasaje, which produces organic bananas for export, was used as a scenario. The study followed the guidelines contemplated in the ISO 14046:2014 standard, which is based on Life Cycle Analysis (LCA), and contemplates the impact due to scarcity following the AWARE methodology, the impact due to eutrophication using the ReCiPe method, and the impact due to Ecotoxicity using the USEtox methodology. In addition, the methodological guide for the water and carbon footprint in banana production was published by FAO. The results generated by the project show that the San Felipe farm consumes 7,4 m³ and degrades 0,467 m³ of water per 18.14 Kg box of bananas for export. Regarding the impacts evaluated, the impact due to eutrophication was 0,00365 Kg of phosphorus equivalent (Kg P e), the impact due to Ecotoxicity was 22,475 PAF.m³. day or CTUe, while the impact due to scarcity was 4,44 m³ equivalent, the latter being the greatest impact calculated in the banana farm. Therefore, a water treatment and recirculation system were proposed as a minimization strategy, which consists of a coarse dynamic filter that will reduce the organic load and water demand, which is expected to be a great contribution for future research in the banana sector.

Keywords: Water footprint. Export banana. Life Cycle Analysis. Eutrophication. Scarcity. Ecotoxicity. Water resource management.



Índice del Trabajo

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL – VOLTAIRE GONZÁLEZ	11
CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL – DUNIA PANAMITO	12
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL – VOLTAIRE GONZÁLEZ	13
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL – DUNIA PANAMITO	13
DEDICATORIA	15
AGRADECIMIENTOS	17
CAPÍTULO I	18
1 INTRODUCCIÓN	18
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo General	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO II	22
2 MARCO TEÓRICO	22
2.1 USO Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	22
2.1.1 Agua disponible a nivel internacional.	22
2.1.2 Agua disponible en el Ecuador.....	24
2.2 EVOLUCIÓN DE LA HUELLA DE AGUA EN AMÉRICA LATINA	26
2.3 HUELLA DE AGUA ISO 14046:2014	29
2.3.1 Generalidades de la norma ISO 14046:2014.....	29
2.3.2 Marco referencial ISO 14046:2014	30
2.3.3 Justificación del uso de la norma internacional ISO 14046:2014.	31



2.3.4	Enfoque del Análisis de Ciclo de Vida.....	31
2.4	RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD BANANERA Y EL RECURSO HÍDRICO	32
2.4.1	Actividad bananera.....	32
2.4.2	Uso del agua en la actividad bananera.	39
2.4.3	Finca bananera San Felipe.....	40
2.4.4	Agua residual en bananeras	41
2.4.5	Normativas nacionales referentes a la actividad bananera y el recurso hídrico42	
2.5	DEFINICIONES	44
2.5.1	Inventario de huella de agua directa.....	44
2.5.2	Huella de Agua	44
2.5.3	Evaluación de la Huella de Agua	45
2.5.4	Uso directo del agua	45
2.5.5	Uso indirecto del agua.....	45
2.5.6	Uso consuntivo del agua.....	45
2.5.7	Uso degradativo del agua	46
2.5.8	Cuenca hidrográfica.....	46
2.5.9	Uso de agua por actividades humanas.....	46
2.5.10	Evapotranspiración	46
2.5.11	Categorías de impacto	46
2.5.12	Calidad del agua	46
2.5.13	Eco-toxicidad en agua dulce.....	47
2.5.14	Eutrofización en agua dulce	47
2.5.15	Escasez del agua	47
2.5.16	Unidad Funcional	47
	CAPÍTULO III.....	48
3	METODOLOGÍA	48
3.1	FASE I: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA.....	48
3.1.1	Recolección de datos	48
3.2	FASE II: ESTABLECIMIENTO DE INDICADOR INTERNO DE DESEMPEÑO AMBIENTAL. 53	



3.2.1	Cuantificación del uso consuntivo o consumo de agua.....	54
3.2.2	Cuantificación del uso degradativo	55
3.2.3	Relación de los diferentes usos con la producción de banano.....	56
3.3	FASE III: EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR EL USO DE AGUA EN LA FINCA.....	57
3.3.1	Metodologías para el cálculo de las categorías de impacto.....	57
3.3.2	Categorías de impacto: degradación de la calidad del agua	58
3.3.3	Categorías de impacto: consumo del agua	61
3.4	FASE IV: PROPONER UNA ALTERNATIVA POTENCIALMENTE EFICIENTE QUE REDUZCA LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA SAN FELIPE	63
3.4.1	Revisión de literatura, consulta y estudio de las diferentes alternativas para la reducción de la huella de agua.	63
CAPÍTULO IV		65
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	FASE I: INVENTARIO DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO	65
4.2	FASE II: INDICADOR INTERNO EN BASE AL USO CONSUNTIVO Y DEGRADATIVO	67
4.3	FASE III: EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LA HUELLA DE AGUA	67
4.3.1	Indicador de impacto por eutrofización.....	68
4.3.2	Indicador de impacto por ecotoxicidad	71
4.3.3	Indicador de impacto por escasez.....	72
4.4	DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DEL PERFIL E INVENTARIO DE HUELLA DE AGUA ..	72
4.4.1	Discusión del inventario de huella de agua	74
4.4.2	Discusión del perfil de huella de agua.....	75
4.5	FASE IV: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA PLANTA EMPACADORA.....	82
4.5.1	Justificación de la alternativa seleccionada	82
4.5.2	Diseño de la alternativa seleccionada.....	82
CONCLUSIONES.....		88
RECOMENDACIONES.....		90
REFERENCIAS		91
ANEXOS		100



Índice de Tablas

Tabla 1. Volúmenes totales en las etapas planta empacadora y siembra y cosecha	66
Tabla 2. Resultados del uso consuntivo y uso degradativo.....	66
Tabla 3. Indicadores internos para el uso consuntivo y uso degradativo.....	67
Tabla 4. Cantidad y procedencia del Fósforo en la etapa de siembra y cosecha	69
Tabla 5. Procedencia del Fósforo en la planta empacadora.....	69
Tabla 6. Masa de Fósforo: agua residual y suelo.....	70
Tabla 7. Factores de caracterización e impacto por eutrofización.....	70
Tabla 8. Masas por ingrediente activo e impacto por ecotoxicidad.....	71
Tabla 9. Datos de entrada impacto por escasez	72
Tabla 10. Huella de agua por ecotoxicidad, eutrofización y escasez por uso directo del recurso hídrico en la finca San Felipe.....	73
Tabla 11. Uso consuntivo plantas empacadoras de banano	79

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Datos de entrada para el cálculo de la evapotranspiración en la finca mediante CROPWAT 8.0.....	49
Cuadro 2. Obtención de volúmenes de entrada y salida en la planta empacadora	52
Cuadro 3. Metodología de obtención del contenido de DBO ₅ en el agua vertida.....	53
Cuadro 4. Posibles medidas de reducción de la huella de agua por escasez, eutrofización, toxicidad humana y ecotoxicidad en la finca San Felipe.....	64



Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Volumen consumido total	54
Ecuación 2. Volumen consumido en la etapa de siembra y cosecha	54
Ecuación 3. Volumen consumido en la planta empacadora.....	55
Ecuación 4. Caudal de salida de las tinas de lavado	55
Ecuación 5. Volumen de agua vertida de las tinas de lavado	56
Ecuación 6. Indicador interno para el uso consuntivo	56
Ecuación 7. Indicador interno para el uso degradativo	56
Ecuación 8. Impacto por categoría.....	58
Ecuación 9. Masa de ingrediente activo de una sustancia según USEtox	59
Ecuación 10. Impacto por ecotoxicidad.....	59
Ecuación 11. Masa de Fósforo en el agua residual, metodología ReCiPe.....	61
Ecuación 12. Masa de Fósforo en el suelo según ReCiPe	61
Ecuación 13. Impacto por eutrofización en el suelo según ReCiPe.....	61
Ecuación 14. Impacto por eutrofización en el agua residual según ReCiPe	61
Ecuación 15. Impacto por eutrofización total	61
Ecuación 16. Impacto por escasez de agua según AWARE.....	62



Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la Huella de Agua en América Latina	26
Figura 2. Marco del análisis de la ISO 14046:2014	29
Figura 3. Proceso producto en la planta empacadora de banano San Felipe	37
Figura 4. Ubicación geográfica de la finca bananera San Felipe.....	41
Figura 5. Contribución de los diferentes usos de agua según la etapa productiva	75
Figura 6. Identificación de puntos críticos.....	76
Figura 7. Componentes del sistema de tratamiento y recirculación del agua	83
Figura 8. Diseño de un sistema de filtración dinámica gruesa en la finca San Felipe.....	87



Listado de Siglas y Acrónimos

ACV - Análisis del Ciclo de Vida
ALC - América Latina y El Caribe
AWARE - Available Water Remaining (Agua Disponible Remanente)
COSUDE – Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo
CTUe - Unidad comparativa de toxicidad para impactos de ecotoxicidad acuática
FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ISO - Organización Internacional de Normalización
COP21- Conferencia sobre el Cambio Climático
ODS - Objetivos de Desarrollo Sostenible
PAF – Fracción de Especies Potencialmente Afectadas
PIB- Producto Interno Bruto
WFN – Water Footprint Network (Red de Huella Hídrica)
WULCA – Water Use in Life Cycle Assessment (Uso de Agua en Evaluación de Ciclo de Vida)
AV- Agua Virtual
HH- Huella Hídrica
ONU- Organización de las Naciones Unidas
MAG- Ministerio de Agricultura y Ganadería
AEBE- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador
DHJ- Demarcación Hidrográfica Jubones
TMS- Clima Tropical Megatérmico Seco
SESA- Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria
DBO - Demanda Bioquímica de Oxígeno
POWER- Prediction of Worldwide Energy Resources
INEN- Servicio Ecuatoriano de Normalización
INIAP- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
USDA- Departamento de Agricultura de EE.UU.
LABOLAB- Laboratorio de Análisis de Alimentos Aguas y Afines



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Voltaire Adrián González Moreno, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA BANANERA "SAN FELIPE", CANTÓN PASAJE, PROVINCIA EL ORO", de conformidad con el art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que se realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de diciembre de 2021

Voltaire Adrián González Moreno

C.I.: 0704301506



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Dunia Lisseth Panamito Reyes, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA BANANERA “SAN FELIPE”, Cantón Pasaje, Provincia El Oro”, de conformidad con el art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que se realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de diciembre del 2021

Dunia Lisseth Panamito Reyes

C.I.: 0704789379



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Voltaire Adrián González Moreno, autor del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA BANANERA "SAN FELIPE", CANTÓN PASAJE, PROVINCIA EL ORO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de diciembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Voltaire", written over a horizontal line.

Voltaire Adrián González Moreno

C.I.: 0704301506



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Dunia Lisseth Panamito Reyes, autora del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO EN LA FINCA BANANERA “SAN FELIPE”, CANTÓN PASAJE, PROVINCIA EL ORO”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de diciembre del 2021

Dunia Lisseth Panamito Reyes

C.I.: 0704789379



Dedicatoria

A Dios, por ser la luz de mi vida, por acompañarme a cada instante y por permitirme soñar.

A mis padres, por ser mi fortaleza y mi principal inspiración para seguir adelante, por apoyarme sin importar la circunstancia, por inculcarme que con esfuerzo y sacrificio todo se puede lograr y por ser los mejores padres del mundo.

A mi hermana Samantha, por llenar mi vida de dulzura, y darme el cariño más puro y sincero, por enseñarme a ser perseverante y motivarme a ser mejor cada día.

A mi mejor amigo, mi amor, mi confidente y compañero, Adrián, ya que ha permanecido en los buenos y malos momentos, por amarme, valorarme y demostrarme que, con amor, confianza y respeto se construye la historia más bonita de mi vida.

A mi familia en general, por sus sabios consejos, por su presencia y por manifestar el verdadero significado de la unión familiar.

DUNIA LISSETH PANAMITO REYES



Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico en primera instancia a Dios, por la fortaleza y fuente de apoyo a la hora de continuar con el proyecto y con cada una de las adversidades presentadas.

A mis padres, Volter y Nancy, por brindarme durante toda la etapa universitaria apoyo emocional ante problemas personales y académicos, por confiar en mi capacidad de culminar un proyecto tan importante y por pensar siempre en mi futuro, sin ellos nada sería posible.

A mis hermanas, Gianella y María José porque por ellas extraía fuerzas para servir de ejemplo, demostrando que cualquier esfuerzo tiene su recompensa y, como hermano mayor, fijar las bases en las que ellas puedan apoyarse para superarme en cualquier aspecto de la vida.

A mi compañera de tesis y de vida, Dunia, ejemplo de disciplina y proactividad, siempre un paso adelante para solucionar cualquier problema, además, claro ejemplo de amor puro e incondicional, gracias por amarme y por existir.

Por último, a mis familiares, especialmente a aquellos que supieron aconsejarme, haciendo especial mención a aquellos que no están, mi prima Erika, este título también es para ti guerrera de vida, y a mi tía Mary, ser humano lleno de dulzura y empatía, conseguí el título por el que siempre me preguntaba.

VOLTAIRE ADRIÁN GONZÁLEZ MORENO



Agradecimientos

A Dios, por brindarnos salud, sabiduría y guiarnos durante esta etapa de nuestras vidas.

A nuestras familias, por ofrecernos su apoyo y palabras de aliento cuando más lo necesitábamos,
por inculcarnos la perseverancia, esfuerzo y sacrificio.

Al productor bananero, Freddy Moreno, por colaborar en todo momento con datos sensibles de
su producción y permitirnos realizar nuestro proyecto investigación en su finca bananera.

A la Ing. Alexandra Guanuchi por su predisposición a ayudarnos en este proyecto y ser una guía
durante nuestro crecimiento profesional.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros amigos y amigas por hacer de nuestra vida
universitaria una de las mejores experiencias.

Voltaire Adrián González Moreno

Dunia Lisseth Panamito Reyes



CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes problemas ambientales a nivel internacional potenciado por las actividades humanas en contra del ambiente. Uno de los sectores estratégicos de producción que más afectan al ambiente y en especial al recurso hídrico es el sector agrícola, que, según la FAO, consume el 70% del agua dulce extraída desde diversas fuentes naturales como acuíferos, arroyos y lagos (Secretaría del Foro Mundial Bananero, 2017).

Ante esta problemática, la comunidad internacional tiene como pilar fundamental el desarrollo sostenible, el cual gestó sus objetivos en Río de Janeiro, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en el año 2012, afianzándose en el Acuerdo de París aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21) en el año 2015 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s. f.).

Toda esta concientización a nivel mundial, ha trascendido a niveles locales haciendo que las empresas se exijan estándares que cumplan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así, la implementación de un sistema de gestión del agua contribuirá de manera potencial a alcanzar algunos de los ODS (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a; Ana Vallejo, Vallejo, Nájera, & Garnier, 2017)

Objetivo 3: Salud y Bienestar.

Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento.

Objetivo 12: Producción y consumo responsables.

Objetivo 13: Acción por el clima.

En Ecuador el consumo de agua destinada a riego representa un 71,2 % (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019), y aunque hay una reducción progresiva de la disponibilidad de agua,



actualmente la riqueza hídrica del país sigue siendo importante (SENAGUA, 2017), sin embargo, las fuentes de agua no están exentas de las problemáticas mundiales (Ana Vallejo, 2015).

Dentro del sector agrícola, la producción bananera de exportación representa una actividad estratégica a nivel nacional, y según el Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador (2017) dicha actividad representa el 2% del PIB general y aproximadamente el 35% del PIB agrícola. Además, tiene un gran impacto a nivel hídrico, tanto en el proceso de irrigación como en los procesos llevados a cabo en la planta empacadora, así, según un análisis en las estaciones de empaque del Ecuador, se estimó un consumo de agua de 576 m³ por tonelada de banano (Secretaría del Foro Mundial Bananero, 2017) lo que expone la alta demanda del recurso.

Por lo tanto, en el presente proyecto se tomó como ejemplo la finca de banano San Felipe situada en el cantón Pasaje, provincia de El Oro, perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Jubones, el cual en los procesos de siembra, cosecha y planta empacadora requiere de grandes cantidades de agua. Cabe mencionar que la finca pertenece a la Corporación Bananera San Miguel, la cual posee varios certificados de carácter ambiental como Ceres y Global Gap (Vega, 2018), debido a que no emplea químicos en ninguno de sus procesos productivos, por lo que se considera como finca productora de banano orgánico.

Acorde a lo que afirma la Secretaría del Agua en su Plan Nacional de Riego y Drenaje (2019), la disponibilidad promedio de agua superficial y subterránea en la cuenca hidrográfica del río Jubones corresponde tan sólo al 1,9% y 2,1%, respectivamente, del total en todo el Ecuador.

Además, teniendo en cuenta otros factores tales como la creciente demanda poblacional del recurso hídrico para fines agropecuarios y la escasez del recurso en las épocas de sequía, se hace imprescindible asegurar que los sistemas naturales de agua puedan mantenerse y gestionarse para garantizar su sostenibilidad (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).



En este contexto, una herramienta que permite alcanzar dicha sostenibilidad es la evaluación de la huella de agua, según propone la norma internacional ISO 14046:2014, la cual pretende minimizar los impactos ambientales evaluados mediante un manejo responsable del recurso (Ana Vallejo et al., 2017).

Dicha evaluación le permitió a la empresa u organización, en este caso la finca “San Felipe”, evidenciar de manera responsable y respaldada el efecto generado en el ambiente por el uso directo del agua, permitiendo gestionar eficientemente el recurso hídrico, posicionándose como finca responsable que cumple los objetivos de desarrollo sostenible mencionados anteriormente.



1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la huella de agua por uso directo en la finca bananera “San Felipe” contemplando las etapas de siembra, cosecha y planta empacadora.

1.1.2 Objetivos Específicos

Desarrollar el inventario de huella de agua por uso directo en la finca mediante: la recolección de datos en las actividades de siembra, cosecha y planta empacadora.

Determinar el uso consuntivo y degradativo del agua en cada una de las etapas de producción propuestas en el proyecto, y evaluar el desempeño ambiental de la finca mediante un indicador interno.

Cuantificar los indicadores de las diferentes categorías de impacto relacionados al uso del agua en los procesos de producción del banano según la norma ISO 14046:2014.

Proponer una alternativa eficiente para la reducción del impacto evaluado siguiendo las recomendaciones propuestas por la FAO.



CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

A lo largo de este capítulo se realizó un enfoque internacional y nacional en cuanto al uso y disponibilidad del agua para comprender la importancia de su gestión. Además, se abordó una herramienta que ayude a la gestión del recurso hídrico, en este caso la huella de agua, siguiendo los requerimientos de la norma ISO 14046:2014 y, por último, se analizó todo lo referente a la actividad bananera en cuanto al uso y consumo de agua en sus procesos de producción, haciendo mención al sitio de estudio del proyecto, la finca bananera San Felipe.

2.1 Uso y disponibilidad del recurso hídrico

2.1.1 *Agua disponible a nivel internacional.*

El planeta tierra dispone de 110.000 km³ de agua proveniente de la precipitación (sin incluir el agua que cae en los océanos), el 56% de esta cantidad se pierde por evapotranspiración de los bosques y otros paisajes naturales, el 39% se convierte en escorrentía superficial (ríos y lagos) y en agua subterránea (acuíferos) y el 5% restante se dirige a la agricultura de secano (regada por la lluvia). Parte del agua es extraída mediante infraestructura humana, dentro de la cual la mayoría regresa nuevamente al medio ambiente. Según la FAO (2016) existen tres tipos de extracción de agua dulce: las agrícolas, municipales e industriales, donde su porcentaje de extracción es de 69%, 12% y 19%, respectivamente.

