



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del Título de
Ingeniero en Gestión Ambiental

Perfil del Proyecto de Investigación:

**“Agua virtual en la producción de palma africana (*Elaeis guineensis*) en Ecuador,
estrategias de manejo eficiente ante los impactos causados de la exportación”**

Autor:

Canales Vanoni Néstor Daniel

Docente Auspiciante:

Ing. Mariela Alexi Díaz Ponce, MSc.

Quevedo-Los Ríos-Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHO

Yo, **Néstor Daniel Canales Vanoni**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este formato.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por Ley de Propiedades Intelectuales, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Néstor Daniel Canales Vanoni

C.I. 120716439-1

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **ING. MARIELA ALEXI DÍAZ PONCE, MSc**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Canales Vanoni Néstor Daniel** realizó el proyecto de investigación titulado ***“AGUA VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS) EN ECUADOR, ESTRATEGIAS DE MANEJO EFICIENTE ANTE LOS IMPACTOS CAUSADOS DE LA EXPORTACIÓN”*** previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto

ING. MARIELA ALEXI DÍAZ PONCE, MSc
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



Document Information

Analyzed document	PAV.docx (D95308863)
Submitted	2/11/2021 6:18:00 PM
Submitted by	
Submitter email	mdiaz@uteq.edu.ec
Similarity	10%
Analysis address	mdiaz.uteq@analysis.urkund.com

ING. MARIELA ALEXI DÍAZ PONCE, MSc
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“AGUA VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN DE PALMA AFRICANA (ELAEIS
GUINEENSIS) EN ECUADOR, ESTRATEGIAS DE MANEJO EFICIENTE ANTE
LOS IMPACTOS CAUSADOS DE LA EXPORTACIÓN”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

Ing. Francisca Contreras Mosquera, MSc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Bio. Juan Urdanigo Zambrano, MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Carlos Nieto Cañarte
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR
2020-2021

AGRADECIMIENTO

Después de ver culminado mi proyecto de investigación, aprovecho este espacio para agradecer al ser celestial mi Dios por llenarme de bendición, salud, fuerzas, perseverancia y capacidad de superar cualquier adversidad que se interpuso en mi camino para lograr mis estudios.

De manera muy especial a mis pilares fundamentales, mi madre y mi hermana quienes han velado por mi bienestar y educación dándome ese apoyo incondicional y creer en mí sin dudar en ningún momento de mis capacidades, estando siempre presente brindándome su amor y fortalezas para lograr este objetivo tan importante y anhelado en mi vida.

De la misma forma, a la excelente docente, tutora tesis y amiga Ing. Mariela Díaz Ponce, por brindarme su ayuda, orientación e impartir sus conocimientos académicos haciendo de guía fundamental para la culminación de mi proyecto de investigación, ante cualquier acontecimiento que se haya presentado.

Finalmente, a mis docentes de la Facultad de Ciencias Ambientales por impartirme sus conocimientos, a mi noble y querida institución Universidad Técnica Estatal de Quevedo por permitirme y darme la oportunidad de seguir con mi formación académica y profesional.

Néstor Daniel Canales Vanoni

DEDICATORIA

Al ángel que guía e ilumina mis pasos Mi Padre, sé que desde allá donde esté me protege y cuida de mí en el caminar de esta vida, de seguro está feliz que desde pequeño siempre me inculco cosas buenas para que logre mis estudios.

A mi pequeña familia querida mi madre Noralma Vanoni y a mi hermana Paola Canales por el apoyo constante y paciencia durante todos los años de mi preparación académica que esas palabras de aliento fueron fundamentales para seguir frente a cumplir mis objetivos.

“Todo parece imposible, hasta que se hace”

Néstor Daniel Canales Vanoni

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

En la presente investigación la metodología establece el cálculo de la huella hídrica de la producción de palma africana en Ecuador cuya herramienta es empleada para cuantificar el volumen de agua que utiliza el cultivo en los procesos de producción. Para ello se tomaron en cuenta datos meteorológicos como precipitación, insolación, humedad, temperatura y velocidad del viento los cuales permitió obtener datos de evapotranspiración del cultivo azul 1061,85 mm/año y verde 2311,07 mm/año, precipitación efectiva, requerimiento de riego por medio del software Cropwat 8.0 donde la huella hídrica determinó el volumen de agua de sus tres componentes; por medio de las precipitaciones (HHV 385,52 m³/ton), la cantidad que utiliza por medio de irrigación (HHA 131,97 m³/ton) y la cantidad de agua contaminada por la implementación de agroquímicos (HHG 89,07 m³/ton). La huella hídrica total del cultivo con mayor volumen promedio fue de 1255,09 correspondiente al año 2015.

La evaluación del agua virtual donde determino la cantidad de agua del producto que se exporta con el 41% de mayor exportación de agua correspondiente al año 2016, donde existe una diferencia significativa estadísticamente entre la media del agua virtual en las provincias de estudio, Esmeraldas 82,78 Mm³/ton/año es la provincia que mayor agua virtual exparto en relación a la provincia de Cotopaxi con una exportación de agua virtual menor 0,48 Mm³/ton/año.

Los precios en Ecuador de la fruta fresca de palma africana demuestran que en el 2018 existió una desvalorización del producto en comparación al año 2014 que existió una valoración elevada de \$149,27 por tonelada, la productividad del agua aparente para evidenciar el valor del agua por metro cubico con un promedio de 0,78 \$/m³ en el año 2014.

Las estrategias de manejo eficiente de los recursos hídricos dentro de los cultivos de palma africana de Ecuador, establece un conjunto de medidas como implementación de tecnologías en los sistemas de riego, sistemas de represamientos (abarradas) para la captación de agua lluvias, monitoreo de equipos y fuentes de agua entre otras, garantizando de manera eficiente el uso del agua con el objetivo de distribuirla de manera heterogénea.

En este estudio de acuerdo a los resultados obtenidos se debe considerar que los agricultores deben implementar esta herramienta para conocimiento de la cantidad de agua que utilizan en los procesos de producción de los cultivos y realizar la ejecución de las medidas y contribuir a la disminución los impactos ambientales causados y aplicar las alternativas de tecnológicas, sostenibilidad para una buena gestión del agua y mejorando al mismo tiempo la producción del cultivo.

Palabras clave: recursos hídricos, valoración, productividad, huella hídrica, sostenibilidad.

ABSTRACT AND KEYWORDS

In this investigation the methodology establishes the calculation of the water footprint of production the palm African in Ecuador whose tool is used to quantify the volume of water what using cultivation in processes the production. To this they were taken in into account as precipitation, sunstroke, humidity, temperature and wind speed of the which allowed get data the evapotranspiration from cultivation blue 1061,85 mm/año and green 2311,07 mm/año, effective precipitation, irrigation requirement by means the software Cropwat 8.0 where the water footprint determined the volume of water of its three components; by middle of the rainfall (HHV 385,52 m³/ton), the amount you use by middle the irrigation (HHA 131,97 m³/ton) and the amount of water contaminated by the implementation of agrochemicals (HHG 89,07 m³/ton). The water footprint total from cultivation with greater volume averaged was of 1255,09 corresponding to year 2015.

The evaluation from virtual water where determined the amount of water from the product that is exported with the 41% to greater export water corresponding a year 2016, where it exists a difference significant statistically among the average from the virtual water in the province of study, Esmeraldas 82,78 Mm³/ton/año is the province that greater virtual water export in relation to the province of Cotopaxi with an export of virtual water lesser 0,48 Mm³/ton/año.

The prices in Ecuador from the fresh fruit of African palm prove what in the 2018 existed a devaluation of the product in comparison to year 2014 existed a valuation elevated of \$149,27 per ton, the productivity of the water evidence of value from water per meter cubic with an average of 0,78 \$/m³ in the year 2014.

The strategies from efficient handling of the water resources within the crops on African palm to Ecuador, establish a set of measures as implementation technologies in systems irrigation, systems of resumption (albarradas) for the catchment to waters rains, monitoring of equipment and sources water among others, guaranteeing on way efficient use of water with the objective to distribute it way heterogeneous.

In this study of according to the results obtained it should have considered that farmers must implement this tool for knowledge of the amount of water they use in the processes from

production crops and make the execution of the measures and contribute to decrease the impacts environmental caused and applied the alternatives technological, sustainability for a good management water and improving to the same time crop production.

Keywords: water resources, valuation, productivity, water footprint, sustainability.

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Agua virtual en la producción de palma africana <i>Elaeis guineensis</i> en Ecuador, estrategias de manejo eficiente ante los impactos causados de la exportación”	
Autor:	Canales Vanoni Néstor Daniel	
Palabras Clave:	Recursos hídricos	Huella hídrica
	Productividad	Sostenibilidad
	Valoración	
Fecha de publicación:	Febrero, 2021	
Editorial:	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	
Resumen:	En la investigación la metodología establece el cálculo de la HH de la producción de palma africana en Ecuador herramienta es empleada cuantificar el volumen de agua que utiliza el cultivo en los procesos de producción. Para ello se toma en cuenta datos meteorológicos como precipitación, insolación, humedad, temperatura y velocidad del viento los cuales permitió obtener datos de evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva, requerimiento de riego por medio del Cropwat 8.0, la HH determino el volumen de agua de sus tres componentes; por medio de las precipitaciones (HHV), la cantidad que utiliza por medio de irrigación (HHA) y la cantidad de agua contaminada por la implementación de agroquímicos(HHG). El AV determinó la cantidad de agua del producto que se exporta con el 41% de exportación de agua en un año 2016, donde existe una diferencia significativa estadísticamente entre la media del agua virtual en las provincias de estudio ya que su Valor-P fue menor que 0,05. Los precios en Ecuador de la fruta fresca de palma africana demuestran que en el 2018 existió una desvalorización del producto en comparación al año 2014 que existió un valor elevado de \$149,27 por tonelada, la PPA evidencia el valor del agua por metro cubico con un promedio de 0,78 \$/m en 2014. Las estrategias de manejo eficiente de los recursos hídricos dentro de los cultivos de palma africana de	

	Ecuador, establece un conjunto de medidas como implementación de tecnologías en los sistemas de riego, sistemas de represamientos (abarradas) para la captación de agua lluvias, monitoreo de equipos y fuentes de agua entre otras, garantizando de manera eficiente el uso del agua con el objetivo de distribuirla de manera heterogénea. En este estudio de acuerdo a los resultados obtenidos se debe considerar que los agricultores deben implementar esta herramienta para conocimiento de la cantidad de agua que utilizan en los procesos de producción de los cultivos y realizar la ejecución de las medidas y contribuir a la disminución los impactos ambientales causados y aplicar las alternativas de tecnológicas, sostenibilidad para una buena gestión del agua y mejorando al mismo tiempo la producción del cultivo.
Descripción:	
URL:	

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHO	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ...	iii
CERTIFICADO DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS	x
CÓDIGO DUBLÍN	xii
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I	1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 PROBLEMATIZACIÓN	2
1.1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.2 Diagnóstico	2
1.1.3 Pronóstico	2
1.1.4 Formulación del problema.....	3
1.1.5 Sistematización del problema.....	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6

2.1	MARCO CONCEPTUAL	7
2.1.1	El Agua.....	7
2.1.2	Recursos Hídricos.....	7
2.1.3	Importancia del Agua	7
2.1.4	Disponibilidad del agua.....	7
2.1.5	Aguas Superficiales	8
2.1.6	Aguas Subterráneas	8
2.1.7	Distribución del Agua.....	8
2.1.8	Usos del Agua.....	8
2.1.9	Agua Virtual	9
2.1.10	Contenido de Agua Virtual.....	9
2.1.11	Importancia de Agua Virtual	9
2.1.12	Precipitación	9
2.1.13	Evaporación	10
2.1.14	Evapotranspiración ET	10
2.1.15	Huella Hídrica.....	10
2.1.16	Cropwat 8.0	11
2.1.17	Sostenibilidad	11
2.1.18	Uso de agua en la agricultura	12
2.1.19	Riego en la agricultura.....	12
2.1.20	Producción de palma africana.....	12
2.1.21	Importancia Económica del sector palmicultor	12
2.2	MARCO REFERENCIAL.....	13
2.3	MARCO LEGAL.....	16
CAPÍTULO III		18
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		18
3.1	Localización.....	19
3.1.1	Características edafoclimáticas de la zona	22
3.1.1.1	Altitud	22
3.1.1.2	Temperatura	22
3.1.1.3	Precipitación (mm)	22

3.1.1.4	Suelo	23
3.1.1.5	Cambios climáticos.....	23
3.2	Tipos de investigación	23
3.3	Métodos de investigación	23
3.3.1	Método deductivo	23
3.3.2	Método inductivo.....	23
3.3.3	Método descriptivo	24
3.4	Fuentes de recopilación de información	24
3.4.1	Fuente Primaria	24
3.4.2	Fuente Secundaria.....	24
3.4.3	Instrumento de investigación.....	24
3.5	Diseño de la investigación	25
3.5.1	Calcular el contenido de agua virtual de la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador	25
3.5.2	Analizar los impactos causados en la economía por la exportación del agua virtual de la producción de cultivo de palma africana en Ecuador.....	30
3.5.3	Diseñar las estrategias de manejo eficiente del agua en la producción cultivo de palma africana en Ecuador	31
3.6	Tratamiento de datos.....	31
3.7	Recursos materiales y humanos	32
CÁPITULO IV.....		33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		33
4.1	RESULTADOS	34
4.1.1	Contenido de agua virtual de la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador.....	34
4.1.2	Impactos causados por la exportación del agua virtual de la producción de cultivo de palma africana en Ecuador	48
4.1.3	Estrategias de manejo eficiente del agua en la producción cultivo de palma africana en Ecuador	50
4.2	DISCUSIÓN	53

CAPÍTULO V	55
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN	55
5.1 CONCLUSIÓN.....	56
5.2 RECOMENDACIÓN	58
CAPÍTULO VI.....	59
BIBLIOGRAFÍA	59
CAPÍTULO VII	64
ANEXOS	64
7.1 ANEXOS	65

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de Localización del estudio.....	19
Ilustración 2. Mapa de zonificación del cultivo de palma africana en Ecuador	20
Ilustración 3. Mapa de censo palmicultor en Ecuador	21
Ilustración 4. Procesos de Evapotranspiración.....	26
Ilustración 5. Estructura de presentación de las estrategias de manejo eficiente del agua	31
Ilustración 6. Huella Hídrica Total de la producción del cultivo de palma en cada provincia de los años estudiados 2014, 2015, 2016, 2017, 2018	42
Ilustración 7. Distribución porcentual de la Huella Hídrica Total nacional de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018	43
Ilustración 8. Agua Virtual Total exportada de la producción de palma africana de todas las provincias estudiadas de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018.	46
Ilustración 9. Intervalos de Tukey del Agua Virtual exportada de la producción de palma africana	47
Ilustración 10. Distribución porcentual por año del Agua Virtual exportada en Ecuador	47
Ilustración 11. Productividad Aparente del Agua de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evapotranspiración de la estación meteorológica Pichilingue	27
Tabla 2. Precipitación efectiva para la estación meteorológica Pichilingue	28
Tabla 3. Capacidad de humedad del suelo (mm/m)	28
Tabla 4. Información general del suelo	29
Tabla 5. Características del cultivo de palma africana	29
Tabla 6. Información específica de entidades importantes para el desarrollo	34
Tabla 7. Información primaria de la producción de palma fruta fresca en el Ecuador ...	35
Tabla 8. Evapotranspiración Azul y Verde de los cultivos de palma africana en Ecuador	36
Tabla 9. Uso de agua del cultivo (UAC) de la palma africana	36
Tabla 10. Huella Hídrica Azul y Huella Hídrica Verde para los cultivos de palma africana en Ecuador	37
Tabla 11. Huella Hídrica Gris para los cultivos de palma africana en Ecuador	39
Tabla 12. Huella Hídrica Total de producción de los cultivos de palma africana de la zona en Ecuador	40
Tabla 13. Información de exportación del aceite crudo de palma en Ecuador	44
Tabla 14. Agua Virtual a causa de la exportación del aceite crudo de palma africana de la zona norte del Ecuador	44
Tabla 15. Precio nacional de fruta fresca de palma africana	48
Tabla 16. Productividad Aparente del Agua de la zona norte del Ecuador	48
Tabla 17. Estrategias de manejo eficiente del agua en la producción del cultivo de palma africana	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	25
Ecuación 2	25
Ecuación 3	25
Ecuación 4	25
Ecuación 5	26
Ecuación 6	26
Ecuación 7	30
Ecuación 8	30

INTRODUCCIÓN

La agricultura es obviamente el sector que consume más agua que representa aproximadamente el 70% de todas las extracciones de agua dulce a nivel mundial, y más del 90% en la mayoría de los países menos desarrollados del mundo, el crecimiento de la producción de agua (es decir promover más cosechas o valor por cantidad de agua utilizada) es la manera más considerable para la administración del requerimiento de agua en la agricultura, las tasas de crecimiento actuales de la demanda agrícola de recursos de agua dulce son insostenibles (1).

El cultivo de palma africana actualmente en el mundo existe alrededor de 18 millones de hectáreas cultivadas con palma aceitera, la mayor parte está concentrada en dos países Indonesia y Malasia. La producción de ambos países representa el 86% de la producción mundial. Ecuador, Colombia, Brasil y Perú son los principales países productores de aceite de palma en Sudamérica (2).

En el Ecuador se ha constituido en uno de los principales rubros agroindustriales, mostrando un crecimiento sostenido debido, entre otros factores, a ser muy rentable y a la alta demanda del mercado de productos y subproductos de la palma africana. Este cultivo representa un gran aporte al PIB agropecuario, confirma la importancia de este cultivo en la economía nacional, afirma que el país de ser importador de aceite de palma y grasas combustibles, pasó a ser exportador de estos productos (3).

Esta investigación buscará determinar la cantidad de Agua Virtual que se exporta y la cantidad de agua que utiliza en el proceso de producción del cultivo de palma africana del Ecuador mediante el método de Huella Hídrica, aplicando estrategias de manejo eficiente de los recursos hídricos.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PROBLEMATIZACIÓN

1.1.1 Planteamiento del problema

Los problemas ambientales del recurso hídrico están relacionados con los diferentes sistemas de uso dentro de las actividades productivas de los cultivos de palma africana, la producción agrícola es uno de los pilares principales de la economía nacional. La importancia económica del sector agrícola en el Ecuador, tiene consecuencias sobre el medio ambiente en efecto, el uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes entre otros, que tienen impactos negativos como es la contaminación del agua, de los suelos, de los alimentos y afectaciones a la salud.

La problemática radica en la demanda excesiva de los recursos hídricos por medio de irrigación para satisfacer las necesidades del cultivo de palma africana dentro de su producción agrícola, el mismo que esta actividad incide sobre su calidad.

1.1.2 Diagnóstico

En el Ecuador la superficie sembrada de palma aceitera es de 267.760 hectáreas con 8150 plantaciones, la mayor parte de las plantaciones se encuentra en las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas y Los Ríos. El agua es imprescindible en el cultivo debido a que está compuesto del 80% de agua, sin embargo del total de agua absorbido por las raíces solamente el 5% de esta es retenida por la planta (4). El excesivo consumo de agua de la producción agrícola palmicultora en Ecuador radica en la extracción por medio del riego siendo uno de los métodos más empleados lo que indica ser la forma de uso consecutivo más demandante de agua debido a la carencia de un Plan de Manejo Integral y Sostenible de los recursos hídricos, en las haciendas y fincas en las cuales debe implementar una albarrada propia.

1.1.3 Pronóstico

La sobreexplotación de los recursos hídricos, ocasiona la escasez de aguas superficiales y aguas subterráneas que implicara riesgos a la fauna que vive en estos hábitad que dependen de estos recursos. La carencia del agua por el aumento de la demanda en el sector agrícola puede llegar a que países exportadores de agua virtual dejen de serlo tanto por su imposibilidad natural, debido a que los productos agrícolas son de alto requerimiento, por ello es necesario que la gestión del agua tenga como objetivo lograr un uso eficiente.

1.1.4 Formulación del problema

¿Es probable, que la ausencia de evaluación y predicción del Agua Virtual y Huella Hídrica, en el manejo inadecuado de los recursos hídricos en los cultivos agrícolas de palma africana en el Ecuador, generen un impacto ambiental?

1.1.5 Sistematización del problema

Variable Independiente: Cultivo de Palma Africana

¿De qué manera afecta la tala de bosques para la siembra de los cultivos de palma africana a la biodiversidad?

¿Cuál es el componente ambiental principal afectado en los procesos de producción del cultivo de palma africana en el Ecuador?

¿De qué manera influyen los procesos realizados en el cultivo de palma en los recursos hídricos?

¿Cuáles son las actividades que conducen a una erosión de suelo dentro de los cultivos de palma africana en el Ecuador?

Variable dependiente: Agua Virtual

¿Cuán factible es la evaluación de la Huella Hídrica dentro de los procesos de producción de los cultivos de palma africana?

¿Cuán probable es predecir la cantidad de agua virtual exportada en el producto agrícola?

¿De qué manera influye el análisis económico de la productividad del cultivo de palma africana en el Ecuador?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar el agua virtual en la producción de palma africana (*Elaeis guineensis*) en Ecuador, estrategias de manejo eficiente ante los impactos causados de la exportación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular el contenido de agua virtual de la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador
- Analizar los impactos causados por la exportación del agua virtual de la producción de cultivo de palma africana en Ecuador
- Diseñar las estrategias de manejo eficiente del agua en la producción cultivo de palma africana en Ecuador.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La importancia del estudio nace por el excesivo uso que sufren los cuerpos de aguas en la actualidad, debido a los escasos asesoramiento técnico solicitado por el ser humano al realizar sus actividades productivas, alterando los ecosistemas y afectando las actividades fundamentales para la conservación del ambiente y de los recursos naturales, al tiempo que hay efectos negativos para los sectores rurales que dependen de la actividad agropecuaria, por lo que se precisa una gestión integral de los recursos hídricos (5).

Los impactos causados por la exportación del agua virtual son ocasionados por el comercio agrícola; siendo el sector que más agua utiliza, estos flujos comerciales tienen gran impacto en los procesos de producción, el comercio del agua virtual puede considerarse como una gestión del suministro, puesto que la cantidad de agua disponible crece por el contenido en los productos exportados o importados.

Las estrategias del manejo de los recursos hídricos en la agricultura, un proceso útil para lo que permite su aplicación en la búsqueda de soluciones a los diversos problemas tales como escasez, inundación, pérdida de la biodiversidad, contaminación y degradación de la calidad del agua, que afecten a la gestión sostenible de los recursos hídricos contribuyendo a disminuir los factores que provocan vulnerabilidad de los acuíferos.

La inserción de los estudios de investigación conexos a la erradicación de los impactos ambientales provocados por medio las actividades agrícolas conceden un conjunto de información y detalles técnicos que logran diagnosticar la necesidad de agua que los cultivos requieran a futuro para su rendimiento y un desarrollo óptimo de los cultivos específicamente al sector palmicultor.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 El Agua

Los recursos de agua dulce del mundo se renuevan a través de un ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía - comúnmente conocido como el ciclo del agua - que determina su distribución y disponibilidad a través del tiempo y el espacio. El agua impregna todos los aspectos de la vida en la Tierra, es un componente esencial de las economías nacionales y locales. La mitad de la mano de obra mundial está empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: agricultura, bosques, pesca, energía, producción con uso intensivo de recursos, reciclaje, construcción y transportes (6).

2.1.2 Recursos Hídricos

Los recursos hidrológicos son aquellos cuerpos de agua que se encuentran en el planeta, desde la masa de agua más grande (océano) hasta los cuerpos de agua más pequeños (ríos, lagos, arroyos). Estos patrimonios deben preservarse y manipularse de manera racional ya que son esenciales para la subsistencia de los seres vivos (7).

2.1.3 Importancia del Agua

La importancia del agua es vital; por ello, es necesario recordar que el agua es un recurso finito y vulnerable que requiere cuidados para lograr un desarrollo sostenible de la vida y del medio ambiente. La diferencia entre tener o no tener agua es la misma que entre la vida y la muerte, por eso todo los Objetivos del Desarrollo Sostenible tienen que ver con el agua y especialmente el objetivo seis. El agua es un bien imprescindible para la vida; de hecho, las propiedades físicas que esta tiene son las que hicieron posible que la vida se desarrollase en nuestro planeta (8).

2.1.4 Disponibilidad del agua

El agua dulce proviene de la precipitación pluvial generada por la evaporación del agua de los océanos y mares. Como parte del ciclo hidrológico, anualmente llueven 110.000 km³ de agua, de los cuales 70.000 se evaporan. El resto, 40.000 km³, está distribuido de manera muy desigual en las distintas regiones de la tierra y las dos terceras partes de ellos se pierden (5).

2.1.5 Aguas Superficiales

Las aguas superficiales son toda aquella que se localizan en la superficie del suelo. Son formadas por escorrentías que se forman de las precipitaciones y que en ocasiones son captadas de las aguas subterráneas. Pueden mostrarse como cuencas de agua que se mueven en una dirección como ríos, esteros o como aguas en descanso como los lagos (9). En Ecuador el volumen total de recursos hídricos superficiales es de 361 747 hm³, que se distribuyen en: Amazonía, 65,9 %; Costa, 17,6 %, Sierra, 16,5 % (10).

2.1.6 Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas son muy importantes como recurso hídrico ya que constituyen la mayor reserva de agua dulce accesible. Su papel en el ecosistema es esencial pues mantienen manantiales, lagos, lagunas, humedales y caudales de ríos. Además, regulan el agua dulce y marina en los acuíferos costeros (11). En Ecuador la disponibilidad promedio de recursos hídricos subterráneos es de 56 556 hm³; de este total 15 136 hm³ corresponden a la región Litoral, 8 381 hm³ a la región Interandina y 33 037 hm³ a la región Amazónica (10)

2.1.7 Distribución del Agua

El cambio climático exacerba los riesgos asociados con variaciones en la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos. Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego. La disponibilidad de agua se enfrenta a las presiones de la contaminación. Se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente en casi todas partes hasta 2030 (12).

2.1.8 Usos del Agua

El agua tiene una diversidad de usos, que se clasifican de la siguiente manera, los usos consuntivos son aquellos que consumen o extraen el agua de su fuente de origen y no regresan de forma inmediata al ciclo del agua, los usos consuntivos más frecuentes son, agropecuarios, domésticos e industriales, mientras los usos no consuntivos pueden ser descritos por ciertas características del agua o por los beneficios que proporcionan al ecosistema, estos usos se clasifican, transporte, energía hidroeléctrica, usos recreativos y el agua como hábitat (13).

2.1.9 Agua Virtual

El agua virtual, concepto introducido por Allan (1993), se define como el volumen de agua consumido durante todo el proceso de elaboración de un producto. Este concepto ayuda a tomar conciencia de la cantidad de agua utilizada en cada región para un producto y lo que es más importante determinar los flujos existentes de agua a través de la importación y exportación de productos con respecto a otros territorios (14).

2.1.10 Contenido de Agua Virtual

Los productos de origen animal representan una cantidad de agua virtual mucho mayor que la de los productos agrícolas y, en general, mientras mayor sea el grado de procesamiento de un producto, mayor será su contenido de agua virtual. Se ha determinado que una alimentación basada en productos animales tiene un mayor consumo de agua que una dieta vegetariana (un promedio de 4000 litros de agua al día frente a 1500). (15).

2.1.11 Importancia de Agua Virtual

Las complicaciones hídricas están profundamente relacionadas con la economía a nivel mundial. Varios países han externalizado elocuentemente su huella hídrica al importar bienes de otros territorios donde requieren una alta cantidad de agua para su producción. La importancia de considerar el agua virtual podría estar en que puede ayudar a hallar soluciones válidas e inteligentes, al problema de escasez de agua que padecen muchos países áridos (16).

2.1.12 Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (17).

Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación:

- Saturación y condensación isobárica (a presión constante),
- Saturación y condensación por presión adiabática,
- Saturación y condensación por presión de vapor de agua,
- Saturación por mezcla y turbulencia.

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales (17).

2.1.13 Evaporación

Desde la superficie de la Tierra se transfiere el agua hacia la atmósfera mediante la evaporación, proceso por el cual el agua superficial cambia del estado líquido al gaseoso. Aproximadamente el 80 % del agua evaporada total proviene de los océanos, mientras que el 20 % restante lo hace del agua de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación. Los vientos transportan el agua evaporada (18).

2.1.14 Evapotranspiración (ET)

Es la incorporación de la evaporación de la superficie terrestre más la transpiración de los cultivos, que traslada el agua de la superficie a la atmósfera en manera de vapor que requiere de energía solar para que la evapotranspiración ocurra (para que el agua se convierta en gaseosa). Es el mecanismo crítico del balance hidrológico y energético de las interacciones clima-suelo-vegetación, útil para (19):

- Establecer el consumo agrícola del agua
- Calcular condiciones de sequía
- El progreso de balances hidrológicos
- El monitoreo del agotamiento de recursos hídricos.
- El cuidado de los cultivos y presupuestos de carbono.

2.1.15 Huella Hídrica

La huella hídrica (HH) es un indicador de toda el agua que utilizamos en nuestra vida diaria; la que utilizamos para producir nuestra comida, en procesos industriales y generación de energía, así como la que ensuciamos y contaminamos a través de esos mismos procesos. Nos permite conocer el volumen de agua que aprovecha ya sea un individuo, un grupo de personas o

consumidores, una región, país o la humanidad en su conjunto (20). La Huella Hídrica considera únicamente el agua dulce y se conforma de 4 componentes básicos:

- Volumen
- Color/clasificación del agua
- Lugar de origen del agua
- Momento de extracción del agua

La HH considera la fuente de donde proviene el agua y, en función de ello, la clasifica en tres tipos: azul, verde y gris (20).

2.1.16 Cropwat 8.0

Es un programa informático desarrollado por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-ONU), que permite la deducción del requerimiento de agua de los cultivos y los requerimientos de riego en función de la información del suelo, clima y los cultivos. Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CROPWAT 8.0 se basan en las dos publicaciones de la FAO de la Serie de Riego y Drenaje N° 56 "Evapotranspiración de cultivos - Directrices para calcular los requisitos de agua para cultivos". En el caso de no poseer datos completos sobre el clima del sector en donde se quiere estudiar el cultivo, se puede emplear una herramienta complementaria que es el CLIMWAT 2.0.