La FAO mediante la Secretaría del Foro Mundial Bananero (2017) afirma que las actividades agrícolas consumen cerca del 70% del agua dulce extraída de acuíferos, lagos y arroyos, a nivel mundial, y en conjunto al crecimiento poblacional previsto, dichas actividades agrícolas aumentarán debido a la creciente demanda de alimentos. Además, Seguí et al. (2016)



afirma que otros factores como el crecimiento de la urbanización, la industrialización y el consumismo se suman a la problemática agrícola en cuanto al consumo del agua.

El impacto en los recursos hídricos está directamente relacionado al cambio climático, debido a que se aumenta la variabilidad del ciclo del agua, traduciéndose en: la dificultad para prever la disponibilidad de recursos hídricos, disminución de la calidad del agua exacerbando aún más su escasez, constituyendo una amenaza al desarrollo sostenible en todo el mundo (UNESCO, 2019).

En cuanto a la disponibilidad del agua, el creciente estrés hídrico indica el consumo desmedido de los recursos hídricos, generando mayor impacto para su sostenibilidad e implicando conflicto al consumidor. De esta forma, siguiendo la tendencia de degradación del medio ambiente y la insostenibilidad de los recursos hídricos, el 45% del PIB y el 52% de la población mundial estarán en situación de riesgo para el año 2050 (UNESCO, 2019).

A nivel de América Latina y El Caribe (ALC), el 22% del total de la huella hídrica se relaciona con la producción para su exportación, del cual el 97% es agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad (Mekonnen, Pahlow, Aldaya, Zarate, & Hoekstra, 2015).

La región de ALC está produciendo y suministrando cada vez más alimentos a otras partes del mundo, utilizando agua de lluvia almacenada en el suelo, donde la mayoría de países tiene abundantes fuentes de agua, lo que sugiere la expansión de la agricultura de secano. Sin embargo, esta abundancia es engañosa, debido a que gran parte de estas fuentes de agua no son aprovechables y, además, el promedio de uso de agua por consumidor en toda la región es 28% mayor que el promedio mundial (Mekonnen et al., 2015).

Ante este panorama, con la finalidad de combatir el cambio climático y los problemas que conlleva, en 2015 diferentes países adoptaron la estrategia *Transformar nuestro mundo: la agenda*



2030 para el desarrollo sostenible, donde se plantearon los 17 ODS, mismos que están interrelacionados y tienen por objeto reforzarse mutuamente. La conjunción de todos estos objetivos permite lo siguiente: ayudar a la salud y bienestar de la sociedad, mejorar la nutrición, poner fin al hambre, asegurar la paz y la estabilidad, conservar los ecosistemas y la biodiversidad, y lograr la seguridad energética y alimentaria. Siendo el agua un factor clave debido a que su gestión fomenta la igualdad de género y la inclusión social, asimismo promover la creación y el mantenimiento de empleos en todos los sectores de la economía (UNESCO, 2019).

Sin embargo, a pesar de los avances e intentos a nivel global por cumplir los ODS, aún queda mucho por hacer para su cumplimiento, esto queda reflejado mediante un informe emitido por la Organización de las Naciones Unidas donde se afirma que con los niveles de crecimiento actuales la demanda de agua en el 2050 aumentará un 10%, elevando los niveles de estrés hídrico (UNESCO, 2019).

En los últimos años, el uso y el consumo del agua ha crecido a un ritmo acelerado, doblando al de la tasa de crecimiento de la población, a pesar de esto no se muestra una escasez hídrica a nivel global, sin embargo, se espera que en ciertos territorios exista un desabastecimiento total o parcial del agua (Romero-Guzmán & Romero-Guzmán, 2020).

2.1.2 Agua disponible en el Ecuador.

Ubicado en el noroeste de América del Sur está Ecuador, país que goza con una importante riqueza de recursos hídricos contando con más de 30 sistemas hidrográficos, conformados por 79 cuencas. De todos estos sistemas, 24 drenan hacia el océano Pacífico y representan el 48,07 % del territorio nacional, y 7 drenan hacia la región oriental, que representa el 51,41 % del territorio (Cisneros & Pacheco, 2010). Cabe destacar que el Ecuador posee un flujo de 432 km³/año en todos sus sistemas hidrográficos (FAO, 2015) de los cuales, aquellos que drenan hacia la región oriental



constituyen el 86% del flujo total, mientras que los que desembocan en el Pacífico representan el 14% (SENAGUA, 2017).

Sudamérica dispone del 28% de los recursos mundiales de agua dulce y tan sólo el 6% de la población mundial (Global Water Partnership South America, 2012), siendo una de las regiones del mundo con más recursos hídricos. Sin embargo, existen deficiencias en su distribución espacial y temporal lo que tiene como consecuencia la escasez del recurso hídrico en extensas zonas de la región (Guzmán & Calvo, 2013); dichas deficiencias se presentan en el Ecuador, donde existe una variabilidad en cuanto a la disponibilidad del agua, oscilando de 4'320.000 hm³ en la estación lluviosa a 146.000 hm³ en la estación seca, contando con una precipitación media anual por encima de los 2.000 mm. No obstante, la disponibilidad del recurso hídrico se va reduciendo progresivamente a lo largo de los años aunque hasta la actualidad existe una importante riqueza hídrica (SENAGUA, 2017).

La demanda para los distintos usos es inversamente proporcional a esta disponibilidad, es decir, la vertiente del Pacífico, en la cual el uso del agua va destinado: al consumo humano, riego, industria, minería, entre otros, atiende la demanda para una población considerablemente mayor a la demanda que atiende la vertiente que drena hacia la región oriental, la cual está concentrada en actividades hidrocarburíferas, mineras y recreativas (SENAGUA, 2017).

Ecuador, a nivel de América Latina y el Caribe, es el 7° país con más agua lluvia almacenada en el suelo como humedad, y el 6° país que realiza un uso del agua superficial (ríos, lagos, etc.) para la producción de sus cultivos, lo que lo posiciona como el 6° país que más consumo y contaminación del agua dulce realiza en toda la región (Mekonnen et al., 2015). En términos de los recursos hídricos subterráneos, en Ecuador alcanzan los 56.556 hm³, de los cuales a la región



costa le corresponden 15.137 hm³, a la sierra 8.381 hm³ y a la Amazonía 33.037 hm³ (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

Los principales problemas ambientales del agua se establecen según el uso al que esté destinado, de esta forma en el Ecuador los usos consuntivos como el riego, el uso doméstico y el industrial suman la cantidad de 22.500 hm³/año, del cual el riego agrícola participa en un 81,1 % (Albornoz et al., 2008) convirtiéndose en el uso de agua que más caudal consume en nuestro país, algo que en general se muestra con una tendencia en América Latina (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019); mientras que el principal uso no consuntivo del agua en el Ecuador es el destinado a la generación de energía hidroeléctrica (Albornoz et al., 2008).

2.2 Evolución de la huella de agua en América Latina

La gestión del agua ha supuesto un desafío a lo largo de los años, al partir del cual han surgido diferentes herramientas con la finalidad de optimizar su uso. En la Figura 1 se observa su secuencia evolutiva.

Figura 1

Evolución de la huella de agua en América Latina.



Nota. Fuente: (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a).

De esta forma la primera iniciativa que evaluó el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente, específicamente en el agua, surgió en 1992 bajo el nombre de Huella Ecológica, metodología desarrollada por William Rees y Mathis Wackernagel quienes la conceptualizaron como un “indicador del espacio biológicamente productivo”, es decir, permite determinar la

Voltaire González
Dunia Panamito



cantidad de superficie necesaria para que se dé un desarrollo sostenible, teniendo en cuenta el abastecimiento de las necesidades humanas y su capacidad de autodepuración o asimilación de contaminantes (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a).

El agua virtual (AV) fue desarrollada por John Allan y la Escuela de estudios africanos y Orientales en 1993, durante su estudio de países con déficit de agua. Sin embargo, este término se empleó una década después, luego de comprender que el agua virtual permitiría cuantificar el flujo de agua entre países, promoviendo a su vez las importaciones o exportaciones de productos fabricados en países con excedente de agua a otros con déficit de agua, todo esto bajo la premisa de que el agua virtual se encontraba presente directa o indirectamente en la elaboración de productos especialmente de carácter agrícola durante todo su ciclo de vida (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a; Allan, 2003; Parada, 2012).

Otro método empleado es el elaborado por Hoekstra (2002), la Huella Hídrica (HH), la cual considera el uso directo o indirecto del agua y define a la HH como la “medida volumétrica del consumo y contaminación del agua”. La HH se establece en tres componentes: huella azul, huella verde y huella gris. La primera, huella azul se refiere al consumo del agua superficial y subterránea incorporadas en el producto, evaporada o que no regresa al mismo cuerpo receptor; la huella verde representa toda el agua consumida proveniente de la lluvia que se almacena en el suelo y se evapora, transpira o incorpora en las plantas; la huella gris se refiere a la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar los contaminantes y se basa según los estándares normativos para la calidad del agua (INIA, 2013; Blacio, 2018).

Hoekstra desarrolló la evaluación de la sustentabilidad (WFN) en el 2011, la cual consiste en la comparación entre la huella de agua humana con la capacidad de desarrollo sostenible de la Tierra, por lo que, esta metodología considera no solo la cuantificación de la apropiación de agua



dulce, si no también diferentes factores como la sostenibilidad de la huella hídrica a un contexto más extenso, y la relación de la huella de agua azul con el agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas; y la huella gris con la capacidad de autodepuración de una cuenca hidrográfica (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a; Hoekstra, A. Chapagain, A. Aldaya, 2011).

La metodología dispuesta por la ISO 14046:2014 se considera como la norma técnica más factible para el cálculo de la huella de agua debido a que considera un análisis de ciclo de vida del producto, proceso u organización en donde el principal objetivo es disminuir el impacto que se pueda generar por el uso o consumo de este recurso. De igual forma, la huella de agua se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, específicamente los objetivos 3 “salud y bienestar” el cual consiste en garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades; el objetivo 6 “agua limpia y saneamiento” enfocada en garantizar el agua disponible para todos bajo un sistema de gestión y saneamiento sostenible; el objetivo 12 “producción y consumo responsables” que pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles; y finalmente con el objetivo 13 “acción por el clima” que adopta medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Organización de las Naciones Unidas, s. f.).

Cabe mencionar que la Huella Hídrica y la Huella de Agua, son los métodos más empleados por la comunidad científica para el cálculo del consumo del agua y su principal diferencia radica en que la HH da como resultado el volumen de agua consumida para la elaboración de un producto, servicio u organización, mientras que la metodología empleada por la ISO 14046 no solo calcula el volumen de agua utilizada sino que lo transforma en impactos ambientales por uso del agua en



términos de disponibilidad o degradación del recurso, además de tener un enfoque de ACV (Ana Vallejo, 2015).

2.3 Huella de agua ISO 14046:2014

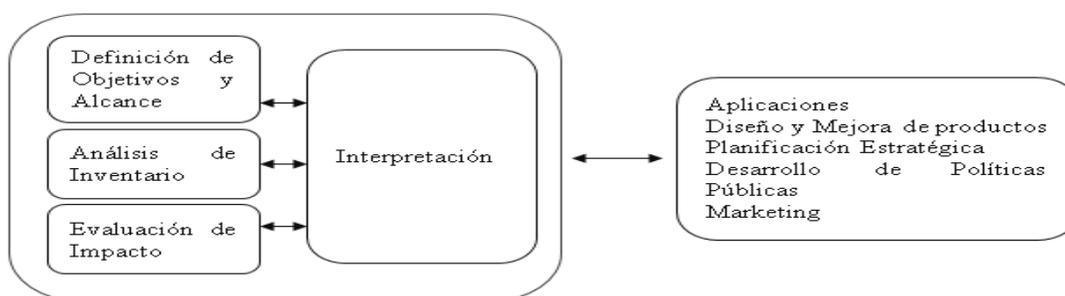
2.3.1 Generalidades de la norma ISO 14046:2014

Como producto de la paulatina petición por obtener una norma que consolide la variedad de definiciones y metodologías sobre la gestión hídrica, el 1 de agosto del 2014 se publica la ISO 14046:2014 – Gestión Ambiental - Huella Hídrica - Principios, requisitos y directrices (Montserrat, 2014), la cual se encuentra estructurada de tal forma que cada apartado permite brindar información y plasmar el desenvolvimiento de la norma, así como también garantizar a la entidad u organización evaluada un completo entendimiento y una aplicación correcta de la misma.

Siguiendo la estructura de la ISO 14046:2014 se divide en cuatro apartados tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Marco del análisis de la ISO 14046:2014



Nota. Fuente: (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016b).



2.3.2 Marco referencial ISO 14046:2014

Para mayor agudeza de la norma se discutió sobre un marco referencial en el cual se fundamenta la ISO 14046, 2014 (Montserrat, 2014):

- Se basa en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), afianzándose en la norma ISO 14044:2006 Gestión Ambiental - evaluación del ciclo de vida – requisitos y directrices.
- Se emplea en todo tipo de productos, organizaciones, procesos o servicios consolidándose como la norma más amplia en cuanto a métodos de análisis desarrollados en los últimos tiempos.
- Establece los impactos ambientales asociados únicamente al uso o consumo del agua, segregando impactos globales tales como los sociales y económicos, dicho en otras palabras, la norma no considera los impactos que se puedan generar más allá del agua, por lo que para esto se necesitaría de un enfoque integral como el detallado por la ISO 14044.
- Se encasilla como modular debido a su proyección en el análisis del ciclo de vida, por lo que condiciona a que el cálculo del consumo de agua se pueda sumar entre los procesos involucrados.
- Accede a abordar la evaluación parcial o total de los impactos ambientales (escasez, eutrofización, ecotoxicidad, toxicidad) especificados en la norma.
- Permite identificar impactos ambientales generados en diferentes zonas de estudio, por medio de sus dimensiones temporales y geográficas; además de realizar un plan de manejo que ayude a disminuir dicho impacto.



- Permite comparar los resultados obtenidos con estudios similares siempre y cuando se hayan analizado los mismos impactos ambientales y se especifique las características de la zona de estudio.
- Los resultados interpretados se establecerán como consejos a seguir en la organización o empresa evaluada.

2.3.3 Justificación del uso de la norma internacional ISO 14046:2014.

Luego de un análisis comparativo entre las metodologías existentes para el cálculo de la huella de agua, para el presente proyecto se eligió el dispuesto por la ISO 14046:2014. Teniendo en cuenta las ventajas que presenta la metodología seleccionada, los puntos clave para su aplicación fueron los siguientes:

- Es el método más aceptado por la comunidad científica.
- Permite observar y analizar la gestión que realiza la empresa con respecto al recurso hídrico.
- Aplica el principio del Análisis del Ciclo de Vida parcial o total adaptándose completamente a nuestros requerimientos para la elaboración del proyecto.
- Como resultado del cálculo de la huella de agua evaluada nos permitirá aplicar acciones que mejoren la eficiencia en cuanto al manejo del recurso.

2.3.4 Enfoque del Análisis de Ciclo de Vida

La metodología de la norma ISO 14046:2014 integra los principios del ACV, considerando que en la evaluación de la huella de agua se valore de modo sistémico los impactos ambientales de productos o servicios a través de todas sus etapas (Della Torre, Garimaldi, & Paliouff, s. f.).



Esto quiere decir, que pretende analizar los impactos generados desde “la cuna a la tumba”(Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a), sin embargo, en algunas ocasiones resulta dificultoso englobar todas las actividades involucradas, por lo que es importante definir qué procesos estamos considerando para de este modo disminuir la incertidumbre de los resultados y por ende esclarecer su enfoque (Fullana i Palmer, 1999).

Como toda norma ISO se divide en cuatro elementos fundamentales: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados.

En la definición de objetivos y alcance se debe especificar las razones que promueven el estudio involucrando todos los componentes del ciclo de vida; el análisis de inventario se refiere a los balances de materia y energía; en la evaluación de los impactos ambientales potenciales se estiman los efectos medioambientales resultantes del análisis de inventario; y finalmente, en la interpretación se desarrollan mejoras con la finalidad de disminuir el impacto (Fullana i Palmer, 1999).

2.4 Relación entre la actividad bananera y el recurso hídrico

2.4.1 *Actividad bananera*

El banano es el fruto fresco mayormente consumido a nivel mundial debido a sus altos aportes nutritivos, baja inversión económica y facilidad de producción durante todo el año (Ana Vallejo, 2015). El banano crece con facilidad y su periodo de reproducción se completa a los doce meses (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL, 1993), posee alrededor de 1000 especímenes, siendo la variedad más conocida el subgrupo Cavendish que en la actualidad representa alrededor del 47% de la producción mundial (Soto, 2011).



Su origen remonta desde el año 650 E.C en Asia, posteriormente como producto de los flujos migratorios humanos se extendió a América en el siglo XVI (Palomeque, 2015). Hoy en día, la gran mayoría de los países que conforman América Latina y El Caribe, son productores y exportadores de banano, siendo los más representativos: Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Colombia, Guatemala y Perú (Palomeque, 2015; Soto, 2011; Zhiminaicela, J. B., Quevedo, J. N., & García, 2020). Éste acontecimiento se debe principalmente a las condiciones idóneas de suelo y clima lo que refleja facilidad para su producción y características únicas en cuanto a términos de calidad (Alaña, 2011; Ana Vallejo, 2015). Además, América Latina es el único exportador de banano orgánico (Soto, 2011).

La historia de la exportación bananera del Ecuador comenzó en 1944 luego de generarse un excedente en su consumo interno (Arroba, 2010); años después en 1959 alcanzó su auge, convirtiéndose en el principal producto de exportación de este país (Alaña, 2011). En la actualidad, Ecuador es el quinto país productor de banano y el primero en liderar el ranking de exportación mundial de banano en donde el promedio anual desde el 2009 hasta el 2019 representó un tercio del volumen total de exportación mundial (Food and Agriculture Organization for the United Nation, 2020), además, se posiciona como el mayor exportador de banano orgánico con 9,9 millones de cajas de 18,14 Kg (Soto, 2011). Según el registro del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el país cuenta con aproximadamente 162.236 hectáreas sembradas de banano (Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, 2017) en donde sus principales mercados de exportación se encuentran divididos en:

- Mercados Principales 89%
- Marginales 27%
- y Otros 11%



El primer mercado se encuentra conformado por la Unión Europea, Estados Unidos y Rusia; los Marginales por países varios y el 11% restante se encuentra constituido por países del Medio Oriente, África y Asia (Alaña, 2011).

La producción bananera en el Ecuador cuenta con 4.473 productores distribuidos en pequeños, medianos y grandes productores (Secretaría del Foro Mundial Bananero, 2017). Por lo que brinda empleo a más de un millón de familias ecuatorianas (Fernández, 2017). Las zonas de cultivo se extienden en todas las regiones del país, la Costa aporta con el 89%, la Sierra con el 19% y la Región Amazónica con el 1% (Palomeque, 2015). En la Costa, las mayores concentraciones de cultivo se dan en las provincias del Guayas, El Oro, Esmeraldas, Manabí y Los Ríos (Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, 2017). Donde, la provincia de El Oro concentra el 45% de sus extensiones para la producción de este producto y aporta con el 24,8% de la producción total del país, siendo la segunda provincia con mayor producción de banano (Zhiminaicela et al., 2020).