Para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo, se requiere del valor de la evapotranspiración, al no obtener estos valores, se puede ingresar al programa datos de temperatura ambiental, radiación solar, humedad del suelo y velocidad del viento y el programa genera el resultado de la evapotranspiración (21).

2.1.17 Sostenibilidad

Es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987). Es decir, advirtiéndole que la generación actual debe saber administrar los recursos que nos brinda la naturaleza para que las generaciones venideras puedan desarrollar un nivel de vida con las mismas o mejores posibilidades (22).

2.1.18 Uso de agua en la agricultura

El uso del agua para las actividades agrícolas es un tema importante en cualquier disputa sobre los recursos hidrológicos y la seguridad alimentaria. En la agricultura se usa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos (23). Cuando se riega un cultivo, se aplica una cantidad de agua superior a la que éste consume. Esto es así porque los sistemas de riego nunca son completamente eficientes. Además, es necesario que una cierta cantidad de agua circule a través del suelo y arrastre sales y otros compuestos. La contaminación de las masas de agua por sales, fertilizantes y pesticidas provenientes del regadío es un problema creciente en muchas áreas del mundo (24).

2.1.19 Riego en la agricultura

La superficie cultivada en el mundo es de 1.557 millones de hectáreas, y de estas, 324 millones corresponden a superficie de regadío, es decir, el 20% del total. En este 20% de superficie agrícola se concentra el 40% de la producción de alimentos (25). La superficie potencialmente regable en el Ecuador es de 3'136.000 hectáreas, considerando la aptitud de los suelos y recursos disponibles, en el año 2018 se estima, que a nivel nacional el 21,1% de la superficie cultivada del Ecuador se regó (1.010.977,45 hectáreas) por diferentes métodos de riego que son mediante surcos-inundación, aspersión, micro aspersión, goteo, nebulización y otros. Dentro del cultivo de palma africana la superficie bajo riego es de 10,4% de las 267.760 hectáreas cultivadas (26).

2.1.20 Producción de palma africana

La producción de palma africana es un auge en la economía mundial, debido a los diferentes derivados que se extraen de ella, lo que ocasiona una amplia demanda, lo cual ha acaparado a pequeños y grandes productores que hoy se dedican a su siembra, ha llegado a convertirse en el sostén económico de cientos de hogares en América Latina. Ecuador cuenta con una extensa cantidad de hectáreas cultivadas de palma en las regiones oriental y costera, tornándose en pilar fundamental del crecimiento económico del país (27).

2.1.21 Importancia Económica del sector palmicultor

El Ecuador es el séptimo país exportador de aceite de palma y sus productos derivados a nivel mundial, la producción de palma ha tenido un crecimiento del 8% en promedio anual, en el periodo 2010- 2016, constituyendo el séptimo producto agrícola de exportación del país. En los

últimos 5 años, el 42% del aceite de palma producido en Ecuador se consumió internamente, mientras que el 58% fue exportado como aceite crudo de palma y como productos semi-elaborados y elaborados, generando 271 millones en divisas de exportación, este sector constituye el 4% del PIB agrícola del Ecuador, contribuyendo de forma positiva al equilibrio de la balanza comercial del país (28).

2.2 MARCO REFERENCIAL

Al principio de los años 90 el concepto de "agua virtual" fue introducido por Tony Allan. Eso tardó casi una década en obtener el reconocimiento mundial de la importancia del concepto para alcanzar el nivel regional y mundial seguridad del agua, Hoekstra en el 2002 implementa el término de huella hídrica como un indicador del uso del agua de las actividades tanto directas como indirectas de un consumidor o producto (29).

En una investigación realizada por Solange Pérez en 2012, titulada *“Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador”*, en la que plantea evaluar el impacto en la huella hídrica y el agua virtual en la producción de 12 cultivos ecuatorianos incorporando cinco en la exportación, utilizando la metodología descrita por Hoekstra, lo que cuantifica el volumen de agua utilizada en la producción agrícolas en Ecuador. La HH total comprende 26.588 m³ de los 12 cultivos en el año 2009 lo que presenta grandes variaciones en su forma de producción y 15.495 m³ de agua que es exportada en los cinco cultivos (cacao, plátano, palma, café y banano) en presentación de agua virtual durante el año 2009. Los cultivos industriales (café, cacao) los que mayor volumen de agua usa y contienen una mayor huella hídrica.

El presente estudio científico realizado en 2010 por D. Chico, G. Salmoral, A. Garrido titulado *“La huella de agua y las exportaciones de agua virtual de tomates españoles”* analiza los promedios de huella verde 3%, huella azul 36% y huella gris 58% de la producción de tomate determinando que la Huella Hídrica Total de 1 kilogramo de tomates producidos en España es aproximadamente 236 l/kg como promedio nacional, evalúan la productividad aparente del agua entre diferentes sistemas de producción y temporadas, de enero a mayo la productividad aparente del agua es 7,5 €/m³ de junio a septiembre 2,7 €/m³ y al final de temporada aumentó respectivamente a 9,5 €/m³, evalúan la exportación de agua virtual de tomate las que representan un 2,5% del total de la exportaciones, en términos económicos un 8,81 €/m³. Estos promedios

varían mucho dependiendo del sistema de manejo de cultivos, agua, ubicación y clima, mientras comprueban diferencias importantes en la productividad aparente que puede estar relacionada al precio, la exportación de agua virtual representa un porcentaje significativo del total de las exportaciones españolas.

En el estudio realizado en 2017 por Myrian Cabezas y Dayana Gonzales titulado ***“Determinación de la huella hídrica y del agua virtual en una plantación de banano como producto de exportación en la finca Santa Narcisa; en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas”***, proponen que mediante la determinación de la huella Hídrica y el Agua Virtual en las etapas de cultivo y procesamiento del banano previo a su exportación, buscar el uso eficiente del agua, identificando los puntos críticos en la etapa de pos cosecha con el fin de proporcionar alternativas para una mejora en el rendimiento del cultivo y por medio de la evaluación de la calidad de los recursos hídricos, plantear estrategias para disminuir su nivel de contaminación. En la finca de estudio los puntos críticos donde se consume gran volumen de agua constituyen los procesos de riego donde se utiliza un volumen total de agua de 7834,042 m³/año y en el lavado del producto donde se requiere el uso de 1843,2 m³/año.

En el documento científico de A.Y. Hoekstra y P.Q Hung ***“Virtual wáter trade: A quantification of virtual wáter flows between nations in relation to international crop trade”***, los autores destacan en estimar la cantidad de agua necesaria para producir cultivos en diferentes países y cuantificar el volumen de todos los flujos virtuales del comercio de agua entre naciones y poner el balance en el contexto de las necesidades y su disponibilidad del agua. Las estimaciones de los requerimientos de agua dependen de los diferentes tipos de cultivos.

Wilian Pinzón y Diego Palacios en su investigación realizada en 2015 titulada ***“Determinación de la huella hídrica en el cultivo de palma de aceite en la empresa Guaicaramo S.A.”*** permitió caracterizar la cantidad de agua consumida en un sistema productivo e identificando los riesgos potenciales en la utilización del agua, proporcionando tomar medidas sobre cómo manejar el recurso hídrico y gestionar procesos productivos más eficientes y sostenibles estableciendo políticas y acciones concretas para minimizar el consumo del agua. La Huella Hídrica del cultivo de palma aceitera africana es de 11.643 m³/ton en Guaicaramo lo que representa tan solo el 0.02% de la Huella Hídrica total de Colombia, el cultivo de palma africana en el comercio

internacional representa aproximadamente el 3% del volumen global tras del algodón, soya, trigo, cacao y el café.

En el estudio realizado en 2018 por Johnny Álvarez y Diego Nicolalde titulado ***“Impacto y potencialidades en la exportación de productos derivados de la palma con valor agregado del Ecuador en el período 2010-2017”*** proponen analizar los impactos y potencialidades de las exportaciones de los subproductos del aceite de palma, lo que se evidencio en resultados que el sector palmicultor tiene un fuerte potencial en el mercado internacional y se vuelve representativo con las exportaciones de productos con valor agregado, demostrando una tasa de crecimiento bastante significativo de las exportaciones de los productos derivados de palma con valor agregado al PIB agrícola. Las exportaciones de aceite de palma con valor agregado y las exportaciones de aceite de palma crudo generan una contribución del 3,15% y 3,98% al PIB agrícola del Ecuador. En el período analizado las exportaciones de estos productos generaron 313´074.000 dólares. La participación del aceite de palma en PIB agrícola en el año 2017 fue del 4,53%.

En el estudio científico realizado por Naisly Tovar, Juan Trujillo, Sergio Muñoz, Marco Torres, Erika Zárate en 2017 titulado ***“Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica”*** el cultivo de palma de aceite fue el mayor consumidor de huella hídrica verde con 9030 m³/ha/año y 2.967 m³/ha/año de huella hídrica azul, el mayor volumen se presenta en el mes de enero sin embargo la demanda de riego inicia en noviembre para garantizar el recurso en época seca, se muestran que existe un equilibrio entre el uso y la disponibilidad del agua verde en la zona de estudio, situación que no se presenta con el agua azul, ya que en los meses secos la demanda supera la oferta hídrica azul con la que se cuenta. Permitiendo que la aplicación de Huella Hídrica sea una herramienta importante para la gestión y planificación del recurso hídrico, ya que proporciona información sobre el consumo y disponibilidad.

2.3 MARCO LEGAL

Constitución de la república del Ecuador (Registro Oficial 449 de 20 de octubre, 2008)

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Código Orgánico del Ambiente (Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril, 2017).

Art. 30.- Objetivos del Estado. Literal 7. Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Art. 191.- del monitoreo de la calidad del aire, aguay suelo. La Autoridad Ambiental Nacional el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizaran el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Registro Oficial Suplemento 483 del 20 de abril, 2015)

Sistema nacional estratégico del agua

Art. 1.- composición del sistema nacional estratégico del agua. - de acuerdo con lo previsto en el artículo 15 de la ley orgánica de los Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, el Sistema Nacional del Agua está compuesto por:

1. La autoridad Única del Agua, quien los dirige;

2. El Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua;
3. Los Ministerios de Agricultura, Salud y Ambiente, y los demás que se dispongan por Decreto Ejecutivo;
4. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados; y
5. Los Consejos de Cuenca.

Art. 34.- Principios Generales. - La planificación hídrica se orientará a la satisfacción de las demandas de agua y a la protección del recurso y de los ecosistemas en los que ésta se encuentra. Igualmente servirá para el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio y los recursos naturales.

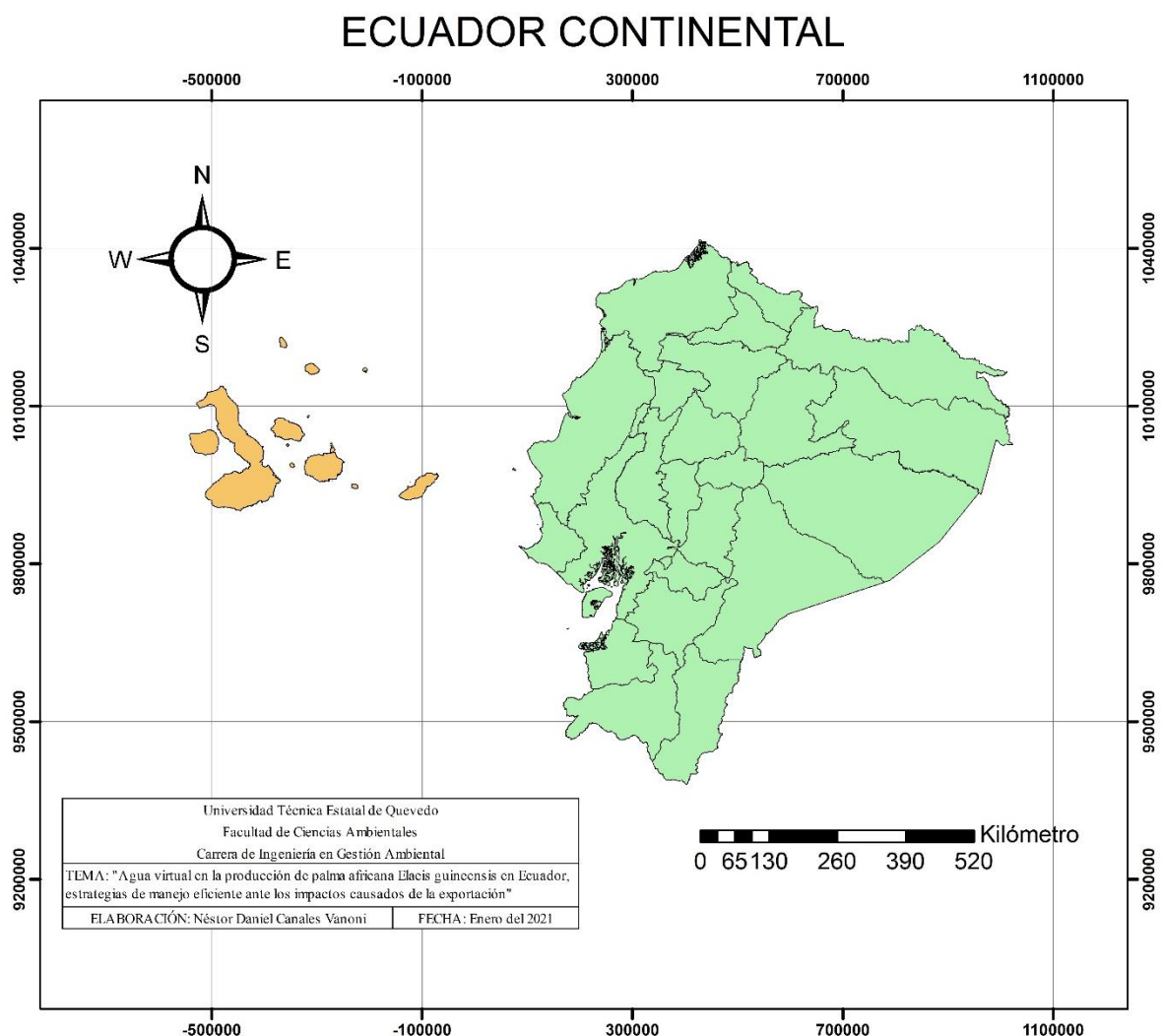
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

El lugar de estudio de esta investigación se realizó en el Ecuador ubicado al noroeste de América del Sur en la zona tórrida del continente americano, que tiene límites en la parte norte Colombia y en la parte austral este Perú y al oeste el Océano Pacífico. Siendo el más pequeño de los países andinos con una superficie aproximadamente de 262,826 km², teniendo la Cordillera de los Andes que se encuentra atravesada de norte a sur, que divide los sistemas hidrográficos del Ecuador en tres regiones costa, sierra y oriente, además cuenta con un archipiélago llamado Islas Galápagos ubicado a 1000 km de la costa en el Océano Pacífico con una extensión 7844 km² siendo esta la Región Insular, lo que lo caracteriza un país mega diverso.

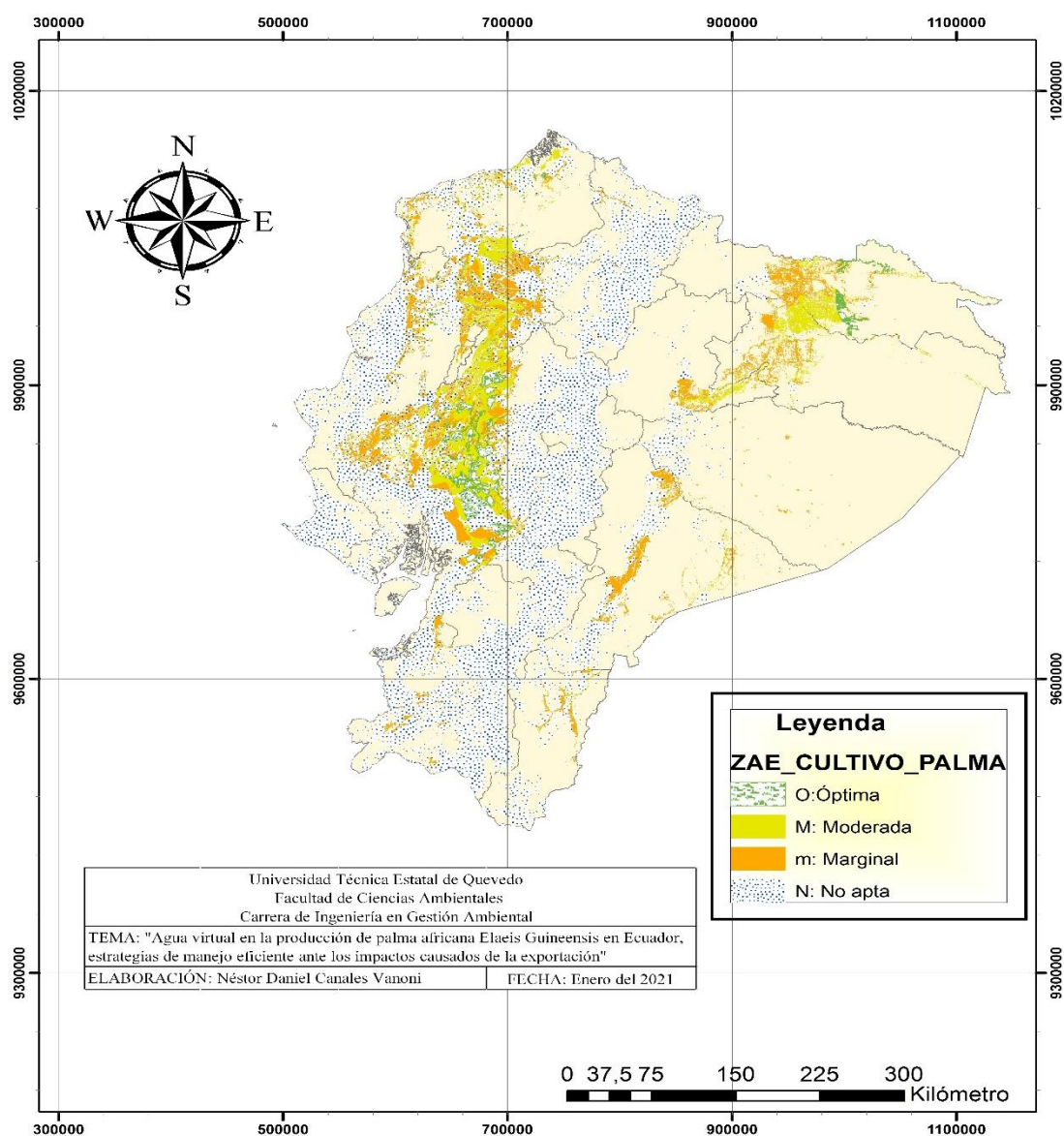
Ilustración 1. Mapa de Localización del estudio



Elaborado: Autor, 2021

Se presenta a continuación el mapa de zonificación agroecológica del cultivo de palma africana, con la importancia de considerar las potencialidades y condiciones del cultivo de acuerdo con las variables edáficas, climáticas y relieve, e identifica las zonas aptas para la siembra evitando introducirlas dentro las áreas protegidas, para eso el mapa determino los siguientes niveles susceptibles de producción para el cultivo de palma africana; zona optima 212.323 hectáreas, zona moderada 853.571 hectáreas, zona de aptitud marginal 1 278.149 hectáreas y zona no apta 6 805.336 hectáreas.

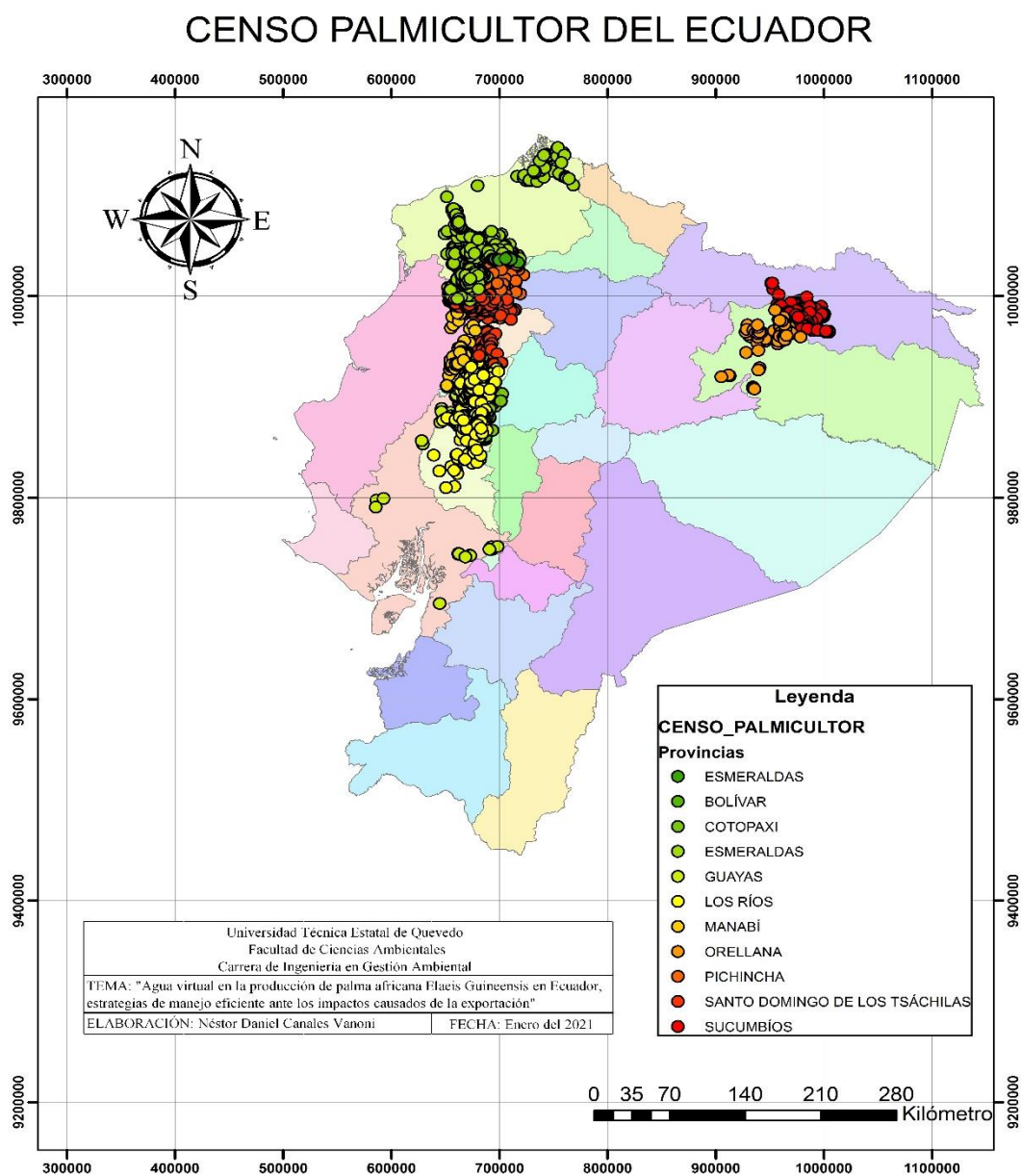
Ilustración 2. Mapa de zonificación del cultivo de palma africana en Ecuador
ZONIFICACIÓN DE CULTIVO DE PALMA AFRICANA



Elaborado: Autor, 2021

El censo palmicultor del Ecuador se presenta en el siguiente mapa, con el fin de identificar la ubicación de 8149 predios con un número de productores de 6568 en una superficie de 257.121 hectáreas sembradas distribuidas por todas las provincias, Esmeraldas posee la mayor plantaciones 3280 con un área de 116.430 hectáreas seguida de Manabí y Los Ríos con 994 y 913 plantaciones respectivamente, es necesario aclarar que en este estudio se tomó en cuenta 8 de las 24 provincias, por motivo de escasez de información.

Ilustración 3. Mapa de censo palmicultor en Ecuador



Elaborado: Autor, 2021

3.1.1 Características edafoclimáticas de la zona

3.1.1.1 Altitud (msnm)

El Ecuador posee una altitud que varía, en la Región Sierra hasta alturas absolutas que llegan hasta los 6 310 msnm correspondiente al volcán Chimborazo y en la región costa hasta el Norte en la provincia de Esmeraldas, las elevaciones varían entre 200 y 600 msnm que pertenecen a una extensa cuenca que se expande hacia el océano Pacífico (30).

3.1.1.2 Temperatura (°C)

Debido a la presencia de la cordillera de los Andes, por la influencia del mar y por la ubicación tropical, el Ecuador presenta variedad de climas y cambios considerables. En la Costa se caracteriza por un clima tropical árido al suroeste, seco a húmedo hacia el centro-sur y muy húmedo al norte con una la temperatura promedio de toda la región oscila entre los 24 y 25 °C, aunque puede llegar a ser menor a 22 °C en zonas de cordillera, en la Región Sierra la temperatura está vinculada estrechamente con la altura que se caracteriza por un clima tropical muy húmedo en zonas de transición hacia el litoral y Amazonía, templado semi-húmedo a húmedo en la zona interandina, cálido y seco en los valles interandinos y frío de alta montaña en los páramos, los valores promedio varían entre 8 y 20 °C, la Región Oriental o Amazónica también conocida como Oriente, se caracteriza por un clima tropical muy húmedo en toda la región durante todo el año, debido a la retención de humedad por los grandes bosques amazónicos, la temperatura promedio es de 24 y 25 °C, la cual fluctúa muy poco, con máximos de hasta 40 °C en el mes de mayo, y en el Litoral e Islas Galápagos se caracteriza por un clima árido a muy seco en los bordes litorales y semi-húmedo a húmedo conforme aumenta la altura, la temperatura promedio se establece de 23 °C (31).

3.1.1.3 Precipitación (mm)

La precipitación en la región Costa, sus niveles de anual varían de menos de 60 mm (península de Santa Elena) a más de 2000 mm, dependiendo de la ubicación con respecto a la zona de influencia de la corriente de Humboldt, en la región Sierra el promedio anual de las precipitaciones varía entre 800 y 1500 mm, a excepción de la zona del valle del Chota (300 mm) y el valle Jubones (400 mm), en la Región Oriental o Amazónica se registra el máximo de precipitación (>4500 mm) de todo el país, en las Islas Galápagos Las características pluviométricas también varían con la altitud (31).

3.1.1.4 Suelo

Los suelos en el Ecuador se evidencian un desarrollo primario estable, asociado especialmente al sector agroindustria, que se favorece del uso conveniente del suelo agrícola. Lo que explica su uso predominante para la gran variedad de cultivos que son exportados para el consumo (30).

3.1.1.5 Cambios climáticos

Con respecto al ambiente, el Ecuador toma absolutamente su protección y la garantía de los derechos a la naturaleza. El desarrollo productivo tiene que ser congruente con el medio, con la sustentabilidad ambiental, que debe tener en cuenta la recuperación, uso eficiente y conservación de los recursos hídricos. Esto involucra en el manejo comprometido con los recursos naturales para provecho colectivo de la humanidad, la protección de la biodiversidad y la implementación de una respuesta correcta al cambio climático, que promueve la resiliencia de las comunidades (30).

3.2 Tipos de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se consideró métodos para el análisis deductivo, inductivo y descriptivo para describir e interpretar las estadísticas sectoriales y caracterizar los elementos de la producción y exportación del cultivo de palma aceitera.

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Método deductivo

El método deductivo se utilizó en este estudio debido a que la investigación se basó en información de diferentes estudios a nivel nacional e internacional, bajo la aplicación de los diferentes softwares informáticos y datos existentes, una vez observadas las variables a averiguar en lo más extenso, estricto y específico, se llegó a la afirmación y justificación de las posibles causas que afectan lo estudiado.

3.3.2 Método inductivo

La aplicación de este método en la investigación se basó en el planteamiento del modelo Cropwat 8.0 del cual se obtuvo resultados de la evapotranspiración del cultivo que permitió conocer la realidad del problema a cabo de la aplicación de riego y obtener una perspectiva mucho más amplia para cuantificar la huella hídrica del cultivo de palma.

3.3.3 Método descriptivo

Mediante la utilización de este método permitió la interpretación y descripción de los datos obtenidos de producción, exportación y resultados mediante las técnicas de evaluación de Agua Virtual y de Huella Hídrica.

3.4 Fuentes de recopilación de información

3.4.1 Fuente Primaria

Las fuentes de información primarias fueron aquellas que permitió obtener datos cuantitativos y cualitativos referentes a la producción, exportación y superficie plantada del cultivo de palma africana en Ecuador, entre estas fuentes se destacan: visitas, requerimientos de información vía mail a instituciones gubernamentales y no gubernamentales.

3.4.2 Fuente Secundaria

Las fuentes de información secundaria estuvieron integradas a la revisión de artículos científicos, informes, tesis doctorales, proyectos de investigaciones nacionales e internacionales relacionadas a la evaluación de exportación de agua virtual de productos agrícolas como también la evaluación de huella hídrica del cultivo de palma. Se tomó información de documentos esenciales como el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica y también un de los más significativos realizados por la FAO en el año 2012 y el manual de la Evapotranspiración del cultivo.

3.4.3 Instrumento de investigación

Para la determinación de la huella hídrica se utilizó el modelo Cropwat 8.0 y Climwat 2.0 obteniendo valores de evapotranspiración del cultivo de palma africana con los datos atmosféricos de las estaciones meteorológicas Pichilingue, Concordia y Milagro (Ingenio Valdez).

3.5 Diseño de la investigación

3.5.1 Calcular el contenido de agua virtual de la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador

3.5.1.1 Contabilización de la Huella Hídrica

Para el cálculo se identifica la eficacia y la finalidad de la investigación, la determinación de la Huella hídrica es el modelo a seguir para luego establecer medidas apropiadas y contrarrestar los impactos generados en los recursos hídricos, ya que solamente se incluye en este estudio la producción agrícola de palma fruta fresca de cada provincial a nivel nacional.