2.4.1.1 Panorama actual de la actividad bananera.

El porcentaje de producción agrícola especialmente producción de banano ha venido en un continuo auge. Según el informe elaborado por la FAO sobre los resultados preliminares de la revisión del mercado de banano del año 2019, se afirma que las exportaciones de banano ascendieron a 20,2 millones de toneladas hasta el año 2019 y se proyecta 135 millones de toneladas para el 2028 (FAO, 2020).

Además, a partir del 2015 más de 500 millones de hectáreas agrícolas se consolidaron como orgánicas y muchas otras se certificaron como sostenibles (FAO, 2020); el mismo autor afirma que 5,6 millones de hectáreas son destinadas a la producción de banano en donde se generan 50 mil millones de toneladas de banano Cavendish en todo el mundo.



Las exportaciones de Ecuador a países como Rusia, Unión Europea y Cono Sur decrecieron en el primer trimestre del 2019 exportando 16,28 millones de cajas menos que el año anterior. A pesar de ello, hasta septiembre del 2019 se embarcaron 267 millones 798 mil 557 cajas en comparación a 262 millones 237 mil 572 cajas que fueron exportadas en igual período del 2018, incrementando en 2,5% sus exportaciones (Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE), 2019).

A pesar del panorama actual, producto de la pandemia producida por la covid-19 durante los primeros siete meses del año 2020 el Ecuador exportó 4,3 millones de toneladas de cajas de banano representando un aumento del 8,5% en comparación con lo registrado en el año anterior durante el mismo periodo (Altendorf, 2020).

Ecuador se encuentra en un escenario fluctuante, teniendo aumento de sus exportaciones en ciertos mercados y una disminución en otros. En parte, esto se debe a la situación económica a nivel mundial, sin embargo, esta realidad no es actual, ya que muchos productores se ven afectados continuamente por barreras como preferencias arancelarias, cuerdos comerciales y requerimientos de calidad que impiden el acceso a nuevos comercios (Cordero, 2012).

2.4.1.2 Proceso de siembra y post-cosecha del banano de exportación.

La siembra del banano se da en regiones tropicales y subtropicales, requiriendo de una precipitación promedio de 100 mm/mes y preferiblemente en zonas que tengan una estación lluviosa que no supere los 3 meses (Hailu, Workneh, & Belew, 2013), considerándose uno de los cultivos frutales de mayor importancia económica (Duan, Joyce, & Jiang, 2007).

La planificación de la cosecha es un paso importante que requiere la inspección de los racimos de banano, considerando el tiempo desde el cuajado y el crecimiento y desarrollo de la



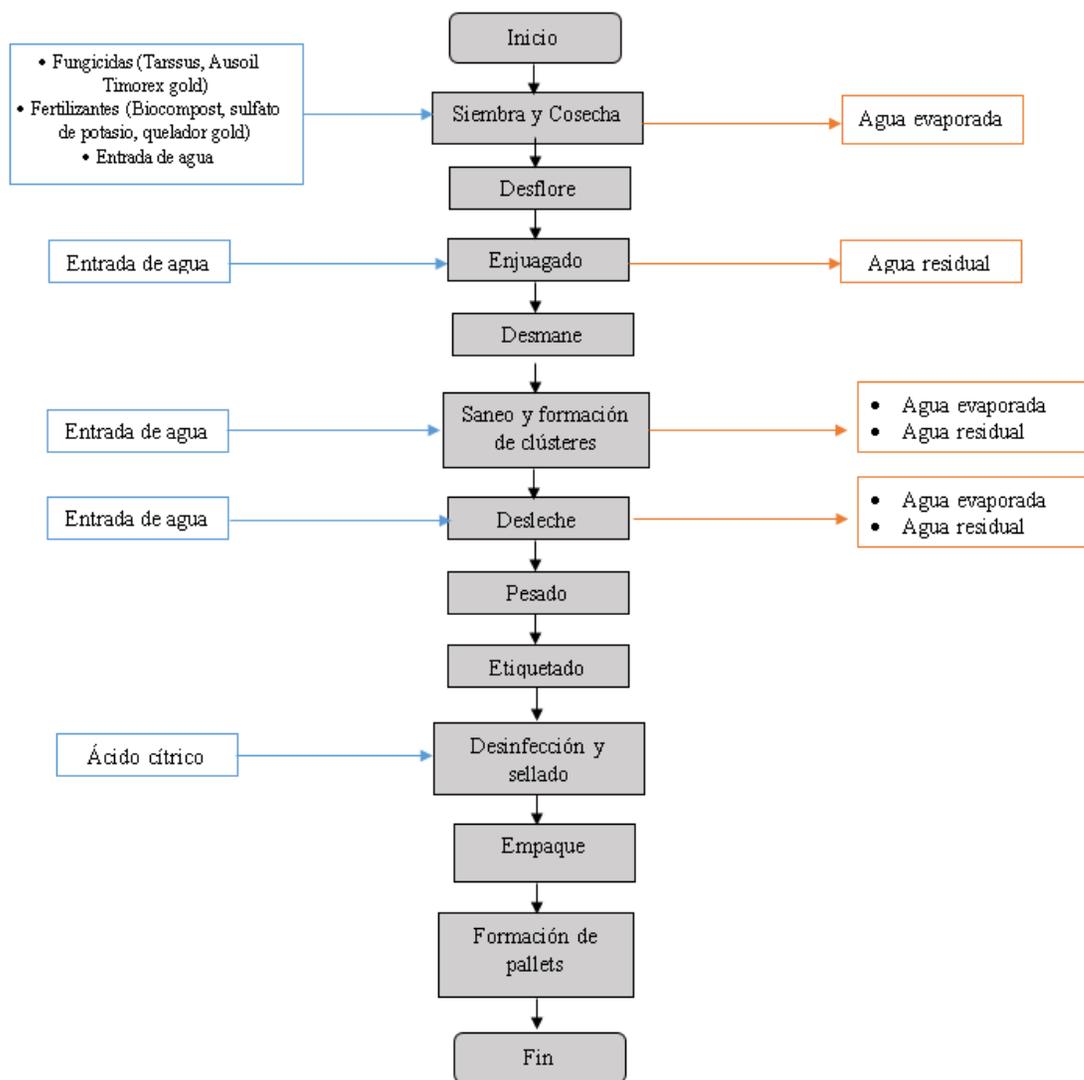
fruta, así como los requerimientos de la empacadora o de los compradores. Aunque los racimos de plátanos estén marcados con cintas de color, el clima, la nutrición de las plantas y otros factores pueden afectar las características de la fruta y el tiempo necesario para alcanzar los parámetros de calidad deseables, y eso requiere de un muestreo in-situ para determinar el estado fisiológico de la fruta (Lobo & Montero-Calderón, 2020).

En cuanto a las prácticas de post-cosecha, una buena técnica asegura reducir las pérdidas cuantitativas y cualitativas de la fruta fresca, además de mantener la calidad del producto hasta su consumo final (Hailu et al., 2013). Es por ello que se han desarrollado tecnologías de post-cosecha que buscan extender la vida de la fruta de banano (Duan et al., 2007). El proceso tradicional de post-cosecha de banano para su exportación tal y como se muestra en la Figura 3 consiste en: cosecha (racimos), transporte a la planta empacadora, recepción y control de calidad, desflore, desmane, lavado y saneo, formación de clústeres, enjuague o desleche, pesado, desinfección, sellado, empaque, tapado, identificación, formación de pallets y transporte (Gonzabay, 2017).

El racimo de banano luego de su llegada a la planta empacadora pasa por un control que determina su calidad, tamaño de la fruta y la edad que está señalada por el color de cinta que tiene registrado el propietario de la finca; además se determina el aspecto interno de una muestra de fruta (Lobo & Montero-Calderón, 2020).

Figura 3

Proceso productivo en la planta empacadora de banana San Felipe



Nota. Fuente: Autores, 2021.

Una vez evaluado el racimo se procede al desflore, el cual consiste en eliminar las flores secas que se encuentran en la punta de los frutos del racimo, posteriormente mediante un cuchillo curvo o cortador semicircular (cuchareta) se desmana el racimo separando el tallo del fruto, para



que después se coloque en el tanque de desmane (Gonzabay, 2017). El propósito del primer lavado es evitar el contacto del látex, impidiendo la proliferación de hongos y bacterias que puedan afectar la madurez fisiológica de la planta o perder su utilidad funcional (Ramírez, Sáenz, & Vargas, 2011).

Al otro lado del tanque de agua se encuentran trabajadores encargados de cortar las manos en clúster y revisar nuevamente la fruta que tenga dedos con defectos, malformaciones o señales de estropeo que desmejoren su presentación (Gonzabay, 2017; Lobo & Montero-Calderón, 2020). Los clúster son transferidos a los tanques de lavado de doce a veinte minutos donde se produce el desleche de la fruta, eliminando además residuos de suciedad y agroquímicos presentes en las frutas así como las ceras naturales de la cáscara (Ramírez et al., 2011). Después del desleche, se coloca sobre una balanza una bandeja especial diseñada para esta actividad y sobre ella se depositan los clústeres necesarios hasta completar el peso solicitado por caja.

Gonzabay (2017) y Lobo & Montero-Calderón, (2020) mencionan que el banano es muy susceptible al crecimiento microbiano durante el transporte a los procesos de maduración posteriores, adquiriendo importancia el hecho de limpiar los cortes usando diferentes fungicidas según el país productor. Específicamente en Ecuador se utiliza una solución de ácido cítrico que reduce la oxidación de las coronas, en el caso de la producción de banano con certificación orgánica se recomienda la aplicación de extracto de pomelo debido a que desarrolla películas de embalaje antimicrobiana (Dilucia, Lacivita, Conte, & Nobile, 2020) o 400 gramos por 20 litros de agua de sulfato de Aluminio (Lobo & Montero-Calderón, 2020).

Posterior a la aplicación del fungicida se procede a sellar cada dedo del clúster de banano con etiquetas distintivas de la marca registrada para que finalmente se empaque introduciéndolos en cajas de cartón corrugado compuestas por “fondo” y “tapa”. En la caja se recubre con plástico



la fruta y se la sitúa en tres filas, en el fondo, se ubica la fruta pequeña seguido por la fruta mediana y finalmente la fruta grande en la parte superior (Gonzabay, 2017; Lobo & Montero-Calderón, 2020). Luego de que esté armada la caja se la coloca en pallets para su transporte y exportación (Ana Vallejo, 2015).

2.4.2 *Uso del agua en la actividad bananera.*

Las actividades del sector agrícola tienen especial incidencia sobre el medio ambiente y en particular sobre el recurso agua, ya que se ve afectado tanto en cantidad como en calidad (FLACSO, MAE, & PNUMA, 2008). La actividad bananera tiene una alta demanda de agua para riego suplementario que permite maximizar su rendimiento (Panigrahi, Thompson, Zubez, & Knox, 2021), inclusive en la planta empacadora se consumen grandes cantidades de agua en los tanques de lavado. Es por ello que se han ido desarrollando procesos de siembra y post-cosecha para preservar la calidad de la fruta de banano, además de considerar precios competitivos, la protección ambiental y su sostenibilidad (Lobo & Montero-Calderón, 2020).

La gestión de agua dentro de las plantaciones de banano es un tema importante debido a que su mala ejecución puede alterar las aguas subterráneas y superficiales ya sea en términos de calidad o cantidad. La mayoría de veces esto sucede mediante la construcción de pozos, bombas de irrigación, sistemas de canales y drenaje superficial, teniendo como consecuencia un desequilibrio hídrico (Secretaría del Foro Mundial Bananero, 2017).

Mencionando la etapa de post-cosecha que se lleva a cabo en la planta empacadora, el consumo de agua depende del proceso y de la fuente de agua utilizada, siendo los procesos de lavado y desleche los consumos de agua más significativos (Ana Vallejo, 2015).



En el caso de la finca “San Felipe” el agua utilizada en el proceso de siembra y cosecha de banano proviene del canal de la junta parroquial de Cañaquemada proveniente del río Jubones, por otra parte, en la planta empacadora, la fuente de agua para ejecutar los procesos de empaque proviene de un pozo artificial cercano a la planta empacadora.

2.4.3 Finca bananera San Felipe.

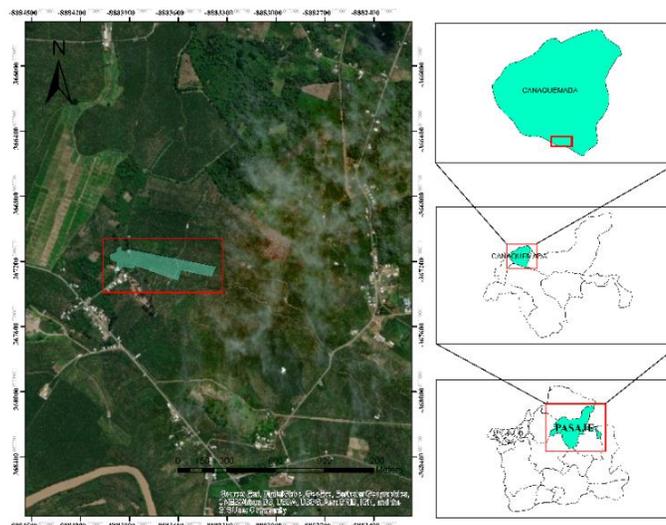
Como zona de producción bananera se encuentra la finca San Felipe, misma que produce desde el año 2005 hasta la actualidad. Dispone de 6,18 hectáreas de banano de variedad Cavendish con certificación orgánica Ceres y Global Gap (Vega, 2018) para su exportación.

Tal y como se muestra en la Figura 4 se encuentra ubicada en el cantón Pasaje, provincia de El Oro con latitud 632717.79 m E y 9635577.84 m S de longitud, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica Jubones (DHJ) (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

Al encontrarse en la zona litoral del Ecuador posee de un privilegiado clima tropical megatérmico seco (TMS) con temperaturas que varían entre los 20 °C y 35 °C cuya precipitación fluctúa entre los 500 y 1.250 mm de precipitación total anual, siendo estas condiciones favorecedoras para la actividad agrícola reflejándose en la calidad del producto (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pasaje, 2015).

Figura 4

Ubicación geográfica de la finca bananera San Felipe



Nota. Imagen satelital tomada de ArcMap. Fuente: Autores, 2021.

2.4.4 Agua residual en bananeras

Se refiere a la variación de las características iniciales de un cuerpo de agua luego de su uso en actividades como la agricultura, industria, comercio u otra índole que requieren de un tratamiento antes de su vertimiento en el cuerpo receptor (Victorero, 2015)

La carga contaminante emitida a los cuerpos receptos representan un impacto potencial al ecosistema y al ser humano. Por tal motivo reducir su fuente o mitigar su impacto es imprescindible para la sostenibilidad del recurso hídrico.

La principal fuente de contaminación hídrica en el sector bananero resulta de la utilización de productos como plaguicidas, los cuales son imprescindibles para esta industria ya que se emplean para proteger a la semilla y raíces de parásitos, hongos y nematodos (Victorero, 2015). El látex y los detergentes involucrados en el proceso de planta empacadora son otros contaminantes importantes que se desarrollan en el sector bananero.



La norma técnica ecuatoriana establece que toda agua contaminada de la industria bananera debe ir dirigida a un sistema de tratamiento conformado específicamente por filtros, trampas de grasa y algún otro sistema dispuesto por el gestor ambiental, sin embargo, muchas fincas productoras de banano no cuentan con un sistema de tratamiento o por el contrario, lo tienen pero el mantenimiento que se les brinda es escaso por lo que con el paso del tiempo estos contaminantes son arrastrados por la lluvia a cuerpos de agua superficiales o subterráneos generando una degradación en la calidad del agua (Victorero, 2015).

2.4.5 Normativas nacionales referentes a la actividad bananera y el recurso hídrico

De acuerdo a la Constitución del Ecuador del 20 de octubre de 2008 en su Título II “Derechos”, Capítulo segundo “Derechos del buen vivir”, Sección primera “Agua y Alimentación”, se manifiesta que:

- Art. 12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.
- Art. 13.- “Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales”.
- Art. 73.- “El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales”.



“Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional”.

Según el “Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero” del Acuerdo Ministerial No. 245 del Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria (SESA) el 22 de agosto de 2001, y mediante reforma en el Acuerdo Ministerial No. 780 del 27 de diciembre de 2012 en su Capítulo II “De los productores bananeros”, establece que:

- Art. 17.- “El productor bananero está obligado a prevenir la contaminación de fuentes de agua y ambiente en general, evitando derrames, recogiendo recipientes vacíos y remanentes de plaguicidas. Los remanentes de plaguicidas deberán ser entregados a un gestor ambiental calificado. Las aguas utilizadas en el lavado del equipo empleado, deben ser tratadas bajo mecanismos técnicos adecuados por el gestor ambiental o por el mismo productor. Por ningún motivo estas aguas serán devueltas o depositadas directamente en fuentes naturales de agua, suelo u otros”.
- Art. 21.- “En un plazo no mayor de un año los productores bananeros están obligados a diseñar o rediseñar su planta empacadora para recoger los residuos de fungicidas (resultantes del control de pudrición de corona) del agua con látex. Los residuos de mezcla fungicida no deben ir a canales, deben ser tratados bajo mecanismos técnicos adecuados por el gestor ambiental o por el mismo productor”.
- Art. 22.- “En un plazo no mayor de un año, el productor bananero se obliga a instalar filtros (trampas de sólidos y látex) para retener los desechos arrastrados por el agua usada en la empacadora y así asegurar que el agua descargada sea la más limpia posible. Colocarán además sistemas de cloración o purificación del agua para consumo humano y tratamiento de la fruta”.



En su Capítulo VI “De las sanciones”, expresa lo siguiente:

- Art. 71. – “Están sometidas a las leyes de la República del Ecuador y serán juzgados por las autoridades y jueces competentes las acciones y omisiones que deben tenerse por infracciones cometidas por el incumplimiento de las normas contempladas en el presente reglamento”.
- Art. 72. – “Administración de procedimientos. - El control de la gestión ambiental en las actividades bananeras corresponde al Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del SESA”.

De acuerdo al Anexo 1 del Libro VI “De la Calidad Ambiental” del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua”, reformado mediante el Acuerdo Ministerial 097-A del 04 de noviembre del 2015, en la Tabla 9 “Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce” establece el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) con un límite máximo permisible de 100 mg/l.

2.5 Definiciones

2.5.1 *Inventario de huella de agua directa*

Según la ISO 14046 (2014) es el “inventario de la huella de agua que considera las entradas y los resultados que derivan de las actividades dentro de los límites establecidos por la organización”.

2.5.2 *Huella de Agua*

“Métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua”(ISO 14046, 2014).



2.5.3 Evaluación de la Huella de Agua

De igual forma, la ISO 14046 define a la evaluación de la huella de agua como “la recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua utilizada o afectada por un producto, proceso u organización”(ISO 14046, 2014), implicando la realización de: un inventario de las entradas y salidas de agua a nivel de producto, sistema y organización, la interpretación de sus resultados y la evaluación de los impactos provocados por el uso del agua (Montserrat, 2014).