Para la evaluación de la Huella Hídrica del crecimiento del cultivo se estima a partir de la sumatoria de sus tres componentes por lo que el cálculo se obtiene con la siguiente ecuación;

$$HH_{cultivo} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \text{ [m}^3/\text{ton]} \quad \text{Ecuación 1}$$

la determinación de la HH verde proveniente de la precipitación (lluvia) y HH azul proviene de la irrigación (riego). Para el cálculo de estos dos componentes se estima las siguientes ecuaciones;

$$HH_{verde} = \frac{UAC_{verde}}{Y} \text{ (m}^3/\text{ton)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$HH_{azul} = \frac{UAC_{azul}}{Y} \text{ (m}^3/\text{ton)} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde Y es el rendimiento del cultivo expresado en ton/ha, y UAC es el uso del cultivo expresado en m³/ha.

La Huella Gris es un indicador que determinar el grado de contaminación que posee el agua, en el sector de la agricultura los contaminantes primordiales son NPK en fertilizantes e insecticidas, el principal contaminante seleccionado fue el Nitrógeno siendo el más empleado en las plantaciones, se determina con siguiente ecuación;

$$HH_{gris} = \frac{(\alpha * AR)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \text{ (m}^3/\text{ton)} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde α es el porcentaje de Nitrógeno que se presenta en los cuerpos de agua (10% sugerido por Hoekstra en el manual), AR porción de nitrógeno 640'211.000 mg/ha cantidad aplicado en la plantación de palma (valor obtenido de la “Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de palma” INIAP 2017), C_{max} cantidad máxima permisible de N en el

agua 10 mg/l (obtenido del Libro VI anexo 1 de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recursos agua), Cnat porción de N presente en el agua naturalmente 0 mg/l (valor obtenido del manual de Hoekstra) y Y rendimiento de la producción en ton/ha (información adquirida del ESPAC).

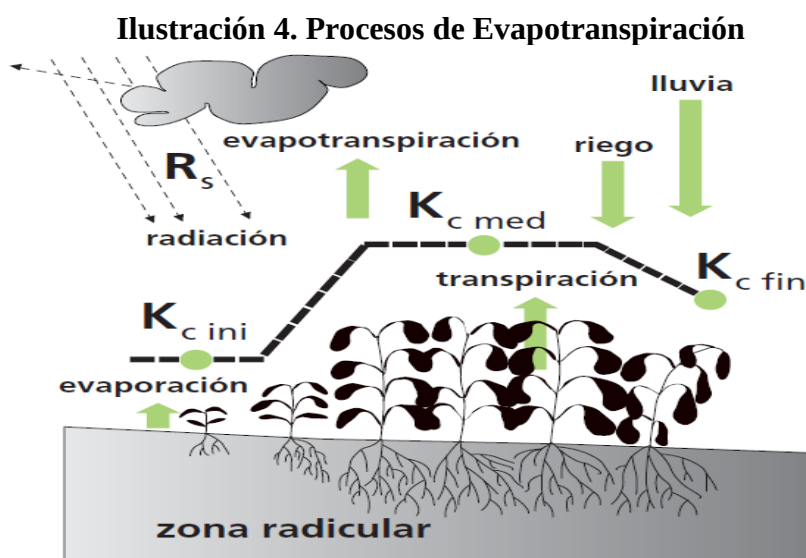
Para el cálculo del Uso del agua Cultivo (UAC), es el agua verde y azul que el cultivo requiere de agua para la evapotranspiración, este se calcula mediante la siguiente ecuación;

$$UAC_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{verde} \quad (\text{volumen/area}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$UAC_{azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul} \quad (\text{volumen/area}) \quad \text{Ecuación 6}$$

donde Σ es la sumatoria del ciclo de crecimiento del cultivo, es decir del día uno de la siembra hasta la cosecha del cultivo y lgp se refiere a la extensión de los días del ciclo del cultivo, ET simboliza la evapotranspiración del cultivo, que es indicado en mm/día. La evapotranspiración es el conjunto de la transpiración de los cultivos y la evaporación del agua en el suelo para el ciclo del crecimiento tal como se presenta en la figura 4, el cual puede mostrar diferencias dependiendo del cultivo y el clima.

Generalmente el volumen de agua que transpiran las plantas es muy elevado a la que retienen. Por lo tanto, la transpiración se toma en cuenta como el consumo de agua por la planta; también se debe considerar la desorientación de agua por evaporación del suelo.



Fuente: FAO, 2006

La aplicación el modelo CROPWAT 8.0 (32) desarrollado por la FAO determina el cálculo ET verde y azul, el cual estima el requerimiento de agua del cultivo y su requerimiento de riego en base a información climatológica y de cultivo. Por lo que el software promete dos opciones para calcular la ET del crecimiento del cultivo;

1. Opción de requerimiento de agua de cultivo RAC, el cual asume condiciones óptimas.
2. Programación de riego del cultivo que envuelve la posibilidad de especificar el riego actual.

Para la aplicación del software requiere de información de estación meteorológica para unir el conjunto de datos indispensables y determinar las necesidades hídricas del cultivo. En la siguiente tabla se muestran valores de evapotranspiración del cultivo luego de ingresar los datos meteorológicos para todos los años de estudio de cada estación al programa:

Tabla 1. Evapotranspiración de la estación meteorológica Pichilingue

Mes	Temp min °C	Tem max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	20.4	34.0	80	216	12.0	27.4	5.87
Febrero	21.9	33.0	87	207	12.0	28.2	5.67
Marzo	21.9	33.1	85	190	12.0	28.4	5.79
Abril	21.0	33.5	82	173	12.0	27.4	5.69
Mayo	21.0	32.7	87	181	12.0	25.9	5.16
Junio	18.4	31.7	84	190	12.0	24.9	4.85
Julio	18.8	33.2	84	199	12.0	25.2	5.12
Agosto	17.9	31.6	83	181	12.0	26.6	5.15
Septiembre	19.5	34.8	79	190	12.0	27.9	6.00
Octubre	18.4	34.3	77	216	12.0	28.1	6.12
Noviembre	19.4	34.6	76	216	12.0	27.4	6.07
Diciembre	21.0	34.0	80	233	12.0	27.0	5.84
Promedio	20.0	33.4	82	199	12.0	27.0	5.61

Fuente: Autor, 2021

Los datos estadísticos de temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, humedad relativa son obtenido del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de las estaciones Pichilingue, Concordia, Milagro (Ingenio Valdez), mientras que los datos de insolación fueron ingresados por medio del programa Climwat 2.0 (33), debido que dicho parámetro no fue remitido por el INAMHI.

Los valores estadísticos de precipitación de la Estación Meteorológica Pichilingue, se obtuvo de cada uno de los meses de todo el año y el software Cropwat 8.0 automáticamente determina la Precipitación Efectiva, en la siguiente tabla se presentan valores de precipitación de la estación meteorológica pichilingue para cada uno de los meses correspondiente a la zona centro:

Tabla 2. Precipitación efectiva para la estación meteorológica Pichilingue

Mes	Precipitación Mm	Precipitación Efectiva Mm
Enero	132	81,6
Febrero	550,7	416,6
Marzo	283,3	202,6
Abril	281,7	201,4
Mayo	124,6	75,7
Junio	1,3	0,0
Julio	3	0,0
Agosto	0,5	0,0
Septiembre	0,8	0,0
Octubre	0,8	0,0
Noviembre	7,7	0,0
Diciembre	344,2	251,4
Total	1730,6	1229,2

Fuente: Autor, 2021

Los valores que se expresan en la tabla 3 se utilizó para el cálculo de la evapotranspiración azul y verde en el software Cropwat 8.0 que representa la humedad de cada uno de los distintos tipos suelos: Arcilloso, Franco Arenoso, Franco Limoso. Los datos de suelos requeridos para el programa se los expresa en (mm/m), se los obtuvieron del estudio titulado “Evapotranspiración del cultivo” realizado por la FAO.

Tabla 3. Capacidad de humedad del suelo (mm/m)

Franco Arenoso	Franco Arenoso	Arcilloso	Franco Limoso	Franco Arcilloso	Franco Limoso	Arcilloso
125	150		208	200		

Fuente: FAO, 2012

En la siguiente tabla presenta los datos de humedad disponible e inicial del suelo, profundidad radicular, agotamiento de humedad del suelo:

Tabla 4. Información general del suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	200	mm/metro
Tasa Máxima de Infiltración de la Precipitación	45	mm/día
Profundidad Radicular máxima	100	centímetros
Agotamiento inicial de la humedad del suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicial disponible	200	mm/metro

Fuente: Cropwat 8.0 y FAO

La tabla 4, muestra los datos generales de suelo aplicados en el modelo Cropwat 8.0 los cuales son obtenidos del documento “Evapotranspiración del cultivo” realizado por la FAO.

Tabla 5. Características del cultivo de palma africana

Coeficiente de cultivo (Kc)			
Kc inicial	Kc Medio	Kc Final	
0.95	1.00	1.00	
Profundidad Radicular (cm)			
Inicial	0,7		
Máxima	1,1		
Fracción de agotamiento crítico			
0,65			
Altura del cultivo (m)			
0,90 - 1,20			
Etapas de producción (Días)			
Inicial	Desarrollo	Medio	Final
120	320	265	90

Fuente: FAO, 2012

El conjunto de datos mostrados en la tabla anterior, fueron tomados de la guía Evapotranspiración del cultivo de la FAO, documento para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Al determinar datos de evapotranspiración (ET) total mensual del cultivo de palma por medio de la aplicación del modelo Cropwat 8.0, se siguió la metodología propuesta en el manual de Huella Hídrica para valorar los componentes verde y azul de la evapotranspiración. Los datos de evapotranspiraciones (mm/mes) se los multiplica por 0.1 correspondiente al 10% para convertir las unidades a m³/ha, de esta manera transformar a m³/Ton.

3.5.1.2 Determinación del agua virtual

La cuantificación de la cantidad de agua que se utiliza en los procesos de producción en los cultivos de palma africana en el Ecuador, mediante el cálculo Agua Virtual y Huella Hídrica, se calculó la cantidad de producción en toneladas anual obteniendo información de entidades gubernamentales y no gubernamentales fuente que posee información valiosa para la realización de esta investigación.

El cálculo del agua virtual incorporada en el producto de exportación se determinó multiplicando la cantidad de producto exportado (ton/año) con su huella hídrica asociada (m^3/ton), por lo que se estima con la siguiente ecuación;

$$AV_{exp} = HH (m^3/ton) \times E \quad \text{Ecuación 7}$$

donde AV_{exp} es la cantidad de agua virtual exportada en millones de ($Mm^3/año$), HH es la Huella Hídrica Total del cultivo (m^3/ton) y E es la cantidad de producto exportado (ton/año).

Se realizó la comparación de los resultados de agua virtual exportada del periodo 2008-2010 información adquirida de investigación realizada por (Pérez 2012), los cuales se efectuó una comparación con los resultados de este estudio de los periodos 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 lo cual se determinó la cantidad de agua exportada en un producto.

3.5.2 Analizar los impactos causados en la economía por la exportación del agua virtual de la producción de cultivo de palma africana en Ecuador

La exportación de agua virtual tiene mayores beneficios económicos por el comercio. El cálculo del valor económico o productividad aparente del agua de la producción por metro cúbico de agua utilizado, ayuda evaluar la eficiencia económica del agua utilizada por tonelada de cultivo producido. Por lo que valora la producción expresada en dinero por metro cubico de agua adquirida, para realizar el cálculo se necesita los precios del mercado del producto. Para la estimación será calculado mediante la siguiente ecuación;

$$PAA = \frac{Pr \times ton}{HH} \quad \text{Ecuación 8}$$

donde PAA es la productividad aparente del agua ($\$/m^3$), $Pr \times ton$ es el precio del mercado del producto ($\$/ton$), HH la huella hídrica total del cultivo (m^3/ton).

3.5.3 Diseñar las estrategias de manejo eficiente del agua en la producción cultivo de palma africana en Ecuador

El Manual para la Gestión Integral de Recursos Hídricos (33) permitió crear estrategias de condiciones de continuidad y sostenibilidad ayudando gestionar y desarrollar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales, haciendo un llamado al planeamiento integrado de forma que el agua, la tierra y los otros recursos sean utilizados de la mejor manera. El diseño de esta estrategia para la sección agrícola del cultivo, permitirá identificar los pasos a seguir a largo plazo, que van a requerirse para continuar con la eficiencia del agua en la producción del cultivo de palma africana en el Ecuador estableciendo acciones para asegurar el manejo del agua en el riego.

Ilustración 5. Estructura de presentación de las estrategias de manejo eficiente del agua



Elaborado: Autor, 2021

3.6 Tratamiento de datos

Análisis Estadístico

Los resultados de la investigación fueron ordenados y tabulados en una hoja en Excel, luego se aplicó estadística descriptiva (media, desviación estándar); además, se realizaron gráficos de barra y diagramas de sectores en lo que se representaron las frecuencias relativas. Para el tratamiento de datos se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) lo que identificó las diferencias significativas entre provincias y años, posterior se aplicó una prueba de Tukey para separar medias. La prueba estadística consistió en identificar si los valores de la media representan a los datos de la Huella Hídrica y Agua Virtual.

3.7 Recursos materiales y humanos

La investigación demandó el uso de diversos recursos humanos y materiales.

Recursos Humanos

- Estudiante investigador
- Tutor de investigación

Materiales de oficina

- Bolígrafo
- Cuaderno de apuntes
- Útiles de oficina

Software

- Cropwat 8.0
- Climwat 2.0
- Statgraphics
- ArcGIS 10.3

Equipos

- Computador
- Impresora

CÁPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Contenido de agua virtual de la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador

Para el cálculo del contenido de agua virtual en la producción agrícola de palma africana exportada en Ecuador, se encontró información en entidades importantes como el Instituto Nacional de Estadística y Censo, Ministerio de Agricultura y Agua, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en las cuales se adquirió información específica relacionado a datos de expansión, producción de cultivo y exportación, precios de productor reportados del cultivo, datos meteorológicos, para la determinación de la huella hídrica. En la siguiente tabla se especifica entidades importantes para la obtención de información para el desarrollo de los resultados:

Tabla 6. Información específica de entidades importantes para el desarrollo

Nº	Institución o Fuente	Información Obtenida	Año de producción	Objetivo
1	INAMHI	Temperatura, precipitación, velocidad de viento, humedad	2014-2018	Determinar valores de evapotranspiración mediante la aplicación del software CROPWAT 8.0
2	INEC - ESPAC	Superficie, producción y ventas	2014-2018	Desarrollar la evaluación de la huella hídrica
3	MAG - SIPA	Precio nacional al productor, precio de exportación	2014-2018	Evaluar el agua virtual exportada y productividad aparente del agua

Elaborado: Autor, 2021

4.1.1.1 Determinación de la Huella Hídrica de la producción de palma africana en Ecuador

El cálculo de la Huella Hídrica se realizó solo para la fase de producción agrícola de palma fruta fresca, en ocho provincias seleccionadas del Ecuador divididas por zona Norte, Centro y Sur. En la determinación de la Huella Hídrica se procedió al cálculo de sus tres componentes Huella Azul, Huella Verde y Huella Gris de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, tomando en cuenta estos años de estudio debido a ser uno de los productos de gran producción y exportación en

Ecuador. En la siguiente tabla presenta la información primaria de la producción de palma fruta fresca en Ecuador de las provincias y periodos de años estudiados representado en toneladas:

Tabla 7. Información primaria de la producción de palma fruta fresca en el Ecuador

Provincia / Año	2014	2015	2016	2017	2018
ZONA NORTE	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton
ESMERALDAS	1.670.872	2.377.850	1.584.758	1.567.371	1.183.977
PICHINCHA	22.891	38.557	85.880	113.363	57.612
MANABÍ	33.031	85.406	117.765	75.836	273.988
ZONA CENTRO					
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	307.390	326.618	272.519	326.618	218.172
LOS RÍOS	561.835	412.861	412.024	438.158	493.089
BOLÍVAR		7.858	6.231	13.761	10.445
COTOPAXI	3.208	1.373	62.462	59.794	31.424
ZONA SUR					
GUAYAS	64.455	117.577	165.479	99.423	61.468

Elaborado: Autor

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, INEC 2020

En la tabla 7 demuestra en la zona norte la provincia de Esmeraldas es la mayor productora de palma en el 2015 siguiendo la provincia de Los Ríos en la zona centro en el 2014 y 2016 en la zona sur la única provincia del Guayas.

Los resultados calculados por el software se presentan en la siguiente tabla 8, en un conjunto de tablas numéricas demostrando valores que son a considerar para el cálculo de la Huella Hídrica Azul y Huella Hídrica Verde, mediante las ecuaciones establecidas en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica.

Tabla 8. Evapotranspiración Azul y Verde de los cultivos de palma africana en Ecuador

Años	Estación Meteorológica	ETc	Precipitación Efectiva	Requerimiento de riego	Et Azul	Et Verde
		Mm/dec	Mm/dec	Mm/dec	Mm/mes	Mm/mes
2014	La Concordia	2693,1	2208,0	701,1	701,1	2208,0
2015		2714,8	2687,9	345,9	345,9	2687,9
2016		2729,2	2061,7	863,7	863,7	2061,7
2017		2734,3	2294,4	658,6	658,6	2294,4
2018		2740,7	2015,2	867,5	867,5	2015,2
2014	Pichilingue	3044,2	1623,3	1410,8	1410,8	1623,3
2015		2940,0	4003,4	682,4	682,4	4003,4
2016		2997,7	2951,6	1465,6	1465,6	2951,6
2017		2890,5	4789,1	1098,8	1098,8	4789,1
2018		3002,4	2207,4	1464,7	1464,7	2207,4
2014	Milagro	2883,9	1586,2	1278,5	1278,5	1586,2
2015		2882,2	1484,3	1403,4	1403,4	1484,3
2016		2928,2	1556,9	1385,7	1385,7	1556,9
2017		2891,1	1728,7	1241,5	1241,5	1728,7
2018		2887,2	1468,5	1408,6	1408,6	1468,5
Suma					14866,0	34666,6
Promedio					1061,85	2311,10

Elaborado: Autor, 2021

4.1.1.2 Huella Hídrica Azul y Huella Hídrica Verde

El uso de agua del cultivo (UAC) de palma africana su cálculo se lo realizó mediante ecuaciones [5 y 6] expresadas anteriormente en la metodología de este proyecto, estos valores son presentados por zonas debido que se tomó en cuenta las estaciones meteorológicas Concordia para la zona Norte, Pichilingue zona Centro y Milagro (Ingenio Valdez) correspondiente a la zona Sur, y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Uso de agua del cultivo (UAC) de la palma africana

	2014		2015		2016		2017		2018	
	UAC (m3/ha)		UAC (m3/ha)		UAC (m3/ha)		UAC (m3/ha)		UAC (m3/ha)	
	Azul	Verde	Azul	Verde	Azul	Verde	Azul	Verde	Azul	Verde
ZONA NORTE	70110	22080	3459	26879	8637	20617	6586	22944	8675	20152
ZONA CENTRO	14108	16233	6824	40034	14656	29516	10988	47891	14647	22074
ZONA SUR	12785	15862	14034	14843	13857	15569	12415	17287	14086	14685

Elaborado: Autor, 2021

Los valores presentados en la tabla 9, demuestran que el uso del agua azul del cultivo en la zona norte del año 2014 fue bastante significativo 70110 m³/ha a comparación al año 2017 de 6586 m³/ha el uso de agua fue menor, el uso del agua verde en la zona centro del año 2017 fue el de mayor consumo mientras el de menor uso de agua del cultivo fue de 14685 m³/ha correspondiente a la zona sur.

La estimación de la huella hídrica verde y huella hídrica azul, representan el consumo de agua que proviene de la precipitación e irrigación consumida por toneladas del cultivo de palma africana, por provincia y años. Los resultados fueron obtenidos mediante la aplicación de las ecuaciones [2 y 3] expresadas anteriormente, sus resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Huella Hídrica Azul y Huella Hídrica Verde para los cultivos de palma africana en Ecuador

AÑO	PROVINCIA	UAC (m3/ha)		Y (Ton/Ha)	Huella Hídrica (m3/Ton)	
		Azul	Verde		Azul	Verde
2014	Pichincha	70110	22080	72,25	97,04	305,61
	Esmeraldas	70110	22080	875,91	8,00	25,21
	Manabí	70110	22080	49,04	142,95	450,21
	Bolívar					
	Cotopaxi	14108	16233	40,52	348,16	400,60
	Santo Domingo de los Tsáchilas	14108	16233	101,28	139,29	160,27
	Los Ríos	14108	16233	127,92	110,29	126,90
	Guayas	12785	15862	42,60	300,10	372,32
AÑO	PROVINCIA	UAC (m3/ha)		Y (Ton/Ha)	Huella Hídrica (m3/Ton)	
		Azul	Verde		Azul	Verde
2015	Pichincha	3459	26879	80,44	43,00	334,15
	Esmeraldas	3459	26879	138,35	25,00	194,28
	Manabí	3459	26879	91,35	37,86	294,24
	Bolívar	6824	40034	75,14	90,82	532,82
	Cotopaxi	6824	40034	7,64	892,97	5238,73
	Santo Domingo de los Tsáchilas	6824	40034	126,12	54,11	317,42
	Los Ríos	6824	40034	147,24	46,34	271,89
	Guayas	14034	14843	77,72	180,58	190,99

AÑO	PROVINCIA	UAC (m3/ha)		Y (Ton/Ha)	Huella Hidrica (m3/ton)	
		Azul	Verde		Azul	Verde
2016	Pichincha	8637	20617	113,11	76,36	182,27
	Esmeraldas	8637	20617	116,51	74,13	176,95
	Manabí	8637	20617	24,61	351,00	837,86
	Bolívar	14656	29516	66,03	221,97	447,03
	Cotopaxi	14656	29516	148,26	98,85	199,08
	Santo Domingo de los Tsáchilas	14656	29516	130,55	112,26	226,08
	Los Ríos	14656	29516	142,02	103,19	207,82
	Guayas	13857	15569	111,23	124,58	139,97
AÑO	PROVINCIA	UAC (m3/ha)		Y (Ton/Ha)	Huella Hidrica (m3/ton)	
		Azul	Verde		Azul	Verde
2017	Pichincha	6586	22944	128,59	51,22	178,42
	Esmeraldas	6586	22944	119,41	55,16	192,15
	Manabí	6586	22944	61,29	107,46	374,37
	Bolívar	10988	47891	144,16	76,22	332,20
	Cotopaxi	10988	47891	185,08	59,37	258,76
	Santo Domingo de los Tsáchilas	10988	47891	158,94	69,13	301,31
	Los Ríos	10988	47891	138,16	79,53	346,64
	Guayas	12415	17287	109,29	113,59	158,17
AÑO	PROVINCIA	UAC (m3/ha)		Y (Ton/Ha)	Huella Hídrica (m3/Ton)	
		Azul	Verde		Azul	Verde
2018	Pichincha	8675	20152	96,09	90,28	209,73
	Esmeraldas	8675	20152	109,62	79,14	183,83
	Manabí	8675	20152	148,04	58,60	136,12
	Bolívar	14647	22074	84,86	172,60	260,12
	Cotopaxi	14647	22074	188,26	77,80	117,25
	Santo Domingo de los Tsáchilas	14647	22074	111,86	130,94	197,34
	Los Ríos	14647	22074	156,51	93,58	141,04
	Guayas	14086	14685	115,74	121,70	126,88

Elaborado: Autor, 2021

La tabla 10 muestra que bajo el esquema de condiciones óptimas del crecimiento, el cultivo de palma consume más agua que proviene de las precipitaciones que el agua proveniente del riego, la provincia que demuestra el mayor consumo es Cotopaxi en 2015 con 892,97 m³/ton y menor consumo 8,00 en la provincia de Esmeraldas en el año 2014 correspondientes a la HH Azul, la HH Verde la provincia de Cotopaxi en el 2015 utilizó un mayor consumo 5238,73 m³/ton, en el 2014 la provincia de Esmeraldas obtuvo la menor cantidad de consumo de agua con 25,21 m³/ton.

4.1.1.3 Huella Hídrica Gris

El cálculo de la Huella Hídrica Gris de la producción de palma africana se desarrolló de acuerdo al Manual de Evaluación de la Huella Hídrica que recomienda tomar en cuenta solo el Nitrógeno debido a que es el agroquímico de mayor constancia y gran aplicación, el manual también determina que el Nitrógeno llega a los cuerpos de agua en un porcentaje del 10% que proviene de las actividades de aplicación de agroquímicos y fertilización.

La presencia de nitrógeno de manera natural en el agua, es otra de las variables que se manejan para determinar la huella hídrica gris, la cual se aprecia que las concentraciones son muy bajas, el manual reconoce que el valor del N es igual a cero. Los cálculos obtenidos mediante la aplicación de las ecuaciones [4] presentadas en la metodología se observan en la siguiente tabla:

Tabla 11. Huella Hídrica Gris para los cultivos de palma africana en Ecuador

Provincia / Año	2014	2015	2016	2017	2018
	HH Gris (m ³ /ton)				
Pichincha	88,61	79,59	56,60	49,79	66,63
Esmeraldas	<u>7,31</u>	46,28	54,95	53,62	58,40
Manabí	130,54	70,08	260,18	104,46	43,25
Bolívar		85,21	96,96	44,41	75,44
Cotopaxi	157,99	<u>837,76</u>	43,18	34,59	34,01
Santo Domingo de los Tsáchilas	63,21	50,76	49,04	40,28	57,23
Los Ríos	50,05	43,48	45,08	46,34	40,91
Guayas	150,27	82,38	57,56	58,58	55,31

Elaborado: Autor, 2021

Los resultados de huella hídrica gris obtenidos se muestran en la tabla 11, del total de agua que necesita para la producción del cultivo de palma africana resulto estar contaminada dando un valor elevado de huella hídrica gris de 837,76 m³/ton de la provincia de Cotopaxi en el año 2015 y en el año 2014 se obtuvo una menor cantidad de 7,31 m³/ton en la provincia de Esmeraldas, esta agua contaminada proviene de la utilización de fertilizantes y pesticidas que se aplican en la plantación.

4.1.1.4 Huella Hídrica Total

El cálculo de la Huella Hídrica Total muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ecuación [1], estos valores corresponden a la cantidad de agua que se utilizó desde la siembra hasta la cosecha del respectivo cultivo. La Huella Hídrica Total que fue estimada con los valores de sus tres componentes HH azul, verde y gris del cultivo estudiado expresado en m³/ton. La tabla a continuación muestra los datos obtenidos que permite comparar la HH Total del cultivo por año.

Tabla 12. Huella Hídrica Total de producción de los cultivos de palma africana de la zona en Ecuador

Provincia / Año	2014				2015			
	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	HH TOTAL	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	HH TOTAL
PICHINCHA	97,04	305,61	88,61	491,26	43,00	334,15	79,59	456,75
ESMERALDAS	8,00	25,21	7,31	40,52	25,00	194,28	46,28	265,56
MANABÍ	142,95	450,21	130,54	723,70	37,86	294,24	70,08	402,18
BOLÍVAR	0	0	0	0	90,82	532,82	85,21	708,85
COTOPAXI	348,16	400,60	157,99	906,74	892,97	5238,73	837,76	6969,46
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	139,29	160,27	63,21	362,77	54,11	317,42	50,76	422,29
LOS RÍOS	110,29	126,90	50,05	287,24	46,34	271,89	43,48	361,71
GUAYAS	300,10	372,32	150,27	822,69	180,58	190,99	82,38	453,95
Total	845,73	1468,79	497,71	3634,92	1190,11	7183,53	1213,15	10040,75
Promedio				519,27				<u>1255,09</u>
Provincia / Año	2016				2017			
	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	HH TOTAL	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	HH TOTAL
PICHINCHA	76,36	182,27	56,60	315,22	51,22	178,42	49,79	279,42
ESMERALDAS	74,13	176,95	54,95	306,02	55,16	192,15	53,62	300,92
MANABÍ	351,00	837,86	260,18	1449,04	107,46	374,37	104,46	586,30
BOLÍVAR	221,97	447,03	96,96	765,97	76,22	332,20	44,41	452,82
COTOPAXI	98,85	199,08	43,18	341,11	59,37	258,76	34,59	352,71
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	112,26	226,08	49,04	387,38	69,13	301,31	40,28	410,73
LOS RÍOS	103,19	207,82	45,08	356,10	79,53	346,64	46,34	472,51
GUAYAS	124,58	139,97	57,56	322,11	113,59	158,17	58,58	330,34
Total	1037,76	2277,09	605,98	4242,95	498,09	1983,85	373,48	3185,76
Promedio				530,37				398,22

Provincia / Año	2018			
	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	HH TOTAL
PICHINCHA	90,28	209,73	66,63	366,64
ESMERALDAS	79,14	183,83	58,40	321,37
MANABÍ	58,60	136,12	43,25	237,97
BOLÍVAR	172,60	260,12	75,44	508,16
COTOPAXI	77,80	117,25	34,01	229,06
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	130,94	197,34	57,23	385,51
LOS RÍOS	93,58	141,04	40,91	275,53
GUAYAS	121,70	126,88	55,31	303,90
Total	702,94	1245,43	375,86	2628,13
Promedio				<u>328,52</u>

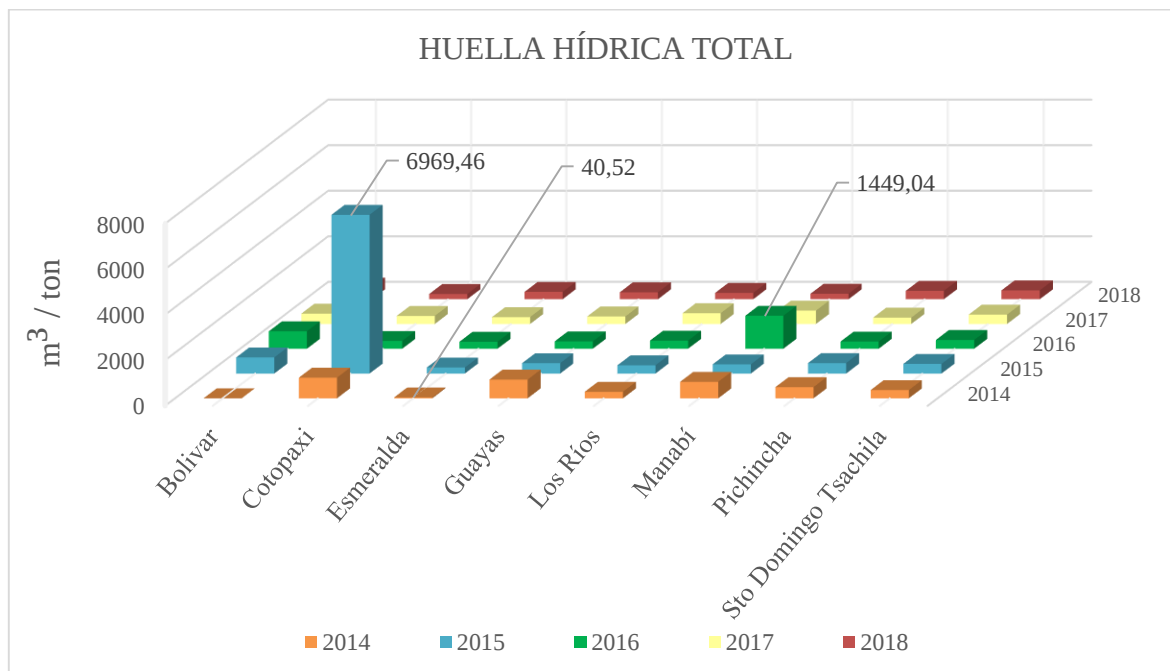
Elaborado: Autor, 2021

En la tabla 12 se demuestran resultados de la huella hídrica total de producción de los cultivos de palma africana de los cinco años, donde el mayor consumo promedio de agua por el cultivo con 1255,09 m³/ton corresponde en el año 2015 y el año 2018 hubo menor consumo promedio de agua del cultivo 328,52 m³/ton. El desequilibrio de la superficie sembrada para el cultivo de palma africana en los cinco años estudiados, influye directamente en el volumen de los componentes azul, verde, gris, con base a los resultados adquiridos de la huella hídrica.