2.5.4 Uso directo del agua

“Cantidad de agua utilizada para la operatividad de la organización en cuestión” (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a).

2.5.5 Uso indirecto del agua

“Consumo de agua para la elaboración de un producto o servicio que es utilizado dentro de las actividades de producción pero que no ha sido elaborado dentro de las instalaciones del mismo” (Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, 2016a).

2.5.6 Uso consuntivo del agua

Según la FAO se define al uso consuntivo del agua como el agua que se extrae principalmente de ríos, lagos o aguas subterráneas y buena parte no regresa al sistema, sino que es consumida por los cultivos debido a factores como por ejemplo evapotranspiración, transpiración, incorporación a productos, entre otros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

“Agua consumida para la elaboración de diferentes productos, procesos o servicios teniendo en cuenta que el volumen de entrada y salida difieren, es decir el volumen de salida es menor al de entrada” (González et al., 2013).



2.5.7 *Uso degradativo del agua*

“Se alude a la alteración negativa de la calidad del agua tomando en consideración sus características iniciales” (Gonzalez et al., 2013).

2.5.8 *Cuenca hidrográfica*

“Área natural en la que el agua proveniente de las precipitaciones forma un curso principal de agua” (Ramakrishna, 1997) .

2.5.9 *Uso de agua por actividades humanas*

“Cualquier extracción o liberación de agua, o su uso dentro de la misma cuenca, que afecte la cantidad de agua y/o su calidad” (Ana Vallejo et al., 2017).

2.5.10 *Evapotranspiración*

Hace referencia a la combinación de dos procesos en los que se pierde agua a través de la evaporación y la transpiración producida por la vegetación (Chérrez, 2015).

2.5.11 *Categorías de impacto*

Clases que representan aspectos ambientales significativos y que tienen que ver con diferentes actividades relacionadas al uso de agua (Ana Vallejo, 2015).

2.5.12 *Calidad del agua*

Desde el punto de vista funcional se define como la capacidad intrínseca del agua para cualquier tipo de uso; y desde el punto de vista ambiental como las características que debe tener un cuerpo de agua para que se dé un ecosistema equilibrado y para que cumpla con ciertos requerimientos de calidad (Ministerio del Medio Ambiente (MAE), 2015).



2.5.13 Eco-toxicidad en agua dulce

Diversas actividades del sector agrícola liberan sustancias químicas al agua dulce ocasionando efectos tóxicos en los ecosistemas, conocidos como ecotoxicidad (Ana Vallejo et al., 2017).

2.5.14 Eutrofización en agua dulce

Aumento en la generación de materia orgánica como producto de la alta actividad microbiana que crea variaciones nocivas en las características químicas y biológicas de un cuerpo de agua (Uguña, s. f.).

2.5.15 Escasez del agua

La disponibilidad del agua es definida como la cantidad total de agua potencialmente disponible en una cuenca para el uso por parte del ser humano y del ecosistema (Ana Vallejo, 2015), de esta forma, la escasez se da cuando la demanda del ser humano es mayor a las cantidades de agua o bien por el uso excesivo del mismo (Ana Vallejo, 2015).

2.5.16 Unidad Funcional

“Indicador cuantitativo del rendimiento del sistema productivo, proceso u organización para uso como unidad de referencia” (ISO 14046, 2014).



CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 FASE I: Desarrollo del inventario de la Huella de Agua por uso directo en la finca

Previo al desarrollo del inventario de huella de agua fue necesario dimensionar el estudio en el ámbito geográfico, operacional y temporal. De esta forma, se realizó la evaluación de la huella de agua en la finca “San Felipe” utilizando datos correspondientes al año 2020, incluyendo las etapas de producción que realizaron un uso directo del agua, considerando las etapas de la “cuna a la puerta”, es decir, etapa de “siembra y cosecha” hasta su procesamiento en la “planta empacadora”. De esta forma, se obtuvieron datos correspondientes a las 40 semanas de trabajo que realizó el productor durante el año de estudio.

3.1.1 *Recolección de datos*

3.1.1.1 **Etapas de siembra y cosecha del banano.**

Entre los primeros datos a conseguir se encuentran los relacionados a la fuente de agua para el cultivo en la zona de estudio, aclarando que la metodología propuesta sólo toma en cuenta a la evapotranspiración como el agua que ha sido consumida directamente por el cultivo (Zarate & Kuiper, 2013). Dicha afirmación va acorde al concepto del consumo de agua del cultivo o requerimiento hídrico del cultivo (CWU) que menciona Ovalle (2012) indicando que para un correcto desarrollo de la planta es necesario suministrar las pérdidas provocadas por la evapotranspiración, que traducido a términos numéricos, el consumo de agua por parte del cultivo es equivalente a la evapotranspiración del mismo (ETc).

Otra variable importante que se determinó durante la etapa de siembra y cosecha fue la aplicación de fertilizantes y agroquímicos. En la finca San Felipe se utilizaron el biocompost, sulfato de potasio y quelador gold como sustancias fertilizadoras y sirvieron para determinar la



procedencia del Fósforo empleado en la finca, variable que permitió calcular el impacto por eutrofización.

De igual forma se recolectaron diferentes datos de entrada como variables meteorológicas y datos específicos del suelo y cultivo, que se usaron para el cálculo del volumen de agua consumido durante la etapa de siembra y cosecha (VC_{SYC}), el cual es facilitado por el software CROPWAT 8.0.; en el Cuadro 1 se detalla la forma en la que se obtuvieron los datos.

Cuadro 1

Datos de entrada para el cálculo de la evapotranspiración en la finca mediante CROPWAT 8.0

Grupo	Variable	Fuente/Modo de obtención
Variables meteorológicas	Precipitación Mensual (mm)	La precipitación mensual se obtuvo mediante un pluviómetro cercano a la finca (pista de aviación ubicada en Tres Cerros, Pasaje) en donde se recolectó la variable datada en el año 2020 (Anexo 13).
	Temperatura mínima	Las variables como temperatura, humedad y velocidad del viento fueron obtenidas a través del visor de acceso del proyecto Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) propuesto por la NASA, el cual contiene parámetros relacionados con la meteorología y la energía solar desarrollados para valorar y plantear sistemas de energía renovable (NASA, s. f.).
	Temperatura máxima	
	Humedad promedio mensual (%)	
	Insolación (horas)	En cuanto a la insolación, la página Weather Spark (Clima promedio en Pasaje, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark, s. f.) calcula las horas sol mediante fórmulas astronómicas proporcionadas por Jean Meeus en su libro Astronomical Algorithms.
Velocidad promedio del viento (m/s)		



Datos específicos del cultivo	Coeficiente del cultivo (Kc) Profundidad radicular (m) Agotamiento crítico Respuesta al rendimiento (Ky) Altura del cultivo (m)	Obtenido mediante el manual 56 propuesto por la FAO denominado “Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”
Datos específicos del suelo de la finca “San Felipe”	Tipo de Suelo	<p>Para estas variables se empleó la metodología “tomas de muestras alteradas” basada en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 686 1982-05 Mecánica de Suelos. Toma de muestras Alteradas.</p> <p>Consiste en la recolección de varias calicatas (submuestras) a lo largo de la finca. La perforación se realiza a una profundidad de 30 cm en forma de V. Posteriormente se realiza el cuarteo de la submuestra, seleccionando una submuestra representativa. Este procedimiento se realizó en 30 puntos a lo largo de la finca. Finalmente se mezclaron la submuestras para obtener una muestra compuesta para su posterior análisis en el laboratorio.</p> <p>Luego de la recolección se hizo el envío al laboratorio de la INIAP “Santa Catalina”, el cual dio como resultado el tipo de suelo, Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) y los porcentajes de Arena-Limo-Arcilla. Las tomas de muestras se realizaron el 21 de febrero de 2021.</p>



Humedad del suelo disponible (mm/m)	Obtenido mediante el modelo SPAW desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola (ARS), principal agencia de investigación científica interna del departamento de agricultura de EE.UU. (USDA) en su interfaz de características de agua del suelo. Se ingresa el porcentaje de arena y arcilla de las muestras analizadas y el software nos proporciona el agua disponible en cm/cm (-{Anexo 5}).
Tasa de infiltración precipitación (mm/día)	La interfaz del modelo SPAW proporciona la conductividad hidráulica de saturación en mm/hora, según los porcentajes de arena y arcilla introducidos en el programa (-{Anexo 5}).
Agotamiento inicial de humedad del suelo (% de ADT).	Obtenido de la diferencia de la Capacidad de Campo (CC) menos el Punto de Marchitez Permanente (PMP).
Profundidad radicular máxima (cm)	Obtenido mediante el manual 56 propuesto por la FAO denominado "Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos" (Villegas & Torres, 1977).

Nota. Fuente: Autores, 2021.

3.1.1.2 Etapa del banano en la planta empacadora.

Una vez cosechado el banano, entraría al proceso de la planta empacadora, en la cual es necesario recolectar ciertos valores que van a ser esenciales para la obtención de la huella de agua; dichos valores se refieren al volumen total de agua de entrada y salida en la planta empacadora, además de la cantidad de materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)) en el agua vertida.



Cuadro 2

Obtención de los volúmenes de entrada y salida en la planta empacadora

Información Detallada		Metodología	Observaciones
Volumen total de agua de entrada	Relleno de tinas	Medición del volumen de las tinas y el tanque de lavado	El volumen es el resultado del producto del largo, ancho y altura de las tinas de lavado.
	Lavado de cuellos de monja		
	Entrada de agua en las tinas durante el embarque	Método Volumétrico (Alvarado E., 2017)	El volumen total es el resultado del producto entre el caudal de salida por orificio (Método volumétrico), el número de orificios y el tiempo de embarque en segundos.
Volumen total de agua de salida	Agua residual (canales)	Método Sección – Velocidad (Alvarado E., 2017)	La sección se calcula mediante el producto de la altura del agua dentro del canal con el ancho del mismo. Para la velocidad se emplea un flotador, registrando el tiempo que transcurre en ir dicho flotador del punto A al punto B. Siendo la distancia A-B conocida. El caudal es el producto de la velocidad por la sección transversal previamente calculada. Se calcula el volumen, relacionando el caudal de salida con el tiempo de embarque.
	Lavado de racimos	Método gravimétrico	Las variables a tomar en cuenta son: caudal de salida de la manguera a presión, tiempo de lavado por racimo y el número total de racimos cortados. Finalmente, el volumen consumido es el producto de las variables mencionadas.
	Vaciado de tinas	Medición del volumen de tinas	El volumen es el resultado del producto del largo, ancho y altura de las tinas de lavado.

Nota. Fuente: Autores, 2021.



La forma en la que se obtuvieron los volúmenes de entrada y salida de la planta empacadora están expuestos en el Cuadro 2 , y serán de referencia para determinar indicadores de desempeño interno, así como el impacto por escasez de agua dentro de la finca; por otra parte, el Cuadro 3 resume la metodología con la que se obtuvo la cantidad de materia orgánica (DBO_5) en el agua vertida, el cual será útil para el cálculo del impacto por Eutrofización dentro de la planta empacadora.

Cuadro 3

Metodología de obtención del contenido de DBO_5 en el agua vertida

Información detallada	Metodología	Observaciones
DBO en el agua vertida	Análisis en laboratorio	La recolección de muestras se realizó según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:1998 el 25 de febrero y 4 de marzo del 2021. Conservación de la muestra según lo establece la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013. El análisis se realizó en un laboratorio acreditado, específicamente en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, Aguas y Afines (LABOLAB Cía. Ltda.) mediante Colorimetría.

Nota. Fuente: Autores, 2021.

3.2 Fase II: Establecimiento de un indicador interno de desempeño ambiental

Se hace indispensable durante el desarrollo de la huella de agua medir los efectos que tiene la producción del banano en la cantidad del agua (consumo o uso consuntivo) y la calidad del mismo (uso degradativo). En esta fase de la metodología se tuvo como resultado un indicador interno que relaciona sus resultados a los datos de producción de banano, teniendo la finalidad de evaluar el desempeño de la finca permitiendo su comparación con otros estudios similares.



3.2.1 *Cuantificación del uso consuntivo o consumo de agua*

El uso consuntivo o consumo del agua se refiere al agua que no vuelve al cauce donde fue captada y se calcula mediante la suma del consumo de agua en la finca (evapotranspiración del cultivo) y el consumo de agua en la planta empacadora durante el año de estudio (Ana Vallejo, 2015).

Según Ana Vallejo et al. (2017) la Ecuación (1) muestra el volumen total consumido tanto en la siembra y cosecha como en la planta empacadora; la Ecuación (2) expresa la equivalencia del consumo de agua en la etapa de siembra y cosecha con la evapotranspiración del cultivo.

$$\text{Volumen Consumido Total } (VC_T) = VC_{SyC} + VC_{PE} \quad (1)$$

$$\text{Volumen Consumido Siembra y Cosecha } (VC_{SyC}) = \text{Evapotranspiración} \quad (2)$$

Para el volumen consumido en la finca (VC_{SyC}) se empleó la evapotranspiración de las plantas, calculada mediante el software CROPWAT 8.0 de la FAO, utilizando los datos especificados en el Cuadro 1.

CROPWAT 8.0 es un programa informático desarrollado por la FAO empleando la metodología de Penman-Monteith en el cual se puede realizar cálculos como los requerimientos del agua y de riego, y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, además, permite la modelación de calendarios de riego bajo condiciones específicas. Para estos cálculos el software requiere de datos de entrada referentes al suelo, clima y cultivo detallados en el Cuadro 1 (Caicedo, Balmaseda, & Proaño, 2015).



En cuanto al volumen consumido de agua en la planta empacadora (VC_{PE}), Ana Vallejo et al., (2017) lo determina mediante la diferencia entre el volumen de agua de entrada a la planta empacadora y el volumen de agua de salida como se refleja en la Ecuación (3).

$$Volumen\ consumido\ planta\ empacadora\ (VC_{PE}) = V_{ENTRADA} - V_{SALIDA} \quad (3)$$

Los volúmenes de entrada y salida fueron calculados siguiendo las metodologías detalladas en el Cuadro 2.

3.2.2 *Cuantificación del uso degradativo*

El uso degradativo corresponde al agua que regresa a la misma cuenca pero que implica un cambio en la calidad de la misma (Ana Vallejo, 2015), y se obtiene mediante el cálculo del agua vertida en la planta empacadora.

Hay que tener en cuenta que existen dos salidas de agua en la planta empacadora: agua que sale directamente a un canal proveniente de las tinas de lavado y el agua que sale proveniente del lavado de las coronas, este último se cuantifica registrando el total de tanques (siendo tanques de fumigación adaptados estrictamente para este proceso) empleados durante el embarque (teniendo cada uno un volumen total de 20 litros). Para calcular el agua proveniente de las tinas de lavado se necesitó conocer el caudal de salida, para ello se empleó el método sección-velocidad utilizando un flotador ya especificado en el Cuadro 2. La fórmula para la medición del caudal es la descrita en la Ecuación (4) obtenida de Valencia (2014):

$$Caudal\ salida\ tinas = A_{Seccional} * Velocidad\ de\ recorrido \quad (4)$$

Siendo $A_{Seccional}$ el área seccional que ocupa el vertido del agua de las tinas de lavado por el canal de salida, su cálculo se realiza mediante la multiplicación del ancho del canal por la altura del flujo de agua, y la *Velocidad de recorrido* es el tiempo que transcurre en pasar el flotador a lo largo de una distancia conocida.



Esta fórmula dio como resultado un caudal en L/s, una vez conocido dicho caudal se procedió a estimar el volumen vertido multiplicando el caudal por el tiempo de embarque ($T_{embarque}$) en la planta empacadora tal y como muestra la ecuación (5).

$$\text{Volumen de agua vertida} = \text{Caudal salida tinas} * T_{embarque} \quad (5)$$

Para dicho cálculo fue necesario contar con los registros del propietario de la finca referentes a las horas de inicio y fin del embarque. Una vez conocido el tiempo de embarque y en conjunto al caudal de salida, se realizó una tabla de volúmenes de salida de agua a nivel mensual, teniendo como resultado el volumen de salida correspondiente al año 2020.

3.2.3 *Relación de los diferentes usos con la producción de banano*

Para facilitar una futura comparación entre los resultados obtenidos con investigaciones similares se requirió de una unidad de referencia, expresada como Unidad Funcional (UF), donde se pronunciaron los resultados de la huella de agua. La UF, fue expresada como la cantidad de cajas de banano de exportación de 18,14 Kg producidas en la finca bananera en el año de estudio. De esta forma relacionando el uso consuntivo y degradativo con dicha UF, obtuvimos el indicador interno.

La fórmula para la obtención del indicador interno para el uso consuntivo es la siguiente:

$$\text{Indicador interno consuntivo} = \frac{VC_t}{UF} \quad (6)$$

Mientras que la fórmula para el indicador interno para el uso degradativo es:

$$\text{Indicador interno degradativo} = \frac{VD_t}{UF} \quad (7)$$

Donde:

VC_t : Volumen consumido total en la etapa de siembra y cosecha ($m^3/\text{año/caja}$).



VD_t : Volumen total de agua degradada (m^3 /año/caja).

UF: Producción de cajas de banano de 18,14 Kg en el año 2020.

El resultado del indicador para el uso consuntivo se interpreta como el volumen consumido en m^3 para producir una caja de banano de exportación de 18,14 Kg en el año 2020, mientras que el indicador para el uso degradativo se interpreta como el volumen de agua en m^3 que se ha degradado para producir una caja de banano exportación de 18,14 Kg en el 2020. Las magnitudes de ambos indicadores fueron definidas como el Flujo de Referencia (FR) del estudio expresado como [$m^3/1$ caja de banano de exportación 18,14 Kg en el año 2020].

3.3 Fase III: Evaluación de impactos por el uso de agua en la finca

3.3.1 Metodologías para el cálculo de las categorías de impacto

En el contexto de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), los impactos ambientales relacionados al uso del agua en los procesos de siembra, cosecha y planta empacadora de banano, se definen como categorías de impacto. En los cuales se estableció su alcance, así como la metodología empleada. Así mismo, se empleó un indicador para evaluar la magnitud y significancia de los impactos, teniendo como resultado el perfil de huella de agua.

Las categorías de impacto más importantes para el sector bananero son: toxicidad humana, ecotoxicidad, eutrofización y escasez, con base a la recomendación de expertos en el sector bananero, además de ser los impactos ambientales más significativos dentro de las plantas empacadoras (Ana Vallejo, 2015).

Luego de delimitar las categorías de impacto hay que definir el alcance del estudio, lo que va a indicar el tipo de metodología a aplicar en cada impacto. Dichas metodologías se pueden clasificar en metodologías de punto intermedio o de punto final (Rodríguez, 2014). Para el proyecto se emplearon métodos que tienen un alcance de punto medio, debido a que éstos cuentan



con mayor validez científica y su frecuencia de uso es mayor (Ana Vallejo et al., 2017). De igual forma, este alcance se halla más cercano a la intervención ambiental, proporcionando una información más detallada con respecto a de qué manera y en qué punto se afecta al medio ambiente (Anton Vallejo, 2004).