Las provincias con mayor extensión de hectáreas sembradas poseen la huella hídrica más alta, al contrario de las que tiene menor hectárea la huella hídrica es hasta tres veces menor independientemente de la clasificación por extensión. En caso de que los cuadros no presenten valores significa que no existió información con la cual se pueda realizar el cálculo de las huellas hídricas.

Según el análisis estadístico de la huella hídrica por provincias estudiadas, no tiene diferencias estadísticamente significativa Valor-P 0,4295, sin embargo, la provincia con una media 1759,52 m³/ton fue la provincia de Cotopaxi no obstante las provincias de Bolívar y Manabí tienen valores extremos de huella hídrica correspondiente a 1836,49 m³/ton y 1777,78 m³/ton las cuales conllevan al valor de media de la huella hídrica de Cotopaxi.

Ilustración 6. Huella Hídrica Total de la producción del cultivo de palma en cada provincia de los años estudiados 2014, 2015, 2016, 2017, 2018

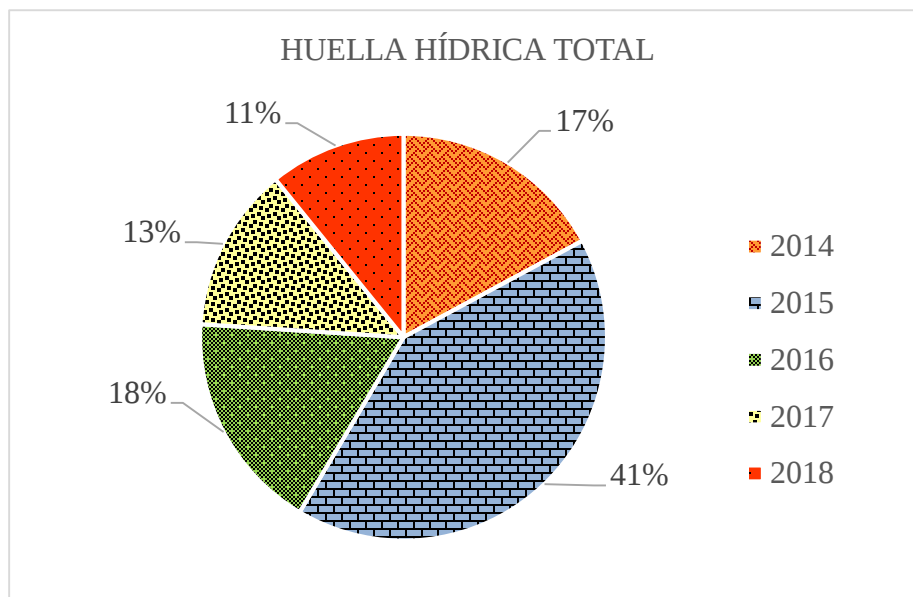


Elaborado: Autor, 2021

Basados en la tabla 11 se grafican los resultados, en primer lugar se puede observar que el cultivo de palma africana en la provincia de Esmeraldas en el año 2014 utiliza menos cantidad de agua en su producción 40,52 m³/ton en comparación a Cotopaxi en el año 2015 y Manabí en el año 2016 con una mayor utilización de agua de 6969,46 m³/ton y 1149,04 m³/ton respectivamente. Se determinó que por metro cubico de agua en la producción del cultivo de una tonelada del producto, el cultivo de palma africana tiene un requerimiento de 1300 mm en comparación al cultivo de banano de 1200 mm por año.

El análisis estadístico no mostro diferencias estadísticamente significativas entre los años estudiados de la huella hídrica, Valor-P 0,4427 ya que en los años tienen similitudes estadísticas entre los valores de huella hídrica. Sin embargo, en el año 2015 una media superior 1255,09 m³/ton no obstante tuvo valores muy dispersos.

Ilustración 7. Distribución porcentual de la Huella Hídrica Total nacional de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018



Elaborado: Autor, 2021

En el gráfico 3, se puede observar la distribución porcentual promedio de la Huella Hídrica del Ecuador de la producción del cultivo de palma africana facilitando hacer la comparación de los años estudiados, muestra que en el año 2015 representó un 41% de Huella Hídrica a diferencia de los demás años siendo el mayor consumidor de agua en su producción, un 18% de Huella Hídrica para el año 2016, en los años 2014 y 2017 tenemos 17% y 13% respectivamente y un 11% para el año 2018 siendo el año que menos Huella Hídrica consumió en su producción.

4.1.1.5 Agua Virtual Exportada

El cálculo se realizó a través de la ecuación [7] descrita anteriormente en la metodología, donde se multiplica la huella hídrica total de la producción por la exportación del aceite crudo de palma, Ecuador es un país de gran exportación de agua virtual por medio de sus productos agrícolas.

En la tabla 13, se presentan valores de la exportación del aceite crudo de palma africana en toneladas métricas por cada provincia y del periodo de años estudiados 2014-2018 para la evaluación del agua virtual exportada en Ecuador

Tabla 13. Información de exportación del aceite crudo de palma en Ecuador

Provincia	2014	2015	2016	2017	2018
BOLÍVAR		1.030,2	888,5	1.994,0	1.021,0
COTOPAXI	400,6	180,0	8.907,1	8.664,2	2.094,2
PICHINCHA	2.858,9	5.054,8	12.246,5	16.426,3	5.631,6
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	38.389,9	42.819,6	38.861,2	47.326,9	21.326,3
ESMERALDAS	208.667,7	311.736,1	225.986,5	227.112,1	115.733,8
GUAYAS	8.049,8	15.414,3	23.597,3	14.406,4	6.008,5
LOS RÍOS	70.167,6	54.126,1	58.874,0	63.489,1	48.199,4
MANABÍ	4.125,2	11.196,7	16.793,3	10.988,6	26.782,3

Elaborado: Autor

Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, INEC, 2020

La provincia de mayor exportación es Esmeraldas, en el año 2015 donde exporto una gran cantidad de aceite crudo de palma africana. En la siguiente tabla se detalla los resultados de agua virtual contenida en la exportación del aceite crudo expresada por millones de metros cúbicos por toneladas al año.

Tabla 14. Agua Virtual a causa de la exportación del aceite crudo de palma africana de la zona norte del Ecuador

Provincia / Año	2014			2015		
	HH TOTAL (m³/Ton/Año)	Producto exportado (ton/año)	AV TOTAL (Mm³/ton/año)	HH TOTAL (m³/Ton/Año)	Producto exportado (ton/año)	AV TOTAL (Mm³/ton/año)
PICHINCHA	491,26	2858,86	1,40	456,75	5054,82	2,31
ESMERALDAS	40,52	208667,71	8,46	265,56	311736,13	82,78
MANABÍ	723,70	4125,24	2,99	402,18	11196,73	4,50
BOLÍVAR	0	0	0	708,85	1030,20	0,73
COTOPAXI	906,74	400,60	0,36	6969,46	180,00	1,25
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	362,77	38389,90	13,93	422,29	42819,61	18,08
LOS RÍOS	287,24	70167,60	20,15	361,71	54126,07	19,58
GUAYAS	822,69	8049,78	6,62	453,95	15414,34	7,00
Total			53,91			136,24
Promedio			<u>7,70</u>			17,03

Provincia / Año	2016			2017		
	HH TOTAL (m ³ /Ton/Año)	Producto exportado (ton/año)	AV TOTAL (Mm ³ /ton/año)	HH TOTAL (m ³ /Ton/Año)	Producto exportado (ton/año)	AV TOTAL (Mm ³ /ton/año)
PICHINCHA	315,22	12246,48	3,86	279,42	16426,29	4,59
ESMERALDAS	306,02	225986,49	69,16	300,92	227112,05	68,34
MANABÍ	1449,04	16793,28	24,33	586,30	10988,63	6,44
BOLÍVAR	765,97	888,54	0,68	452,82	1993,96	0,90
COTOPAXI	341,11	8907,08	3,04	352,71	8664,15	3,06
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	387,38	38861,20	15,05	410,73	47326,94	19,44
LOS RÍOS	356,10	58873,97	20,96	472,51	63489,09	30,00
GUAYAS	322,11	23597,30	7,60	330,34	14406,39	4,76
Total			144,69			137,53
Promedio			<u>18,09</u>			17,19

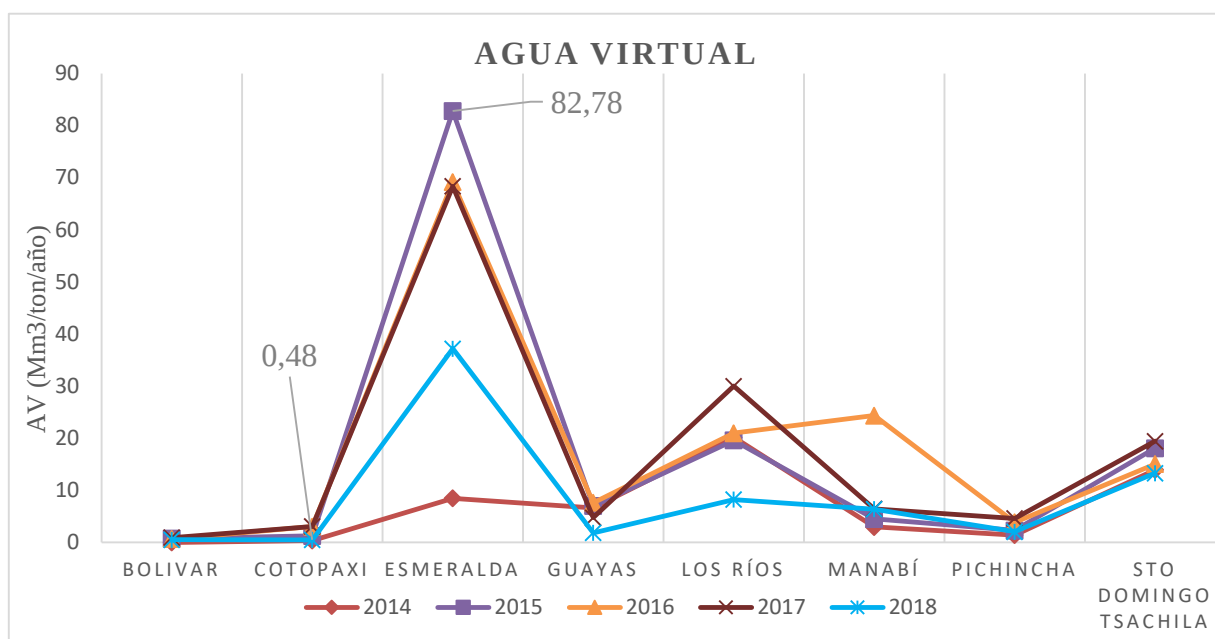
Provincia / Año	2018		
	HH TOTAL (m ³ /Ton/Año)	Producto exportado (ton/año)	AV TOTAL (Mm ³ /ton/año)
PICHINCHA	366,64	5631,57	2,06
ESMERALDAS	321,37	115733,75	37,19
MANABÍ	237,97	26782,32	6,37
BOLÍVAR	508,16	1020,99	0,52
COTOPAXI	229,06	2094,19	0,48
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	385,51	21326,31	8,22
LOS RÍOS	275,53	48199,44	13,28
GUAYAS	303,90	6008,49	1,83
Total			69,96
Promedio			8,74

Elaborado: Autor, 2021

Los resultados promedios que se presentan en la tabla 14 demuestra en el año 2016 existe mayor exportación de agua virtual 18,09 Mm³/ton/año, existe una diferencia significativa en el 2014 donde reduce a 7,70 Mm³/ton/año dentro del periodo de año estudiado, en los años 2014 al 2016 existe un incremento del agua virtual total exportada, y disminuye en el 2017 y 2018 respectivamente la disminución tiene que ver con la cantidad del producto exportado.

Según el análisis estadístico, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años estudiados y la media de agua virtual Valor-P 0,4427, no obstante, mantuvo los valores de AV en el periodo de año 2014-2018, sin embargo, en el año 2016 tuvo una media de 18,0863.

Ilustración 8. Agua Virtual Total exportada de la producción de palma africana de todas las provincias estudiadas de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018.