Una vez establecido el alcance, se evaluó de manera cuantitativa los impactos ambientales (categorías de impacto) de la huella de agua. Aquí entra en contexto la cantidad de emisión de la sustancia o consumo del recurso i (m_i) y el factor de caracterización según la categoría de impacto y la sustancia o recurso i ($CF_{\text{categoría}}$), según como se muestra en la Ecuación (8) (Ana Vallejo, 2015).

$$\text{Impacto}_{\text{categoría}} = \sum_i m_i * CF_{\text{categoría}} \quad (8)$$

3.3.2 *Categorías de impacto: degradación de la calidad del agua*

3.3.2.1 **Cuantificación de la ecotoxicidad.**

Se empleó la metodología USEtox el cual es un modelo combinado de caja multimedia y modelo de evaluación de impactos el mismo que determina el Facto de Caracterización (FC) para la ecotoxicidad en agua dulce (UNEP-SETAC, 2008). El FC resulta de la multiplicación entre el factor de exposición, efecto y de destino cuantificadas en base a matrices que relacionan los compuestos químicos y las diferentes vías de entradas en el ecosistema (A. Vallejo, 2015 ; UNEP-SETAC, 2008).

Para el caso de la ecotoxicidad establece el FC para toda sustancia química vertida al agua que genera una disminución en la fauna acuática. Los resultados proporcionados vendrán establecidos en Unidades Comparativas Tóxicas en el ecosistema o CTU_e (Ana Vallejo et al., 2017).



La metodología USEtox establece las emisiones químicas en términos de impacto en base a variables de entrada como los compartimentos y escenarios de exposición, mismos que vienen preestablecidos. Los datos de entrada para las sustancias vienen solicitados por el usuario. Para este proyecto, las sustancias empleadas en la finca bananera fueron: Tarssus, Ausoil y Timorex Gold, en donde sus ingredientes activos son Aldehído Cinámico, Malaleuca Alternifolia respectivamente, siendo este último el ingrediente activo para las sustancias dos y tres.

Cabe destacar que esta metodología emplea un alcance de punto medio (UNEP-SETAC, 2008) acorde a lo establecido en el estudio.

La fórmula para el cálculo de la ecotoxicidad y la cantidad de la masa del ingrediente activo fueron tomadas de Ana Vallejo et al., (2017) y se detallan a continuación:

$$Masa\ Ingrediente\ activo\ (M_{x,i}) = Aplicación\ (L) \times \frac{Ingrediente\ Activo\ (\%)}{100} \times \frac{1\ Kg}{1\ L} \quad (9)$$

$$I_{ecotox} = \sum_i \sum_x M_{x,i} \times FC_{x,i} \quad (10)$$

Donde:

I_{ecotox}: puntuación de impacto (PAF. m³.dia o CTUe)

FC: factor de caracterización de una sustancia x liberada al agua i (PAF. m³. día/ kg_{emisión} x)

M_{x,i}: cantidad de emisión de la sustancia x al agua i (kg_{emisión} x)



3.3.2.2 Cuantificación de la eutrofización.

El desgaste a los cuerpos de agua dulce es uno de los principales factores por el que se ve influenciado la actividad antropogénica. La liberación de macronutrientes como el fósforo y nitrógeno contenidos en los fertilizantes empleados para la producción del banano, así como los liberados en los procesos naturales de descomposición de las hojas y tallos de banano, representan un problema constante que causan alteraciones a la biota acuática como el incremento de los nutrientes, disminución del oxígeno, proliferación de algas y finalmente la eutrofización (Goedkoop et al., 2013). La aplicación de este impacto resulta imprescindible para el estudio, debido a que la descarga de agua del proceso planta empacadora converge en el efluente del río Jubones.

Para este impacto se utilizó la metodología ReCiPe la cual se basa en relacionar la cantidad de fósforo vertido (como componente regulador) con el incremento de la biomasa de las algas. Este método emplea la evaluación del ACV con un enfoque del modelo de relaciones Causa-Efecto para apoyar los negocios ambientales, denominado CARMEN por sus siglas en inglés, para calcular los FC's a nivel de punto medio y punto final (A. Vallejo, 2015; Goedkoop et al., 2013). Los FC's fueron obtenidos de la página oficial de la metodología ReCiPe para la sustancia Fósforo vertido en el compartimento agua y suelo.

El impacto por eutrofización se calculó mediante las ecuaciones obtenidas de Ana Vallejo et al., (2017). Asimismo, es importante mencionar lo expuesto por Orozco (2005) referente a aplicación de la fórmula de la masa del Fósforo, ya que especifica que existe una relación de 100/1 entre la DBO y el Fosforo (P) haciendo posible el cálculo del impacto.



Dichas ecuaciones se encuentran reflejadas a continuación:

$$m_{P \text{ agua residual}} = DBO \times \frac{1}{100} \times VD_t \quad (11)$$

$$m_{P \text{ Suelo}} = \text{Hectareas}(ha) \times \text{Aplicación} \left(\frac{kg}{ha} \right) \times \frac{\text{Cantidad de Fósforo (\%)}}{100} \quad (12)$$

$$I_{eutrof.suelo} = m_{P \text{ Suelo}} \times FC_{es} \quad (13)$$

$$I_{eutrof.agua residual} = m_{P \text{ total}} \times FC_{ea} \quad (14)$$

$$I_{eutrof.total} = I_{eutrof.suelo} + I_{eutrof.agua residual} \quad (15)$$

Donde:

$m_{P \text{ agua residual}}$: cantidad de Fósforo emitido por las aguas residuales (kg P total)

$m_{P \text{ suelo}}$: cantidad de Fósforo emitido en el suelo (kg P total)

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno (kg m³)

VD_T: uso de agua degradativo total (m³)

$I_{eutrof, total}$: puntuación de impacto (Kg Pe)

FC_{ea}: factor de caracterización por eutrofización de agua dulce (kg Pe / Kg P_{total})

FC_{es}: factor de caracterización por eutrofización en el suelo (kg Pe / Kg P_{total})

3.3.3 Categorías de impacto: consumo del agua

3.3.3.1 Cuantificación de la escasez del agua.

Para evaluar la Huella de Agua por escasez se empleó la metodología AWARE desarrollado por WULCA, un grupo de trabajo fundado bajo los auspicios de la iniciativa de ciclo de vida de UNEP/SETAC («WULCA», s. f.), dicho método aplica ciertos factores de corrección al “uso de agua” para diferentes regiones en base a la demanda y disponibilidad del sitio. En otras



palabras, este método pondera el uso de agua en función de la abundancia-escasez y uso intensivo-moderado del recurso hídrico (Albertí, Carbonell, Fábrega, & Juliá, 2017).

AWARE representa el agua restante por hectárea dentro de una cuenca hidrográfica una vez se hayan satisfecho las necesidades por parte del ser humano y del ecosistema acuático, además, se evalúa para ambos el potencial de privación del agua, suponiendo que a menor agua disponible por área existe mayor probabilidad de que otro usuario no tenga acceso a ella (Falabella, Garro, Korb, Minaglia, & Tuninetti, 2016). En este método se toma el volumen consumido total durante el año o período de estudio y se multiplica por el respectivo factor de caracterización (FC) correspondiente a la región de estudio, según se muestra en la Ecuación (16). El FC es importado a una capa de Google Earth para su visualización por regiones (Falabella et al., 2016), el propio grupo WULCA facilita esta capa en su página web.

$$Impacto_{Escasez} = VC_T * FC_{región} \quad (16)$$

Donde:

Impacto_{Escasez}: puntuación de impacto (m³ equivalentes de agua)

VC_T: volumen consumido total (m³)

FC_{región}: factor de caracterización de escasez por región (m³e/m³_{región})



3.4 Fase IV: Proponer una alternativa potencialmente eficiente que reduzca la huella de agua por uso directo en la finca San Felipe

3.4.1 Revisión de literatura, consulta y estudio de las diferentes alternativas para la reducción de la huella de agua.

La reducción de la huella de agua es sinónimo de un menor consumo de agua, además de evitar o minimizar la carga contaminante en ella. De esta forma, en base a la literatura y a los resultados de la huella de agua (perfil de huella de agua) se buscaron alternativas que minimicen el impacto generado ya sea por escasez, eutrofización o ecotoxicidad presentes en la finca San Felipe.

Algunas de las medidas de reducción de la huella de agua para cada categoría de impacto se encuentran aglomeradas en el Cuadro 4, siendo éstas las recomendadas por la comunidad científica para implementarse en las industrias bananeras (Secretaría del Foro Mundial Bananero, 2017).

**Cuadro 4**

Posibles medidas de reducción de la huella de agua por escasez, eutrofización, toxicidad humana y ecotoxicidad en la finca San Felipe.

	Medida	Especificaciones
Reducción de impacto por escasez	Recircular el agua el mayor tiempo posible	Mediante un sistema de recirculación del agua de lavado con frecuencia a cambio.
	Reuso del agua residual en otros procesos	Específicamente para procesos que requieran una menor calidad del agua.
	Instalación de instrumentos de medición de agua de entrada y salida	Para monitorear el caudal y obtener un uso más eficiente del recurso.
	Aprovechamiento de agua lluvia	Mediante un reservorio que permita la recolección de agua lluvia para disminuir el consumo de agua por otras fuentes.
	Determinación de las necesidades de riego	Para que mediante diferentes técnicas se pueda conocer las necesidades hídricas del cultivo y el suelo.
Reducción por toxicidad humana, ecotoxicidad y eutrofización	Uso de productos de limpieza biodegradables	Especialmente productos que no contengan fosfatos y que sean de fácil biodegradabilidad.
	Planta de tratamiento y recirculación de aguas residuales	Permite disminuir la carga contaminante.
	Uso racional de fertilizantes	Se recomienda aplicar productos de manera dirigida para de este modo conocer el volumen y tiempo de exposición.
	No tirar residuos orgánicos al agua	De esta forma se podrá disminuir o evitar el impacto por eutrofización en los cuerpos de agua.

Nota. Las medidas planteadas han sido previamente consultadas con el propietario de la finca para especificar cuáles estaría dispuesto a implementar a futuro. Fuente: Ana Vallejo et al., (2017).

En base al perfil de huella de agua, la propuesta a desarrollar en el presente estudio fue enfocado a minimizar el mayor impacto ambiental evaluado, especificando a breves rasgos y de manera resumida las fases de su implementación.



CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase I: Inventario de la Huella de Agua por uso directo

En la Tabla 1 se expresan los volúmenes de entrada y salida en la planta empacadora para el año 2020 los mismos que corresponden a los meses comprendidos entre marzo a diciembre, tiempo en el que se llevaron a cabo 40 procesos de embarque según el propietario de la finca.

Primero se realizó una estimación de estas variables de forma semanal y mensual. El resultado obtenido para el volumen de entrada durante dicho año corresponde a la suma de agua del relleno de tinajas, lavado de cuellos de monja y el emitido por las flautas durante el tiempo de embarque y multiplicado por las 40 semanas trabajadas resultando 4904,29 m³ de agua. De igual manera, el volumen de salida corresponde a la suma del agua que sale por las canaletas y el lavado de manos del banano, dando como resultado 4457,1 m³ de agua.

En cuanto a la etapa de siembra y cosecha se obtuvo como resultado el volumen de agua consumido en la finca (evapotranspiración) mediante el software CROPWAT 8.0 desarrollado por la FAO adquiriendo el valor de 69901,98 m³.

**Tabla 1***Volúmenes totales en las etapas planta empacadora y siembra y cosecha*

Información General		Información detallada	Volumen consumido en un embarque (m ³)	Volumen consumido al año (m ³)
Etapa planta empacadora	Volumen total de agua de entrada	Relleno de tinas	25,600	1024
		Entrada de agua en las tinas durante el embarque (flautas)	96,28	3851,20
		Lavado de cuellos de monja	0,727	29,08
		Total	122,61	4904,29
	Volumen total de agua de salida	Agua que sale por canales	85,25	3409,95
		Lavado de manos de banano	0,578	23,13
		Vaciado de tinas	25,6	1024
		Total	111,426	4457,1
Etapa de siembra y cosecha	Volumen total consumido por la finca	Evapotranspiración	-	69901,98

Nota. Fuente: Autores, 2021.

Una vez obtenidos los valores del volumen de agua en la entrada y salida en los procesos de planta empacadora y siembra y cosecha se aplica la Ecuación (1) para obtener el uso consuntivo y la Ecuación (5) para calcular el uso degradativo, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Resultados del uso consuntivo y uso degradativo*

	Valor	Unidades
Uso consuntivo	70349,19	m ³ / año
Uso degradativo	4457,07	m ³ / año

Nota. Fuente: Autores, 2021.



4.2 Fase II: Indicador interno en base al uso consuntivo y degradativo

Luego de obtener el inventario de huella de agua se procedió a obtener los indicadores internos para el uso consuntivo y uso degradativo, para ello se aplicaron las ecuaciones (6) y (7). Cabe mencionar que para este cálculo se requiere del valor total de producción de banano (UF) en la finca siendo este de 9504 cajas de 18,14 Kg correspondiente para el año 2020. Los resultados de cada uso se encuentran expuestos en la

Tabla 3.

Tabla 3

Indicadores internos para el uso consuntivo y uso degradativo.

Característica	Valor	Unidades
Indicador en base al uso consuntivo	7,4	m ³ /año/caja
Indicador en base al uso degradativo	0,467	m ³ /año/caja

Nota. UF: unidad funcional definida como “9504 cajas de banano para exportación de 18,14 Kg en el año 2020”

Fuente: Autores, 2021

4.3 Fase III: Evaluación de los impactos de la Huella de Agua

El perfil de huella de agua de la finca empacadora San Felipe fue estimado para el año 2020, en el cual se calcularon los impactos potenciales por ecotoxicidad, eutrofización y escasez. Se omitió el impacto por toxicidad humana debido a que la base de datos de la metodología para punto medio USEtox para el cálculo del factor de caracterización de las sustancias utilizadas en la finca no se encuentran disponibles, por lo que no se estimó dicho impacto. Aclarando que para la fumigación se utilizan productos de carácter orgánico, que dentro de sus especificaciones indican el mínimo valor en el rango de toxicidad.



4.3.1 *Indicador de impacto por eutrofización*

Uno de los impactos evaluados durante el estudio es el impacto por eutrofización. Para su desarrollo se seleccionó la metodología ReCiPe, la cual requiere como datos de entrada la cantidad y procedencia del Fósforo tanto en la etapa de siembra y cosecha como en la planta empacadora, DBO₅, compartimento ambiental donde fue liberado y factores de caracterización (FC), para el cálculo de las masas de Fósforo liberados, así como sus indicadores de impacto correspondientes.

En la Tabla 4 se especifica la procedencia y la cantidad de Fósforo contenido en los fertilizantes aplicados en el compartimento suelo en la etapa de siembra y cosecha; para ello se requería hallar la cantidad de Fósforo (%) contenido en el abono orgánico (

Anexo 4) solicitando su análisis al Laboratorio de Análisis de Alimentos, Aguas y Afines (LABOLAB Cía. Ltda.).

**Tabla 4**

Cantidad y procedencia del Fósforo en la etapa de siembra y cosecha.

Procedencia del Fósforo	Fertilizante (kg/ha/año)	Cantidad de Fósforo en el fertilizante (%)
Biocompost	3600	0,01
Sulfato de Potasio	750	0
Quelador Gold	3	0

Nota. Fuente: Autores, 2021.

Para el cálculo del Fósforo vertido en las aguas residuales se determinó la cantidad de materia orgánica en el agua vertida, dato que se basa en el contenido de DBO₅ en el agua de salida de la planta empacadora siendo de 0,4823 Kg/m³ al año como se muestra en la Tabla 5. Este resultado se obtuvo mediante el promedio de la DBO₅ de tres muestras tomadas en el mismo punto del canal de salida (**Anexo 3**) del proceso planta empacadora. La primera muestra corresponde a la obtenida por el productor de la finca a principios del 2020, sin embargo, no se tiene registro físico de dicho estudio más que el valor guardado en una tabla de Excel por el propietario; las otras dos muestras pertenecen a las tomadas en el canal de salida de las tinas de lavado el 25 de febrero y el 4 de marzo del 2021, respectivamente. Las muestras fueron examinadas por el Laboratorio de Análisis de Alimentos, Aguas y Afines (LABOLAB Cía. Ltda.), expuestas en los Anexos 4-5.

Tabla 5

Procedencia del Fósforo en la planta empacadora

Procedencia del Fósforo	DBO ₅ (kg/m ³)	Año	Promedio (kg/m ³)
Productos aplicados a las tinas de lavado y el látex generado por los clúster de banano	0,49	2020	0,4823
	0,426	2021	
	0,531	2021	

Nota. Fuente: Autores, 2021.



Con estos datos (DBO₅ y porcentaje de P contenido en el abono orgánico) se aplicó la Ecuación (11); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para obtener la masa de Fósforo en el agua residual, de la misma forma se empleó la Ecuación (12) para hallar la masa de Fósforo presente en el suelo. Dichas masas se muestran en la Tabla 6 y permitieron el cálculo del impacto por eutrofización.

Tabla 6

Masa de Fósforo: agua residual y suelo.

Procedencia del Fósforo	Valor	Unidades
Aguas residuales (m_P agua residual)	23,56	Kg P
Suelo (m_P Suelo)	222,48	

Nota. Fuente: Autores, 2021.

Se utilizó la Ecuación (13) para obtener el impacto por eutrofización en el suelo resultando un valor de 11,24 Kg Pe y la Ecuación (14) para calcular el impacto por eutrofización del vertido de aguas residuales en el proceso de lavado de fruta obteniendo un valor de 23,566 Kg Pe. Los resultados se muestran en la Tabla 7 conjuntamente con las variables empleadas para dicho cálculo. Finalmente, se empleó la Ecuación (15) para conseguir el impacto total por eutrofización como se refleja en la Tabla 10.

Tabla 7

Factores de caracterización e impacto por eutrofización.

Procedencia del Fósforo	Masa del Fósforo	Compartimento donde fue liberado	Nombre de la sustancia	Factor de caracterización (Kg Pe/Kg emitido) ¹	Impacto por eutrofización (Kg Pe)
Biocompost	222,48	Suelo	Aplicación de abono orgánico	0,05	11,24



Vertido de Aguas Residuales	23,56	Agua	Fósforo	1	23,56
				TOTAL	34,69

Nota. Fuente: Autores, 2021.

¹ Los factores de caracterización fueron obtenidos de la base de datos de la metodología ReCiPe expuestos en (National Institute for Public Health and the Environment, 2017).

4.3.2 *Indicador de impacto por ecotoxicidad*

En cuanto al impacto por ecotoxicidad se adaptó la metodología USEtox tal como se detalla en el Capítulo III.

Primeramente, se usó la Ecuación (9) para calcular la masa de los ingredientes activos empleados en la finca, posteriormente se aplicó la Ecuación (10) y se obtuvo el valor del impacto por ecotoxicidad, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Masas por ingrediente activo e impactos por ecotoxicidad.

Producto	Ingrediente activo	Aplicación (L/año)	Ingrediente activo ¹ (%)	Factor de caracterización ² (CTUe)	Masa de ingrediente activo (Kg)	Impacto por ecotoxicidad (PAF.m ³ .día ó CTU _e)
Tarssus	Aldehído Cinámico	0,53	3%	193,32	0,0159	3,07
Ausoil	Melaleuca Alternifolia	128	23%	2960,10	42,72	213600,82
Timorex Gold	Melaleuca Alternifolia	192	22,25%	29601,00	29,44	
					Total	213603,89

Nota. Fuente: Autores, 2021.



¹ Las cantidades de ingrediente activo se obtuvieron a partir de las fichas técnicas del producto.

² Factores de caracterización extraídos de la base de datos USEtox (Rosenbaum et al., 2008).

4.3.3 Indicador de impacto por escasez

Para el impacto por escasez se recurrió a la metodología AWARE la cual brinda la ecuación (16) para su cálculo. El factor de caracterización (FC) usado fue de 0,6 m³, es decir, siendo el promedio mundial de 1 m³, la región de estudio posee más remanente de agua disponible, por unidad de superficie. El FC fue obtenido del sitio web oficial de la Organización Water Use in Life Cycle Assessment en su base de datos descargable a través de Google Earth (WULCA, 2017) para el área específica en donde se encuentra ubicada la finca bananera (Anexo 12), los valores resultantes se especifican en la Tabla 9.

Tabla 9

Datos de entrada para el impacto por escasez

Volumen Consumido Total (m ³ año)	Región	Factor de caracterización (m ³ e/ m ³ consumido)	Impacto por escasez (m ³ e)
70349,19	Finca “San Felipe”, Pasaje-Ecuador	0,6	42209,514

Nota. Fuente: Autores, 2021.

4.4 Discusión e interpretación del perfil e inventario de Huella de Agua

Para una correcta interpretación es importante aclarar que con los resultados obtenidos se accedió a identificar puntos críticos en los procesos productivos de la finca, los mismos que permitieron priorizar acciones y proponer una alternativa que los minimice. Además, a términos



generales, es difícil categorizar los impactos como altos o bajos debido a que en el contexto local no hay una normativa que fije los límites de los impactos evaluados.

Otra forma de categorizar el perfil de huella de agua evaluado, es bajo una comparación exhaustiva con varios estudios, sin embargo, se dificulta debido a que hasta la actualidad ha habido escasas investigaciones con las mismas características que las contempladas en la finca San Felipe (finca bananera situada en un clima subtropical bajo un estudio de huella de agua por uso directo en las etapas de “siembra y cosecha” y “planta empacadora”, considerando los impactos por escasez, eutrofización y ecotoxicidad, bajo los lineamientos de la norma ISO 14046:2014 utilizando como herramienta metodologías de ACV con un alcance de punto medio).

De esta forma, en la discusión del inventario y perfil de huella de agua, apartados 4.4.1 y 4.4.2, respectivamente, se detallaron casos de estudio que se puedan traslapar al proyecto realizado en la finca San Felipe, permitiendo establecer una categorización a los indicadores de impacto evaluados de manera general.

En la Tabla 10 se muestran los resultados del inventario de la Huella de Agua (uso consuntivo y uso degradativo) y el perfil de la Huella de Agua especificando el alcance del impacto, la metodología empleada, el valor resultante y el indicador de impacto.

Tabla 10

Perfil e inventario de la Huella de Agua en la finca San Felipe

		Valor	Unidad
Inventario huella de agua	Indicador del uso consuntivo	7,4	Volumen consumido en m ³ para producir una caja de banano de exportación de 18,14 Kg en el año 2020
	Indicador del uso degradativo	0,469	Volumen de agua en m ³ que se ha degradado para producir una caja de



				banano exportación de 18,14 Kg en el 2020		
Categoría de impacto		Alcance del impacto	Metodología	Impacto por UF ¹	Impacto por FR ²	Indicador de impacto
Perfil huella de agua	Ecotoxicidad	Medio	USEtox	213603,89	22,475	PAF.m ³ .dia o CTUe
	Eutrofización		ReCiPe	34,69	0,00365	Kg Pe
	Escasez		AWARE	42209,514	4,44	m ³ e

Nota. Fuente: Autores, 2021.

¹ Impacto en base a 9504 cajas de banano orgánico para exportación de 18,14 kg en el año 2020.

² Impacto en base a una caja de banano para exportación de 18,14 kg en el año 2020.

4.4.1 Discusión del inventario de huella de agua

El inventario de huella de agua fue la base del estudio en el cual se llevaron a cabo los indicadores para el uso consuntivo y degradativo del agua. La Figura 5 muestra los puntos críticos de ambos indicadores. En cuanto al indicador para el uso consuntivo se obtuvo un volumen de 7,4 m³ de agua (Tabla 10), en el cual, el proceso de “siembra y cosecha” representó el 99,36 %, mientras que el proceso “planta empacadora” a pesar de consumir grandes cantidades de agua solo representó 0,64 %; dichos resultados se asemejan a los obtenidos en el estudio realizado por Ana Vallejo (2016) en “*Reporte de la huella de agua según disponibilidad: Platanera río Sixaola S.A*” donde obtuvo un consumo de agua de 8,583 m³/caja de banano de 18,14 Kg para el año 2015 en donde el proceso que más influencia tuvo fue “siembra y cosecha” representando el 99,85 %, mientras que la planta empacadora representó un 0,143 %. La correspondencia de su similitud se

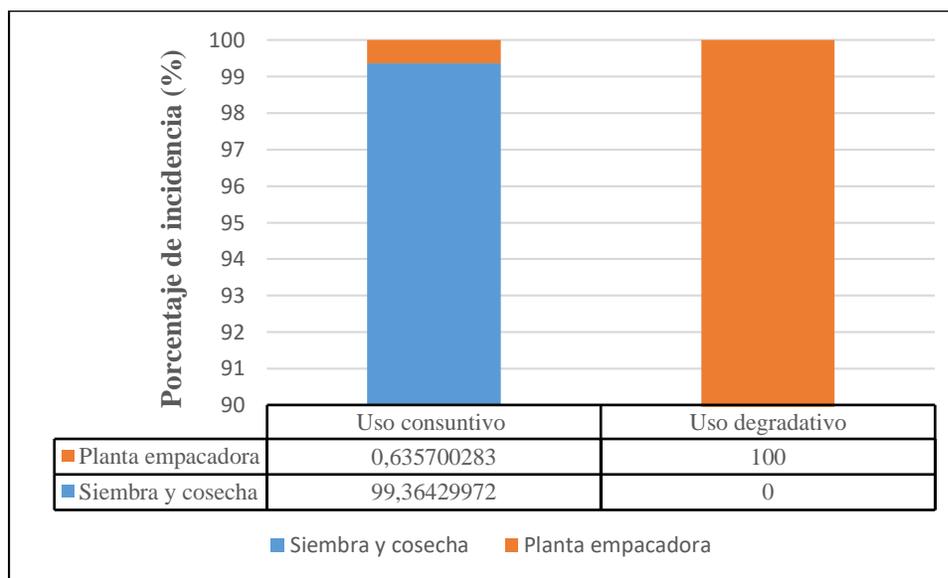


debe a que en la etapa de “siembra y cosecha” de ambos estudios consideran a la evapotranspiración del cultivo como una pérdida de agua, por el contrario, en el proceso “planta empacadora” se atañe a que el agua utilizada regresa a la misma cuenca o a una cuenca diferente de donde fue extraída, por lo que las pérdidas de agua son mínimas.

El valor obtenido para el indicador del uso degradativo fue de 0,469 m³ de agua (Tabla 10), en donde la etapa de “planta empacadora” representó el 100% ya que en este proceso se vierten sustancias que a pesar de tener características orgánicas degradan la calidad del agua.

Figura 5

Contribución a los diferentes usos de agua según la etapa productiva



Nota. Fuente: Autores, 2021.

4.4.2 *Discusión del perfil de huella de agua*

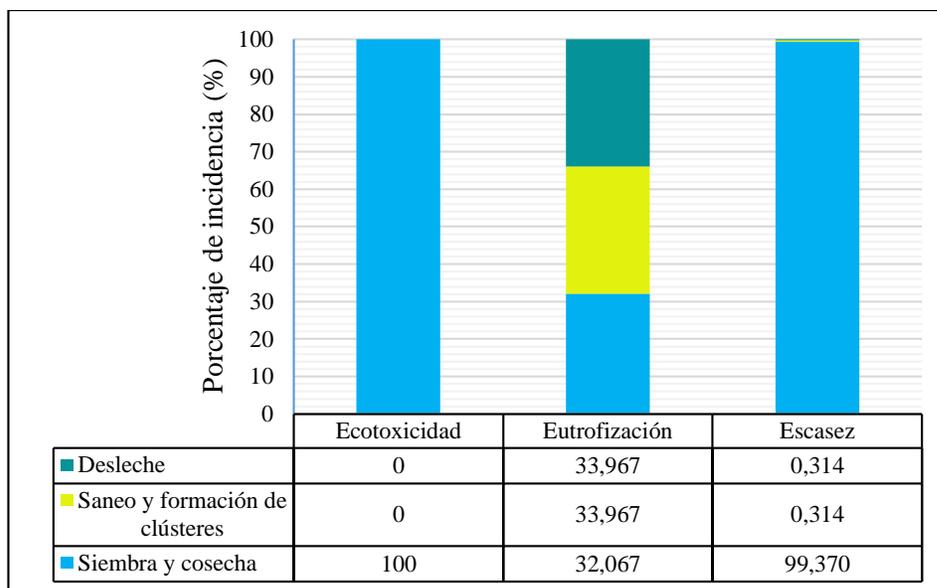
A la hora de analizar el perfil de huella de agua se diferenciaron cada uno de los procesos que abarcan las etapas de siembra y post-cosecha del banano, identificando los procesos de



“siembra y cosecha”, “saneamiento-formación de clústeres” y “desleche” como los puntos críticos que generaron mayor impacto, tal y como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Identificación de puntos críticos



Nota. Fuente: Autores, 2021.

4.4.2.1 Ecotoxicidad

El primer impacto evaluado fue el impacto por ecotoxicidad arrojando un valor de 22,475 CTUe por cada caja de banano de exportación de 18,14 Kg, con un 100% de incidencia en la etapa de “siembra y cosecha”, convirtiéndose en el punto crítico. Por lo tanto, se ven potencialmente afectadas 23 especies por el contacto de éstas con algún ingrediente activo que se haya vinculado al agua, dichos ingredientes activos están contenidos en diversos insecticidas y fungicidas aplicados al racimo durante la etapa de “siembra y cosecha”. Los productos se encuentran detallados en la Tabla 8 correspondiente a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

En otros estudios de huella de agua como el de Ana Vallejo et al. (2017), realizado en la finca San Pablo, Costa Rica, el resultado para el impacto por ecotoxicidad fue de 1530,82 CTUe
 Voltaire González
 Dunia Panamito



por cada caja de banano de exportación de 18,14 Kg. El contraste de los resultados con respecto a este estudio se debe a que se emplean ingredientes activos de origen orgánico en los insecticidas y fungicidas dentro de la finca San Felipe a diferencia de los agroquímicos empleados en San Pablo. Por otra parte, en la finca San Pablo, Ana Vallejo et al. (2017) asume una producción de 15.000 cajas de banano en una finca convencional, a diferencia de las 9.504 cajas producidas en la finca orgánica San Felipe. Esta comparación permitió determinar, de manera general y debido a que no existen otros estudios que se traslapen o se asemejen al llevado a cabo en el presente proyecto, que el impacto por ecotoxicidad es bajo, asumiendo su reducido valor al uso de productos orgánicos y amigables con el medio ambiente.

Es importante destacar que en la zona de estudio la cantidad y diversidad de especies es reducida, y el mínimo impacto generado por ecotoxicidad podría afectar a la fauna local, que según el GAD parroquial rural de Cañaquemada son ciertos mamíferos como el armadillo, cusumbo, guatusa, mono mico, murciélago, raposa, ratón de huerta, venado, zahino y zarigüeya y ciertas especies de aves y reptiles como azulejos, cacique, carpintero, garrapatero, gavilán, perdiz, perico, tordo, tórtola y tortugas (Guanoluisa, Patiño, & Patiño, 2019). Por ello, siempre hay oportunidades de mejora para reducir el impacto por ecotoxicidad, siendo una alternativa viable utilizar productos 100 % orgánicos que no alteren la fauna local, convirtiéndose en un punto importante de futuras investigaciones.

4.4.2.2 Escasez

Uno de los impactos más significativos causado por la actividad bananera fue el impacto por escasez reflejando un valor de 4,44 m³ equivalentes de agua por cada caja de banano de exportación de 18,14 Kg (Tabla 10), interpretado como “la cantidad de agua equivalente que es privada para otros usuarios debido a su uso” (Ana Vallejo, 2015).



Cabe aclarar que se asumió que en el proceso de “siembra y cosecha” la cantidad de agua aplicada en la irrigación es sólo aquella que permite evapotranspirar el cultivo, es decir, si se irriga más que la capacidad de evapotranspiración, el agua adicional se contará como pérdida al no ser aprovechable para el cultivo. De esta forma los 69.902 m³ consumidos por evapotranspiración en la etapa de “siembra y cosecha” representó el 99,37 % del impacto por escasez. En cuanto a la etapa “planta empacadora” podemos observar que los procesos de “desleche” y “saneamiento-formación de clústeres” aportaron con 0,314 % cada uno. Dichos porcentajes están representados en la *Figura 6*.

Se interpretaron a los procesos de “desleche” y “saneamiento-formación de clústeres” como los puntos críticos de incidencia en el impacto por escasez, ya que, si bien la etapa de “siembra y cosecha” tiene el mayor porcentaje de incidencia, su influencia en el impacto es inevitable debido a que es un uso de agua implícito en la actividad productiva del banano, por otra parte, en la planta empacadora se puede intervenir para reducir el volumen de agua consumido en sus procesos y, por ende, reducir el impacto por escasez.

A la hora de categorizar el impacto por escasez como alto o bajo, se realizó una comparación con diversos casos de estudio que asumen el consumo de agua por Kg de banano bajo un estudio de huella hídrica, además, aunque no se realice un estudio de huella de agua, cabe recalcar que el uso consuntivo interfiere directamente en el impacto por escasez, de esta forma para fines comparativos, se transformó el volumen de agua consumido dentro de la planta empacadora para producir una caja de banano de exportación de 18,14 Kg en el año 2020 en la finca San Felipe, al volumen consumido en litros por Kg de banano empacado, resultando en 2,61 litros por Kg.

**Tabla 11***Uso consuntivo plantas empacadoras de banano*

Nombre finca	Área (ha)	Ubicación	Uso consuntivo (l/kg)	Practica agrícola	Autor
Finca San Felipe	6,18	Cañaquemada, El Oro, Ecuador	2,61	Orgánica	Los autores, 2021
Finca San Vicente	63,2	El Guabo, El Oro, Ecuador	11	Orgánica	Zarate y Kuiper (2013)
Platanera Río Sixaola S.A.	143,64	Talamanca, Limón, Costa Rica	0,66	Orgánica	Ana Vallejo (2016)
Finca La Aurelia	20	Cañaquemada, El Oro, Ecuador	7-15	Orgánica	Solano (2017)

Nota. Fuente: Los autores, 2021.

Teniendo en cuenta la investigación bibliográfica en cuanto al consumo de agua de diferentes plantas empacadoras de banano y considerando que a mayor hectáreas mayor producción (Tabla 11), la finca San Felipe tuvo un consumo de agua bajo a comparación de las plantas empacadoras estudiadas por Zarate y Kuiper (2013) y Solano (2017), exceptuando la platanera río Sixaola (Ana Vallejo, 2016) que pese a ser la finca más grande y producir anualmente 30.000 cajas de banano su consumo de agua es menor, denotando un mejor manejo del recurso hídrico dentro de la planta empacadora.

Sin embargo, en aspectos generales, y relacionando que a menor uso consuntivo de agua menor es su impacto por escasez, la finca orgánica San Felipe, tiene un bajo impacto por escasez a comparación con otras fincas cercanas que inclusive cuadriplican dicho impacto.



4.4.2.3 Eutrofización

El impacto por eutrofización se traduce en la cantidad potencial de Fósforo con la que se ha estado enriqueciendo el efluente del río Jubones durante el 2020. El resultado obtenido se refleja para una sola caja de banano de exportación de 18,14 Kg, siendo de 0,00365 Kg de Fósforo equivalente en el estudio realizado en la finca San Felipe y 0,00000646 Kg de Fósforo equivalente en el estudio realizado por Ana Vallejo (2015), demostrando que la finca San Felipe tiene un alto potencial para generar el fenómeno de eutrofización.

Otro aspecto importante a discutir son las concentraciones de DBO_5 resultantes del análisis del efluente de la planta empacadora, dichos valores fueron de 490, 426 y 531 mg/l, superando ampliamente el límite máximo permisible fijado en 100 mg/l por el TULSMA, dichas concentraciones están influenciadas por los procesos de “saneamiento-formación de clústeres” y “desleche” debido a que de aquí salen los residuos orgánicos responsables del aumento de Fósforo en el efluente.

Resaltando los valores que se muestran en la Figura 6, los procesos que se convirtieron en los puntos críticos de influencia en el impacto por eutrofización son “saneamiento-formación de clústeres” y “desleche” representando el 33,967 % de incidencia cada uno. Por otra parte, el impacto generado en la etapa de “siembra y cosecha” representa el 32% de incidencia, debido a que, aunque la cantidad de Fósforo presente en el fertilizante es mínima, su aplicación en la finca es muy elevada, lo que genera un alto aporte en el impacto por eutrofización.

A la hora de categorizar el impacto, y teniendo en cuenta que se liberaron potencialmente 34,69 Kg de Fósforo equivalente en el 2020, se toma en cuenta tan solo la cantidad de Fósforo contenida en las aguas residuales durante el año de estudio. A lo largo de este periodo se vertieron 4457 m³ desde las tinajas de lavado de la planta empacadora y, siguiendo la ecuación (11) que sirve



para calcular la masa de Fósforo a partir de la DBO_5 , se emitieron 23,56 Kg de Fósforo, por lo tanto, hubo una emisión potencial promedio de 0,005286 Kg de P por m^3 de agua residual durante el 2020, o lo que es lo mismo, 5286 ug/L.

Boyd (2019) realizó un desarrollo de estándares significativos para límites de concentración máximo aceptables y límites de carga para la descarga de Nitrógeno y Fósforo de las instalaciones acuícolas, fijando una media anual de Fósforo total de 84,4 ug/L, cifra ampliamente superada por los 5286 ug/L evaluados en la finca San Felipe, por lo tanto, a niveles generales el impacto potencial por eutrofización en la finca San Felipe es elevado.



4.5 Fase IV: Propuesta de un Sistema de Recirculación de Agua en la Planta Empacadora

Una vez interpretado el perfil de huella de agua e identificados los procesos “saneo-formación de clústeres” y “desleche” como puntos críticos, la propuesta fue encaminada a reducir los impactos por eutrofización y escasez dentro de la planta empacadora al ser los más relevantes del estudio. Debido a ello y en base a lo expuesto en el Cuadro 4, se escogió aquella medida más adaptable a los requerimientos del productor considerando las variables costos-beneficio y las exigencias de la normativa legal ambiental.

4.5.1 Justificación de la alternativa seleccionada.

La propuesta seleccionada fue un sistema de recirculación y tratamiento de agua dentro de la planta empacadora, el cual tiene por objetivo reducir el consumo y contaminación del agua, tanto para las actividades realizadas en el lavado de fruta como para su vertido final (Londoño, López, Bermúdez, & García, 2005), cumpliendo con las normativas nacionales referentes a la actividad bananera (sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y beneficiando al productor en cuanto a la optimización del uso del agua, disminución de los impactos ambientales evaluados e incremento de la producción bananera de la finca (Cooperación Alemana, 2018).

4.5.2 Diseño de la alternativa seleccionada.

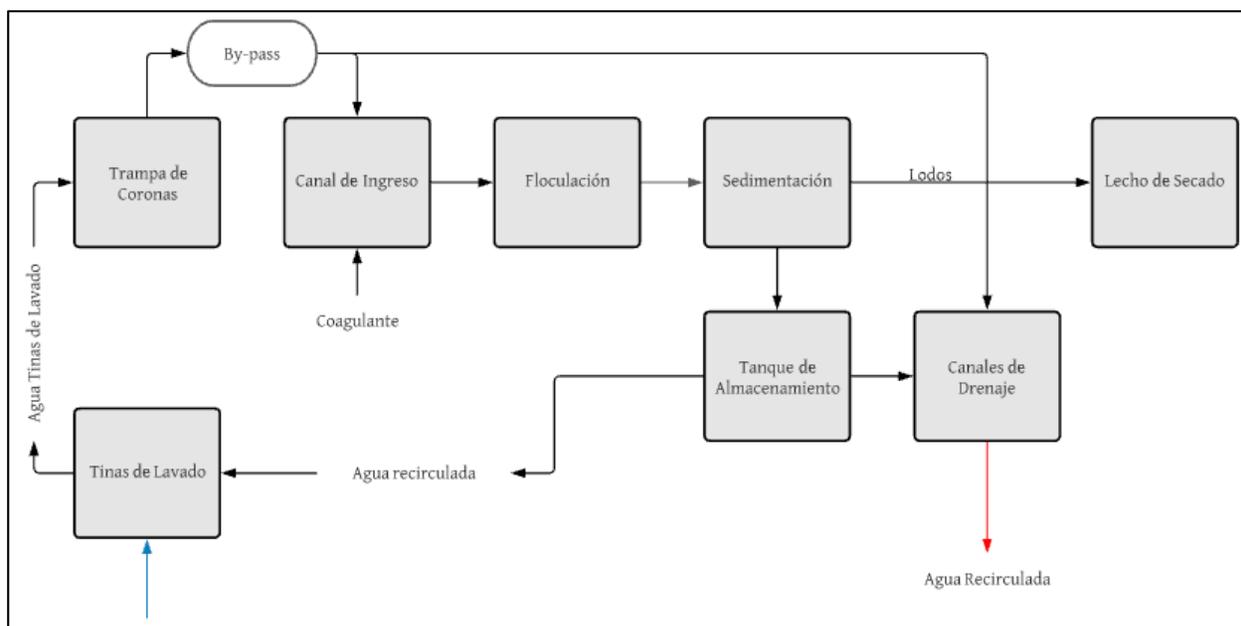
Un sistema de tratamiento y recirculación del agua puede ser utilizado tanto en los procesos de siembra y cosecha como de planta empacadora. En planta empacadora tendría la funcionalidad de tratar y recircular el agua de las tinajas de lavado, reduciendo sustancialmente el consumo de agua del pozo de donde se extrae; por otra parte, se puede aplicar en el proceso de siembra y cosecha, dirigiendo los drenajes de agua hacia un reservorio para su posterior uso en la irrigación del cultivo (Cooperación Alemana, 2018).

Centrándonos en el sistema de tratamiento y recirculación del agua, éste tiene una serie de condiciones previas a las necesidades técnicas del sistema en sí, como son: los requisitos legales de construcción, recursos económicos y humanos, ubicación óptima del sistema y las fuentes de energía disponibles en la planta empacadora (Cooperación Alemana, 2018).

En el presente proyecto se propuso un diseño del sistema a implementar, por lo tanto, condiciones como permisos de construcción, recursos económicos y humanos no entraron en la propuesta, sin embargo, sí se delimitó la zona óptima a implementar el sistema, así como sus detalles técnicos, resumido en la Figura 7.

Figura 7

Componentes del sistema de tratamiento y recirculación



Nota. Fuente: Adaptado de (Cooperación Alemana, 2018; Londoño et al., 2005).

La finalidad de un sistema de tratamiento y recirculación de agua dentro de una planta empacadora es reducir el consumo de agua y la carga contaminante provenientes de las tinas de lavado, por ello fue idóneo ubicar la propuesta inmediatamente después de dichas descargas. El



primer punto clave del diseño de la planta de recirculación es el cálculo del volumen de agua proveniente de las tinas de lavado, ya que en base a ello se deben dimensionar todos los componentes del sistema (Cooperación Alemana, 2018). El sistema de tratamiento a implementar se detallada a continuación (Londoño et al., 2005):

- **Trampa de coronas:** tiene como finalidad retener las coronas y otros residuos sólidos evitando su paso al sistema de recirculación.
- **By-Pass:** dirige el agua de las tinas de lavado hacia el sistema de tratamiento o directamente a los canales de drenaje en caso de que el sistema necesite mantenimiento.
- **Canal de ingreso:** gracias a la pendiente del canal se generará turbulencia, condición idónea para la aplicación del coagulante que facilite la atracción entre las partículas en suspensión.
- **Floculador:** dichas partículas pasarán por un gradiente decreciente que ocasiona cambios en la velocidad del flujo, en donde se aglomeran las partículas de látex debido al choque entre las líneas de flujo teniendo como resultado “flocs”.
- **Sedimentador:** estructura provista de placas planas de poliestireno con un ángulo de inclinación de 60° y espaciadas entre sí de manera uniforme, con la finalidad de que los “flocs” generados choquen y reboten hacia una tolva de recolección colocada en la parte inferior del sedimentador. El flujo ascendente del sedimentador ayudará a separar la fase líquida (agua clarificada) de la sólida (lodos).
- **Tanque de almacenamiento o reservorio:** el agua clarificada se dirige a un tanque de almacenamiento o reservorio, donde es destinada nuevamente a los tanques de desmane y desleche mediante bombeo o directamente a los canales de drenaje.



- **Lecho de secado:** los lodos generados en el sedimentador son dirigidos hacia el lecho de secado, los mismos que pueden ser construidos de concreto o fibra de vidrio donde se adicionan capas de material poroso, como la grava y arena, con la finalidad de deshidratar los lodos para su disposición final como materiales semisólidos.

El presupuesto de aplicación de este sistema se estimó en base al estudio realizado por Urrusuno (2017), el cual diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón. Correlacionando los costos de implementación de los tanques de coagulación, floculación, sedimentación, almacenamiento, mano de obra y materiales, con las condiciones de este proyecto, el valor estimado supera los \$10.000.

El sistema expuesto es idóneo para los grandes productores de banano debido a que el costo de implementación es rentable a largo plazo, por el contrario, para pequeños productores de banano como el propietario de la finca San Felipe, dichos gastos asumen un gran importe económico.

Es por ello que existen otras alternativas de recirculación y tratamiento de agua de menor escala y más flexible para adaptarse al aspecto económico del productor, como es el implementado por Blacio (2018) para las aguas residuales provenientes de la empacadora de banano de la finca “El Progreso” ubicada en el cantón El Guabo. El autor diseñó un sistema de filtración dinámica gruesa que ayudaría a reducir la carga contaminante del efluente de la planta empacadora, dicho sistema supondría un menor gasto económico para el propietario de la finca a comparación del sistema anteriormente planteado, debido a que el autor asume un presupuesto no mayor a 1400 dólares estadounidenses para su implementación. Además, diseñó un sistema de recirculación del agua tratada, que según la Secretaría del Foro Mundial Bananero (2017), disminuiría el consumo de agua en un 80 % en los procesos de embarque aproximadamente.



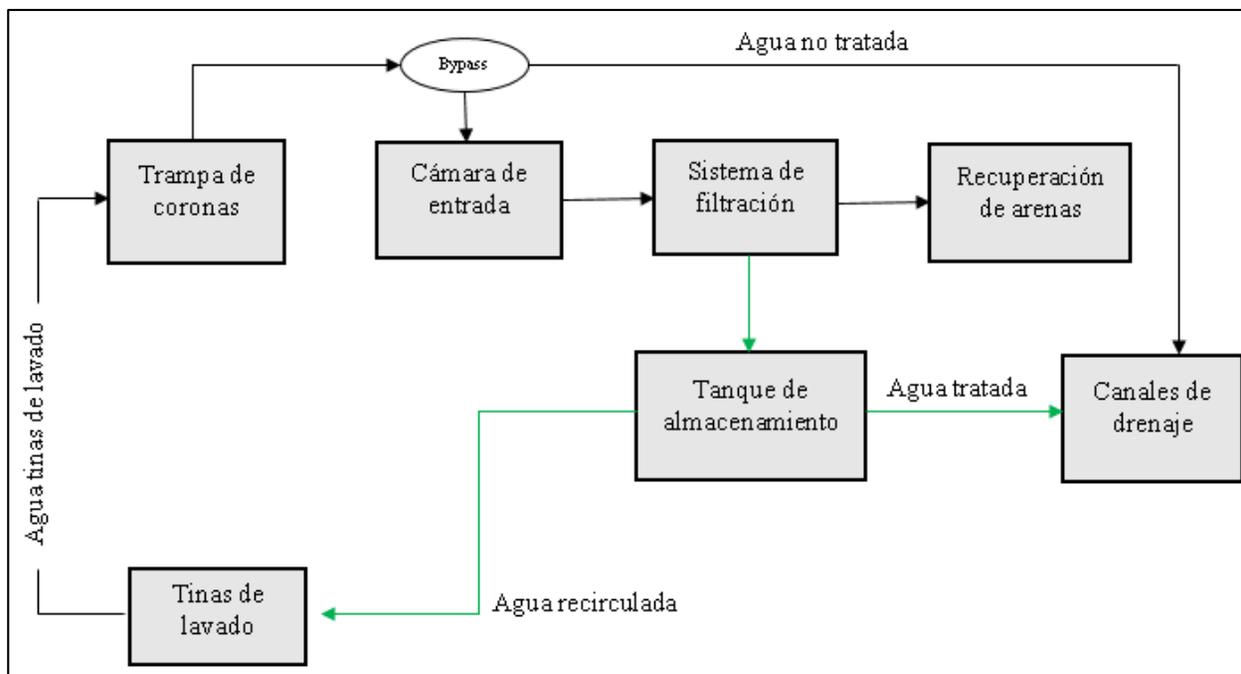
De acuerdo a la composición estructural en base a lo mencionado por Blacio (2018) y según a la Organización Panamericana de la Salud (2005) el filtro dinámico grueso es un conjunto de tanques que contienen una capa de grava fina (6-13 mm) en la superficie sobre un lecho de grava más gruesa (13-25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

De esta forma la propuesta planteada para la finca San Felipe contará con los siguientes elementos, tal y como se muestra en la Figura 8: cámara de entrada, cámara de filtración, lecho filtrante y de soporte, sistema de drenaje y cámara de recuperación de arenas (Blacio, 2018). La cámara de entrada es la que regula el caudal de entrada hacia el filtro dinámico grueso, su diseño depende del caudal de salida de las tinas de lavado siendo en el caso de la finca San Felipe $0,00296 \text{ m}^3/\text{s}$, similar a los $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ de la finca El Progreso.

A continuación, sigue la cámara de filtrado que toma en cuenta el caudal de salida que permite dimensionar el filtro, dentro de esta cámara se ubica el lecho filtrante, colocando la grava en capas de diferentes tamaños, siendo la última capa con la grava más grande sirviendo de soporte a las capas superiores, además, en la misma cámara se ubican tuberías con orificios los cuales sirven como un sistema de drenaje. Posteriormente, continua la cámara de recuperación de arenas y finalmente, un sistema de recirculación del agua tratada, constando de un tanque de almacenamiento y una bomba que reingresará el agua tratada a las tinas de lavado.

Figura 8

Diseño de un sistema de filtración dinámica gruesa en la finca San Felipe.



Nota. Fuente: Adaptado de (Blacio, 2018).

Este tipo de sistema sería el más aplicable dentro de la finca San Felipe debido a los beneficios económicos, ambientales (reducción de eutrofización y escasez) y de cumplimiento con la normativa ambiental vigente (TULSMA) al obtener potencialmente valores por debajo de los límites máximos permisibles en cuanto a la DBO₅.



CONCLUSIONES

Una aportación a la gestión sostenible del agua fue el desarrollo de este proyecto de investigación, en donde se cuantificaron los impactos potenciales por escasez, eutrofización y ecotoxicidad, brindando una perspectiva del desempeño ambiental en cada una de las etapas de producción de la finca.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que los procesos “siembra y cosecha”, “saneamiento-formación de clústeres” y “desleche”, fueron los principales puntos críticos que aportaron en mayor porcentaje a los impactos evaluados.

En cuanto al inventario de huella de agua, se obtuvo que el consumo de agua predomina a comparación con su degradación, siendo de $7,4 \text{ m}^3$ y $0,467 \text{ m}^3$ de agua por cada caja de banano de exportación de 18,14 Kg, respectivamente, influyendo directamente en el impacto por escasez. Sin embargo, es importante considerar que el consumo de agua en siembra y cosecha (evapotranspiración) y planta empacadora puede variar por errores de medición, debido a que la finca no cuenta con la tecnología necesaria como caudalímetros que registren las entradas y salidas de agua en la planta empacadora, así como una estación meteorológica propia que mida las variables esenciales (precipitación, humedad, velocidad del viento, etc) para el cálculo de la evapotranspiración.

En el análisis del perfil de huella de agua de la finca San Felipe se determinó que uno de los mayores impactos evaluados fue el impacto por escasez, ya que se consumen $4,44 \text{ m}^3$ equivalentes de agua, manifestando que se ha privado esta cantidad de agua a otro usuario o al ecosistema. El proceso de “siembra y cosecha” fue el que más influyó en este resultado, representando el 99,37 % del impacto, este valor se debe al consumo de agua por evapotranspiración considerado como pérdida de agua.



En cuanto al impacto por eutrofización se demostró que la finca bananera tiene un alto potencial de generarlo, emitiendo 0,00365 Kg de Fósforo por cada caja de banano de exportación de 18,14 Kg. Los principales aportes fueron los procesos “desleche” y “saneamiento-formación de clústeres” que sumados representaron el 67,9 % del impacto.

En relación al impacto por ecotoxicidad se obtuvo un valor de 22,475 CTU_e o PAF.m³.día en donde según la metodología aplicada se traduce a la fracción de especies potencialmente afectadas por metro cúbico por día, es decir, se ve afectada la fauna característica de los alrededores de la finca ya sea por ingesta o por contacto con el agua contaminada. Al comparar el resultado evaluado con estudios similares se estableció que el impacto en este estudio fue bajo.

Para establecer una solución a los impactos evaluados se propuso un sistema de tratamiento y recirculación del agua. Este sistema tiene como finalidad reducir la carga contaminante por eutrofización y ecotoxicidad, mientras que el sistema de recirculación está enfocado a minimizar notoriamente el consumo de agua y por ende el impacto por escasez. Cabe mencionar que este sistema resulta viable a fincas o haciendas que posean el recurso económico para implementarlo ya que el precio del sistema está valorado por encima de los \$10.000. Por lo que, para pequeños productores, como el caso de la finca San Felipe, se propuso un sistema de filtración dinámico grueso junto a un sistema de recirculación suponiendo un costo-beneficio más atractivo (\$1.300 aproximadamente) y que, de la misma forma, cumpliría con el objetivo de reducir los impactos ambientales evaluados.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda contemplar en las futuras investigaciones una evaluación de la huella de agua por uso indirecto, así como también un ACV más completo, es decir, “de la cuna a la tumba” incluyendo los procesos: transporte a puerto, puerto, transporte internacional, maduración-supermercado y disposición final. La finalidad es tener un panorama completo de los impactos que genera el banano en el recurso hídrico.
- De igual forma, si se desea obtener resultados más reales se recomienda realizar un proceso de verificación que se encuentra especificado en la norma ISO 14046: 2014.
- Se recomienda al productor de la finca controlar la cantidad de los productos empleados en los procesos de siembra y cosecha y planta empacadora. De esta manera se dispondrá de una base de datos de los productos empleados a lo largo del año, facilitando al organismo gestor la recolección de datos, reduciendo la incertidumbre del proceso.
- Se recomienda al productor, que gestione el plan de riego en base a la evapotranspiración calculada en el estudio, para que de esta forma se emplee el agua requerida por el cultivo
- Brindar un mantenimiento adecuado y constante al sistema de tratamiento empleado permitiendo alargar su vida útil y su óptimo desarrollo.
- Realizar análisis físico-químicos de manera frecuente (mínimo dos veces al año) de la descarga de agua de las tinajas de lavado como medida de verificación de que el sistema funciona correctamente.



REFERENCIAS

- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE. (2016a). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina Análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE. (2016b). *Manual de aplicación para evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046*.
- Alaña, M. (2011). *La Producción De Banano En La Provincia De El Oro*.
- Albertí, J., Carbonell, X., Fábrega, N., & Juliá, J. (2017). Cálculo de la Huella Hídrica de un Producto.
- Albornoz, P., Andrade, M., Araujo, P., Gómez, D., Mejía, D., Pohlenz, A., ... Morales, M. (2008). *Geo Ecuador 2008*.
- Allan, J. A. (2003). Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor? *Water International*, 28(1), 106-113.
<https://doi.org/10.1080/02508060.2003.9724812>
- Altendorf, S. (2020). Evaluación preliminar del impacto de la pandemia de la COVID-19 en el comercio de bananos y frutas tropicales. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, Noviembre, 11-16.
- Alvarado E. (2017). Manual de Medición de Caudales. *Instituto Privado de Investigación sobre cambio climático*.
- Arroba, E. (2010). La teoría del ciclo económico bananero y el fenómeno de El Niño: El caso de Ecuador desde 1948 al 2000.
- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE). (2019). II trimestre del 2019 Menos



- banano se envía a Rusia y a la Unión Europea. *Revista BANANOTAS*, 634.
- Blacio, A. (2018). “*Diseño de un sistema de tratamiento y recirculación para el efluente proveniente de la empacadora de banano de la finca «El Progreso» ubicada en el cantón El Guabo, provincia de El Oro*”.
- Boyd, C. (2019). Nitrógeno , fósforo , eutrofización y estándares de efluentes para certificación acuícola. *Global Aquaculture Advocate*, (January), 1-3.
- Caicedo, O., Balmaseda, C., & Proaño, J. (2015). Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 18-22.
- Chérrez, T. (2015). “*ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA APLICACIÓN DE DIVERSOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN UN MISMO ESCENARIO*”.
- Cisneros, F., & Pacheco, E. (2010). Investigación en agua y suelo como recursos estratégicos. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 6.
- Clima promedio en Pasaje, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/19337/Clima-promedio-en-Pasaje-Ecuador-durante-todo-el-año>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (1993). *Tendencia Y Perspectiva de las Exportación de Banano de América Latina y El Caribe*.
- Cooperación Alemana. (2018). *Fichas para la producción sostenible de banano*, 225.
- Cordero, M. (2012). *Factibilidad de Exportación de Compotas de Banana a Estados Unidos de Norteamérica*.
- Della Torre, V., Garimaldi, L., & Paliouff, C. (s. f.). *Análisis de ciclo de vida - Hacia un abordaje*



institucional. *Campo I+D+I*, 181-196.

Dilucia, F., Lacivita, V., Conte, A., & Nobile, M. A. Del. (2020). Enhance Food Packaging Performance.

Duan, X., Joyce, D., & Jiang, Y. (2007). Postharvest biology and handling of banana fruit. *Fresh Produce*, 1(2), 140-152.

Falabella, C., Garro, J., Korb, M., Minaglia, M., & Tuninetti, L. (2016). *Evaluación de la Huella de Agua - Caso de estudio: quesos de pasta semidura*. (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Ed.) (1ª). San Martín.

FAO. (2015). AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO.

FAO. (2020). Banana market review: Preliminary results 2019. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1-16.

Fernández, G. (2017). Análisis de la Producción Bananera en El Oro y los efectos de la política económica desde la dolarización, 32. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11349%0Ahttp://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJODETITULACION2.pdf

FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). Estado del agua. *Geo Ecuador: Informe sobre el estado del medio ambiente.*, 10.

Food and Agriculture Organization for the United Nation. (2020). Banana Statistical Compendium 2019 [Report]. Recuperado de <http://www.fao.org/3/cb0466en/cb0466en.pdf>

Fullana i Palmer, P. (1999). Análisis del Ciclo de Vida, 1-14.

Global Water Partnership South America. (2012). Sembrando cambios Años 2011 y 2012.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pasaje. (2015). Plan de Desarrollo y



- Ordenamiento Territorial del Cantón Pasaje, 317. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000770001_PDOT_PASAJE_ACTUALIZADO_2015_15-03-2015_23-10-11.pdf
- Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., Schryver, A. De, Struijs, J., & van Zelm, R. (2013). Category indicators at the midpoint and the endpoint level ReCiPe 2008. *ResearchGate*, (June 2016), 126.
- Gonzabay, R. (2017). Cultivo del banano en el Ecuador. *AFESE*, 6.
- Gonzalez, Y., Casas, Y., & Vidal, G. (2013). Huella del Agua. *Los Tiempos.com, Suplemento especial día del Agua*.
- Guanoluisa, R., Patiño, J., & Patiño, A. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) parroquia Cañaquemada, cantón Pasaje, provincia El Oro, año 2019-2023*.
- Guzmán, I., & Calvo, J. (2013). Planificación del recurso hídrico en América Latina y el Caribe Planning Water Resources in Latin America and the Caribbean. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 16.
- Hailu, M., Workneh, T. S., & Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, 12(7), 635-647. <https://doi.org/10.5897/AJBX12.020>
- Hoekstra, A. Chapagain, A. Aldaya, M. and M. M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Social and Environmental Accountability Journal* (Vol. 31). <https://doi.org/10.1080/0969160x.2011.593864>
- ISO 14046. (2014). ISO 14046:2014(es), Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices.
- Lobo, M. G., & Montero-Calderón, M. (2020). Harvesting and Postharvest Technology of Banana. *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and*



Nutrition, 61-80. <https://doi.org/10.1002/9781119528265.ch4>

Londoño, P., López, C., Bermúdez, L., & García, C. (2005). Manual para Planta de Recirculación y Tratamiento de Agua de Lavado de Banano. *Banatura*, 28.

Mekonnen, M. M., Pahlow, M., Aldaya, M. M., Zarate, E., & Hoekstra, A. Y. (2015). Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in latin America and the Caribbean. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2086-2112. <https://doi.org/10.3390/su7022086>

Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador. (2017). Informe Sector Bananero Ecuatoriano. *Ministerio de Comercio Exterior*. Recuperado de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-español-04dic17.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MAE). (2015). *Libro Blanco del Agua* (Vol. 1542).

Montserrat, F. (2014). Huella hídrica: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación, 10.

NASA. (s. f.). POWER Data Access Viewer. Recuperado 4 de junio de 2021, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

National Institute for Public Health and the Environment. (2017). *ReCiPe 2016 v1.1. RIVM Report 2016-0104*. Recuperado de www.rivm.nl/en

Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). Desarrollo Sostenible – United Nations Sustainable Development Sites. Recuperado 28 de abril de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Buenas*



prácticas tecnológicas. Recuperado de www.gwpcentroamerica.org.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas, 1-28.

Ovalle, M. (2012). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS CON POTENCIAL BIOENERGÉTICO EN LA PROVINCIA DE LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE. WATER.*

Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276(September 2020), 109735. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>

Parada, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 16(1), 69-76. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000100008&lang=es

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s. f.). Antecedentes | PNUD. Recuperado 22 de marzo de 2021, de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background.html>

Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas*.

Ramírez, M., Sáenz, M. V., & Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 1-14. <https://doi.org/10.15517/rac.v35i1.6684>

Rodríguez, B. (2014). *Metodología para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida para la Industria Cubana*.

Romero-Guzmán, E., & Romero-Guzmán, L. (2020). Estrés hídrico y escasez del agua: ¿no al día



cero del agua!, (May), 12-15.

- Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Juraske, R., ... Hauschild, M. Z. (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532-546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Secretaría del Foro Mundial Bananero. (2017). Huella hídrica de la industria bananera | Foro Mundial Bananero | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Foro Mundial Bananero*, 0(0), 1-5. Recuperado de <http://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/water-footprint/es/>
- Seguí, L. A., García, D., & Guerrero, H. (2016). Luis Alberto Seguí Amórtegui 1 , Diego García Vega 2 e Hilda R. Guerrero García Rojas 2 1. *Ciencia Nicolaita*, 69, 76-101.
- SENAGUA. (2017). Boletín de la estadística sectorial del agua. *Agencia de Regulación del Agua*, 82. Recuperado de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf
- Solano, M. (2017). *Determinación del Consumo de Agua para el proceso Postcosecha de Banano de Exportación*. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11708/1/DE00028_TRABAJODETITULACION.pdf
- Soto, M. (2011). Situación y Avances Tecnológicos en la Producción Bananera Mundial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(SPEC. ISSUE 1), 013-028. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452011000500004>
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 - 2027, 160.



Uguña, M. F. (s. f.). *Toxicología y ecotoxicología*.

UNEP-SETAC. (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 1-208.

UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Recuperado de <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>

Urrusuno, A. (2017). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón*. Universidad de Oviedo.

Valencia, A. (2014). Manual Piragüero Medición de Caudal, Programa Integral-Red Agua. *Programa Integral Red Agua*, 3, 1-24. Recuperado de http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medición_de_Caudal.pdf http://piragua.corantioquia.gov.co/piragua/publicaciones/3.Manual_Medición_de_Caudal.pdf

Vallejo, Ana. (2015). *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de banano en Costa Rica*. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Vallejo, Ana. (2016). *Reporte de huella de agua según disponibilidad: Platanera Río Sixaola S.A.*

Vallejo, Ana, Vallejo, M., Nájera, J., & Garnier, L. (2017). *Guía Metodológica Para La Huella De Carbono Y La Huella De Agua En La Producción Bananera*. *Acción Clima II*.

Vallejo, Anton. (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 37.



- Vega, F. (2018). *Análisis del desempeño organizacional de la Corporación de productores agroecológicos y frutas tropicales San Miguel de Brasil (C-SMB)*. Universidad Técnica de Machala.
- Victorero, R. (2015). “*Propuesta de tratamiento de Efluentes del proceso de embalaje de banano de banano para exportación en el cantón La Mana, Provincia Cotopaxi, Año 2014*”. Recuperado de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5311/1/T-UTEQ-0093.PDF>
- Villegas, J. A., & Torres, B. E. (1977). Evapotranspiracion. *Serie Didactica, Facultad de Agronomia y Zootecnica, Universidad Nacional de Tucuman, 45*.
- WULCA. (s. f.). Recuperado 26 de marzo de 2021, de <https://wulca-waterlca.org/>
- Zarate, E., & Kuiper, D. (2013). Evaluación de Huella Hídrica del banana para pequeños productores en Perú y Ecuador Water Footprint Assessment of Bananas Produced by Small Banana Producers in Peru and Ecuador Reporte final GOOD STUFF INTERNATIONAL – Switzerland Autores : Erika Zarate &.
- Zhiminaicela, J. B., Quevedo, J. N., & García, R. M. (2020). La producción de banano en la provincia de El Oro y su impacto en la agrobiodiversidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 4*, 189-195.



ANEXOS

Anexo 1

Recolección de calicatas (submuestras) previo envío al laboratorio de la INIAP “Santa Catalina”



Nota. Fuente: Autores, 2021.

Anexo 2

Toma de muestras en el canal de salida tinas de lavado



Nota. Fuente: Autores, 2021.



Anexo 3

Resultados de laboratorio de las muestras de suelo de la finca San Felipe

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Teléfonos: (02) 3007284 / (02)2504240. Email: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No: 21-0149

NOMBRE DEL CLIENTE:	GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	25/02/2021
PETICIONARIO:	GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	12:30
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN	FECHA DE ANÁLISIS:	01/03/2021
DIRECCIÓN:	AV. QUITO ENTRE SAN MARTÍN Y ROCA FUERTE	FECHA DE EMISIÓN:	05/03/2021
E-MAIL:	dunia.panamito@ucuenca.edu.ec	ANÁLISIS SOLICITADO:	CC.+ PM.+HG.+TEXTURA

No. Laboratorio	Identificación de la muestras	Humedad gravimétrica (%)		Hg (%)	M. O. (%)	TEXTURA			Clase Textural
		C.C.	P.M.P.			Arena (%)	Límo (%)	Arcilla (%)	
21-0584	SAN FELIPE	27.6	17.4	24.5		51	30	19	Franco - arenoso

Simbología			Metodología	
CC: Capacidad de Campo	Da: Densidad aparente	A: Alto, M: Medio, B: Bajo	CC, PMP: Ollas de Richards	MO: Combustión - TOC
PMP: Punto de Marchitez Permanente	MO: Materia Orgánica	Hg: Humedad gravimétrica	Textura: Bouyoucos	

RESPONSABLES DEL INFORME

Dr. Iván Samaniego

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ing. Rafael Parra

LABORATORISTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo. NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, restringido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este documento es totalmente prohibida. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine el original.



Nota. Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas "Santa Catalina"



Anexo 4

Análisis del contenido de Fósforo en el abono orgánico

MC-LASPA-2201-01



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
 Tfs. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 21-0149

NOMBRE DEL CLIENTE: GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN PETICIONARIO: GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN EMPRESA/INSTITUCIÓN: GONZALES MORENO VOLTAIRE ADRIAN DIRECCIÓN: AV. QUITO ENTRE SAN MARTÍN Y ROCA FUERTE	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: FECHA DE ANÁLISIS: FECHA DE EMISIÓN: ANÁLISIS SOLICITADO:	25/02/2021 12:30 01/03/2021 05/03/2021 FOSFORO
---	---	---

N° muestra	N*	P	K*	Ca*	Mg*	S*	B*	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Na*	Cl*	CE*	Humedad*	Materia orgánica*	Carbono orgánico*	Ph*	C/N*	Identificación de la muestra	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	ms/cm	(%)	(%)	(%)										
21-0585		0.01																			ABONO ORGANICO

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente


creado electrónicamente por:
NATHALY YESSSENIA SANTORUM SAAVEDRA
 LABORATORISTA


creado electrónicamente por:
IYAN RODRIGO SANCHEZ MALGITA
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

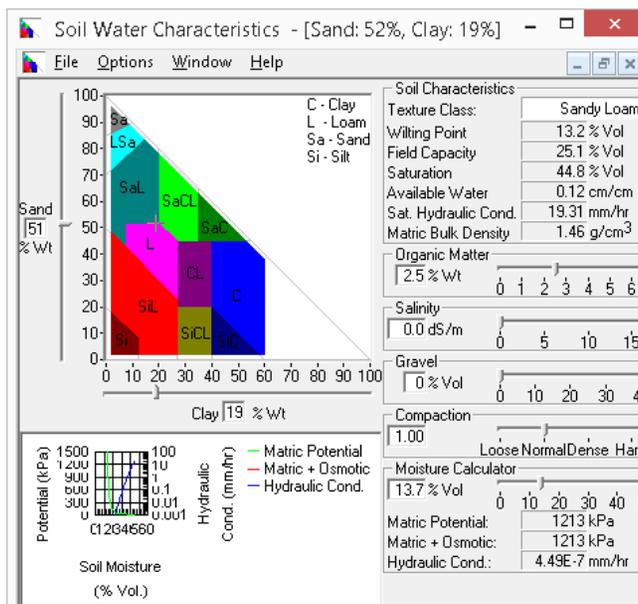
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Nota. Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas “Santa Catalina”

-{Anexo 5

Datos de agua disponible y conductividad eléctrica (tasa de infiltración) del suelo franco - arenoso de la finca San Felipe, provistos por el modelo SPAW



Nota. Fuente: Interfaz “Soil Water Characteristics” del modelo SWAP.



Anexo 6

Datos meteorológicos ingresados al software CROPWAT 8.0.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\PC Usuario\Desktop\ESTUDIOS\...

País Ecuador Estación MERRA-2

Altitud 15 m. Latitud 3.30 °S Longitud 79.78 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	18.6	27.5	74	1.7	2.3	12.9	3.16
Febrero	19.2	26.9	79	1.6	2.7	13.8	3.12
Marzo	19.1	25.7	83	1.8	3.5	15.0	3.11
Abril	18.4	26.6	78	1.2	3.7	14.6	3.06
Mayo	18.3	27.5	75	1.1	2.8	12.4	2.78
Junio	17.1	27.1	72	1.1	2.5	11.4	2.67
Julio	16.4	26.6	72	1.1	1.9	10.8	2.55
Agosto	16.2	27.0	66	1.2	1.8	11.4	2.85
Septiembre	16.7	27.1	69	1.2	1.2	11.1	2.81
Octubre	17.3	27.4	69	1.3	1.1	11.2	2.92
Noviembre	17.1	26.3	71	1.6	1.1	11.0	2.91
Diciembre	18.0	25.8	78	1.6	1.9	12.1	2.79
Promedio	17.7	26.8	74	1.4	2.2	12.3	2.89

Nota. Fuente: Autores, 2021.



Anexo 7

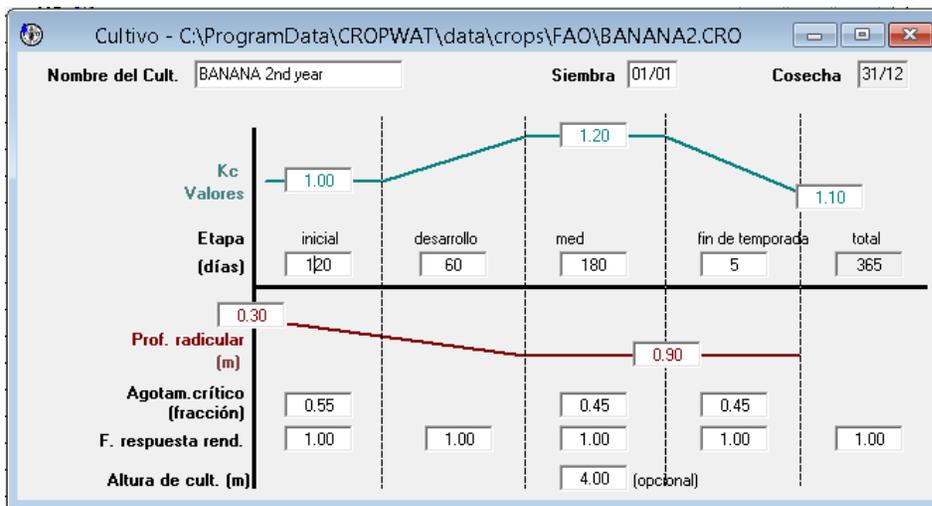
Datos de Precipitación ingresados a CROPWAT 8.0

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	29.5	28.1
Febrero	53.6	49.0
Marzo	44.9	41.7
Abril	16.6	16.2
Mayo	6.9	6.8
Junio	8.6	8.5
Julio	15.0	14.6
Agosto	4.8	4.8
Septiembre	7.2	7.1
Octubre	12.6	12.3
Noviembre	6.8	6.7
Diciembre	9.0	8.9
Total	215.5	204.7

Nota. Fuente: Autores, 2021.

Anexo 8

Datos de cultivo ingresados a CROPWAT 8.0



Nota. Fuente: Autores, 2021.



Anexo 9

Datos del suelo en el software CROPWAT 8.0 de la finca San Felipe

Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\SAN_FELIPE_PROGRAM...

Nombre del suelo Franco-Arenoso

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	120.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	300	mm/día
Profundidad radicular máxima	50	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	10	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	108.0	mm/metro

Nota. El programa CROPWAT 8.0 tiene como límite de infiltración de la precipitación 300 mm/día. Fuente: Autores, 2021.

Anexo 10

Trampa de corona finca San Felipe



Fuente: Autores, 2021.



Anexo 11

Evapotranspiración anual en mm/año arrojado por CROPWAT 8.0

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo MERRA-2			Cultivo BANANA 2nd year				
Est. de lluvia Pasaje_AVIACIÓN			Fecha de siembra 01/01				
Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jun	1	Des	1.08	2.91	29.1	2.5	26.6
Jun	2	Des	1.10	2.93	29.3	2.6	26.6
Jun	3	Med	1.12	2.94	29.4	3.4	26.0
Jul	1	Med	1.13	2.92	29.2	4.7	24.5
Jul	2	Med	1.13	2.88	28.8	5.6	23.2
Jul	3	Med	1.13	2.99	32.9	4.2	28.6
Ago	1	Med	1.13	3.10	31.0	2.3	28.7
Ago	2	Med	1.13	3.21	32.1	1.0	31.1
Ago	3	Med	1.13	3.20	35.2	1.5	33.7
Sep	1	Med	1.13	3.18	31.8	2.0	29.8
Sep	2	Med	1.13	3.16	31.6	2.3	29.4
Sep	3	Med	1.13	3.21	32.1	2.9	29.2
Oct	1	Med	1.13	3.25	32.5	3.9	28.6
Oct	2	Med	1.13	3.29	32.9	4.6	28.3
Oct	3	Med	1.13	3.29	36.2	3.8	32.3
Nov	1	Med	1.13	3.29	32.9	2.6	30.2
Nov	2	Med	1.13	3.28	32.8	1.9	30.9
Nov	3	Med	1.13	3.23	32.3	2.2	30.1
Dic	1	Med	1.13	3.19	31.9	2.2	29.6
Dic	2	Med	1.13	3.14	31.4	2.2	29.2
Dic	3	Fin	1.09	3.18	35.0	4.6	30.4
					1131.2	204.9	926.3

Nota. Fuente: Autores, 2021.



Anexo 12

Factor de Caracterización finca "San Felipe" tomado de Google Earth (Annual agri).



Nota. Fuente: Grupo WULCA.

**Anexo 13***Registro de precipitación del año 2020 en pista de aviación Pasaje*

	Precipitación semanal acumulada	Precipitación mensual (mm)
Enero	14 0,5 9 94,5	29,500
Febrero	18 48,1 68,5 80	53,650
Marzo	23 51 77,5 28	44,875
Abril	7,5 2,5 43,5 12,75	16,563
Mayo	10 15,5 2 0	6,875
Junio	2 6 15,5 10,75	8,563
Julio	18 19 12,5 10,5	15,000
Agosto	2,5 5 8,5 3	4,750
Septiembre	4,75 5 5,5 13,5	7,188
Octubre	5 4,5 7,5 33,5	12,625
Noviembre	16,5 0 6,5 4	6,750
Diciembre	11 4,5 9,5 11	9,000

Nota. Fuente: Pista de aviación Pasaje