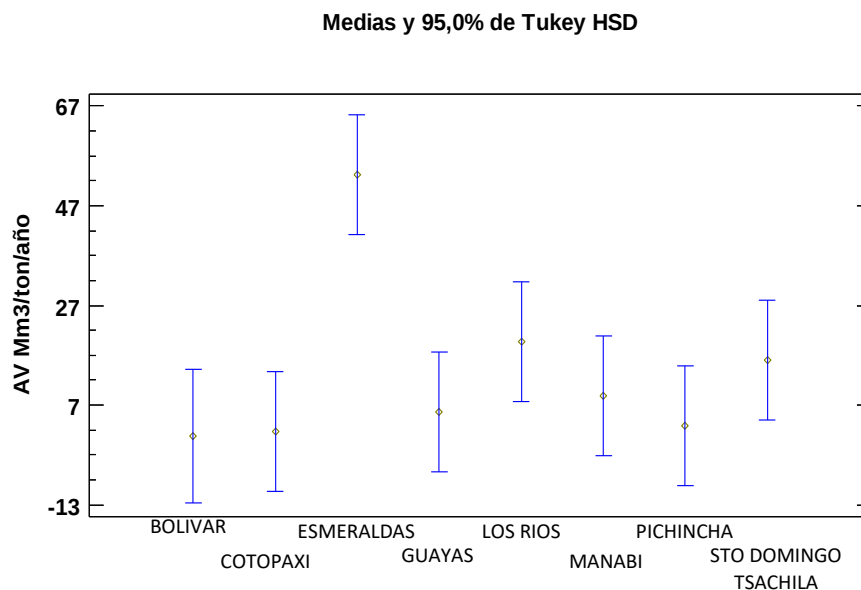


Elaborado: Autor, 2021

El gráfico 3, se puede observar la distribución porcentual del Agua Virtual exportada de cada una de las provincias en los años respectivamente estudiados (2014-2018), la gráfica se muestra que en el año 2015 la provincia de Esmeraldas fue la que mayor Agua Virtual exportó con 82,78 Mm³/ton/año, en comparación a Bolívar en el año 2018 con 0,51 Mm³/ton/año y Cotopaxi en el mismo año 2018 es la provincia que menor AV exportó con 0,48 Mm³/ton/año.

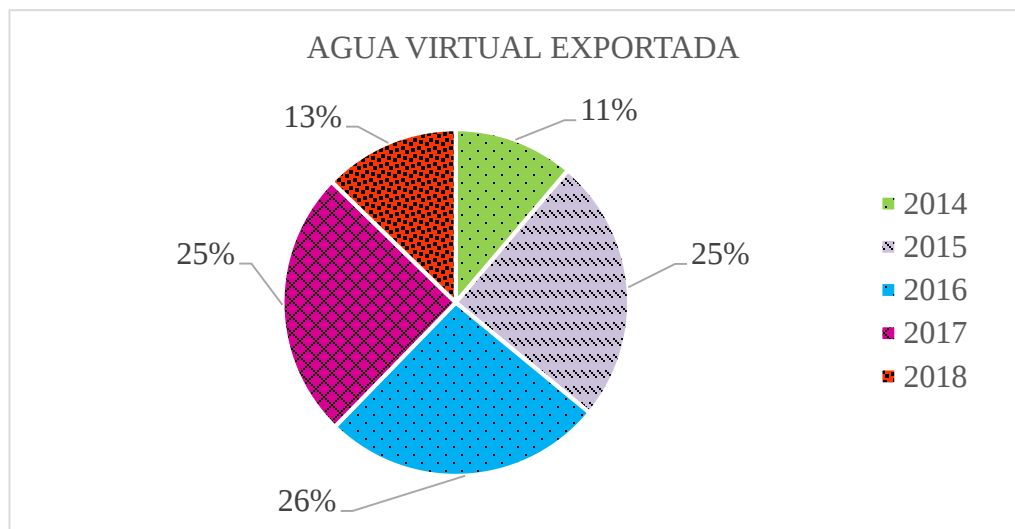
En el análisis estadístico existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del agua virtual en las provincias estudiadas ya que su Valor-P 0,0000 es menor que 0,05, el agua virtual de la provincia de Esmeraldas fue superior 53,1868.

Ilustración 9. Intervalos de Tukey del Agua Virtual exportada de la producción de palma africana



Elaborado: Autor, 2021

Ilustración 10. Distribución porcentual por año del Agua Virtual exportada en Ecuador



Elaborado: Autor, 2021

En el gráfico 4 indica la repartición porcentual que es exportada en correspondencia a los años, el cual demuestra que el Agua Virtual exportada de Ecuador en 2016 corresponde al 26%, en los años 2015 y 2017 con una igualdad de 25% de agua exportada, un 13% en el año 2018 y en el año 2014 un 11%. Es de esta manera como el Ecuador exporta su agua por medio de sus productos agrícolas a otro país, lo cual pueden afectar a los recursos hidrológicos del país.

4.1.2 Impactos causados por la exportación del agua virtual de la producción de cultivo de palma africana en Ecuador

Uno de los impactos causados por la exportación es la economía, para conocer la productividad económica en Ecuador es necesario la determinación de la producción aparente del agua (PAA) con este procedimiento se puede pensar de cuánto dinero produce por cada unidad de agua consumida en su producción, evaluando la eficacia económica del agua utilizada por tonelada producido del cultivo, se efectúa en relación con los precios del mercado del aceite crudo de palma africana expresado en dólares y el consumo de agua en la producción del cultivo HH. El cálculo será estimado mediante la ecuación [8] ya expresada en la metodología.

Tabla 15. Precio nacional de fruta fresca de palma africana

Los precios nacionales de fruta de palma aceitera a nivel de productor

AÑO	2014	2015	2016	2017	2018
PRECIO POR TONELADA (\$/ton)	149,27	114,54	116.25	119,42	109.42

Elaborado: Autor

Fuente: Sistema de Información Publica Agropecuaria, MAG, 2020

En la tabla 15 muestra información del precio en Ecuador de fruta fresca de la palma africana para los años estudiados. Demostrando que en el año 2014 es el de mayor precio por toneladas mientras que el año 2018 existe una baja del precio del producto comercializado.

Tabla 16. Productividad Aparente del Agua de la zona norte del Ecuador

Provincia / Año	2014			2015		
	Precio (\$/ton)	HH TOTAL (m3/ton/año)	PAA (\$/m3)	Precio (\$/ton)	HH TOTAL (m3/ton/año)	PAA (\$/m3)
PICHINCHA		491,26	0,30		456,75	0,25
ESMERALDAS		40,52	<u>3,68</u>		265,56	0,43
MANABÍ		723,70	0,21		402,18	0,28
BOLÍVAR		0			708,85	0,16
COTOPAXI	149,27	906,74	0,16	114,54	6969,46	0,02
SANTO DOMINGO						
DE LOS TSÁCHILAS		362,77	0,41		422,29	0,27
LOS RÍOS		287,24	0,52		361,71	0,32
GUAYAS		822,69	0,18		453,95	0,25
Promedio			0,78			0,25

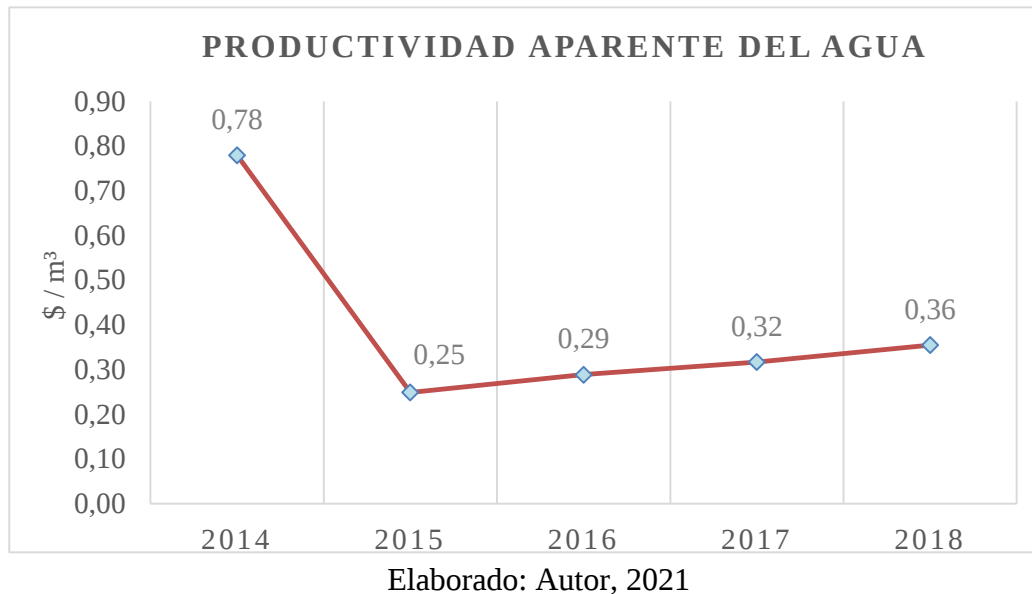
Provincia / Año	2016			2017		
	Precio (\$/ton)	HH TOTAL (m3/ton/año)	PAA (\$/m3)	Precio (\$/ton)	HH TOTAL (m3/ton/año)	PAA (\$/m3)
PICHINCHA		315,22	0,37		279,42	0,43
ESMERALDAS		306,02	0,38		300,92	0,40
MANABÍ		1449,04	0,08		586,30	0,20
BOLÍVAR		765,97	0,15		452,82	0,26
COTOPAXI	116,25	341,11	0,34	119,42	352,71	0,34
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS		387,38	0,30		410,73	0,29
LOS RÍOS		356,10	0,33		472,51	0,25
GUAYAS		322,11	0,36		330,34	0,36
Promedio			0,29			0,32

Provincia / Año	2018		
	Precio (\$/ton)	HH TOTAL (m3/ton/año)	PAA (\$/m3)
PICHINCHA		366,64	0,30
ESMERALDAS		321,37	0,34
MANABÍ		237,97	0,46
BOLÍVAR		508,16	0,22
COTOPAXI	109,42	229,06	0,48
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS		385,51	0,28
LOS RÍOS		275,53	0,40
GUAYAS		303,90	0,36
Promedio			0,36

Elaborado: Autor, 2021

Los resultados de la productividad aparente del agua por provincia se pueden observar en la tabla 16, donde Esmeraldas tiene su mayor PAA con 3,68 \$/m³ en el año 2014, en el año 2015 la provincia de Cotopaxi obtuvo el menor valor económico por metros cúbicos 0,02 \$/m³. La productividad aparente del agua de la producción de palma africana tiene importantes diferencias en todas las provincias y años.

Ilustración 11. Productividad Aparente del Agua de los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018



En el gráfico 5 demuestra la productividad aparente del agua, se muestra que en el año 2014 existe una PAA elevada de 0,78 \$/m³, mientras que en el 2015 la PAA decae a un 0,25 \$/m³ para los años siguientes no existe una variación significativa en el 2016 con 0,29 \$/m³, el año 2017 demuestra 0,32 \$/m³ y 0,36 \$/m³ en el año 2018. La variación significativa alta en el año 2014 probablemente se presentó por las fluctuaciones del precio del producto agrícola en el mercado.

4.1.3 Estrategias de manejo eficiente del agua en la producción cultivo de palma africana en Ecuador

El diseño de estrategia de manejo eficiente del agua en la producción del cultivo de palma africana en Ecuador, es un conjunto de medidas establecidas de acuerdo a los problemas identificados según los resultados del cálculo de cada Huella Hídrica Azul, Verde y Gris. Para una considerada disposición de medidas se tuvo en cuenta las siguientes estrategias; conservación, reutilización, protección, prevención y mitigación, sistemas de gestión integral que caracterizan de la mejor manera las diferentes soluciones a los problemas del consumo de los recursos hídricos en la producción de agrícola de la palma africana. Estas estrategias se basan en la sostenibilidad ambiental y que se contemplan en tres básicos aspectos como social, ambiental y económico.

Tabla 17. Estrategias de manejo eficiente del agua en la producción del cultivo de palma africana

Estrategias de manejo eficiente del agua en la producción del cultivo de palma africana	
Medidas	➤ Asegurar la continuidad de los recursos hídricos, mediante aplicación de leyes y políticas de incentivos ambientales. ➤ Educación ambiental para el mejoramiento de las prácticas agrícolas en los cultivos, a los agricultores a nivel nacional que se dedican a diversas producciones agrícolas. ➤ Construir albarradas (sistemas de represamiento y canalización) para acumular el agua que proviene de las precipitaciones. ➤ Aprovechar el agua para utilizarla en el sistema de irrigación dentro de la plantación de palma africana, para el aumento de su producción. ➤ Implementar sistemas de riego idealmente tecnificado, automatizando el riego e implementando detectores de humedad en el suelo para el uso eco-eficiente del agua. ➤ Utilizar el riego en horas del día donde se generen menores pérdidas por evaporación, a primeras horas de la mañana o últimas horas de la tarde donde existe menor intensidad del sol. ➤ Instalar medidores en cada uno de los aspersores para controlar la cantidad de agua y distribuir la misma cantidad en distintas áreas de la plantación. ➤ Distribuir la por toda la plantación con frecuencia moderada para no exceder la retención del volumen del agua en el suelo. ➤ Requerir análisis de calidad de suelo, para asegurar su capacidad de almacenar y procesar cantidad de agua, evitando el agotamiento del suelo provocando la muerte de plantas. ➤ El sistema de goteo por tener menor costo y mayor facilidad de operación puede ser una alternativa para los pequeños y medianos agricultores. ➤ Evitar la aplicación de fertilizantes antes de una lluvia significativa, debido a que aumentaría el riesgo de lixiviación, y la posibilidad de contaminar el agua.

	➤ Cuidar la aplicación de fertilizantes sea de acuerdo a las necesidades del cultivo, ya que los excedentes pueden ir fácilmente a fuentes de aguas superficiales y/o subterráneas. ➤ Evitar filtraciones en las bombas de riego, conexiones, estanques. ➤ Realizar monitoreo periódico de los equipos y fuentes de agua, para conocer su calidad y cantidad. ➤ Plan de Manejo Integral y Sostenible de los recursos hídricos.
Responsables	Palmicultor
Marco Legal	➤ Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Registro Oficial Suplemento 483 del 20 de abril, 2015). Artículo 34. ➤ Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria (2010). Artículo 5

Elaborado: Autor, 2021

4.2 DISCUSIÓN

El promedio de la huella hídrica total obtenida en el periodo de año de estudio osciló entre 300 a 1200 m³/ton valores que fueron que reflejan similitud a los registrados por (34) en el estudio *Estimación de la Huella Hídrica de los cultivos de palma africana y maíz duro en la provincia de Los Ríos y caña de azúcar en la provincia del guayas para la producción de biocombustibles* donde obtuvieron valores en su huella hídrica de palma de 985,58 m³/ton en el año 2017. La evapotranspiración del cultivo es principalmente la evaporación de agua en el suelo y la transpiración de las plantas, la evapotranspiración de cultivo de palma africana varía entre azul 1061,85 mm/año y verde 2311,07 mm/año en el periodo estudiado lo que muestra diferencias con la evapotranspiración de cultivo de palma africana azul 3704,6 mm/año y verde 173,1 de la investigación *Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca villa Beatriz del municipio de zona bananera, departamento del Magdalena* (35), de tal modo que presenta una diferencia debido por las condiciones climáticas del área de estudio.

Los valores referentes de huella hídrica del cultivo de palma en el año 2015 se obtuvieron un valor de 9586,79 m³/ton en comparación de los calculados en el estudio *Determinación de la Huella Hídrica en el cultivo de palma de aceite en la empresa Guaicaramo S.A. localizada en Barranca de Upia, Meta en Colombia* (36) de 11.643 m³/ton estas diferencias de valores obtenido en la empresa colombiana con respecto con Ecuador se da por motivo de la extensión de terreno, rendimiento y cantidad de agua aplicada por irrigación en el cultivo.

Los componentes de la huella hídrica estimados en la producción de palma africana representaron un total de 1983,85 m³/ton de huella hídrica verde y huella hídrica azul siendo inferior en su consumo de agua en comparación a los resultados del cálculo obtenido de la investigación *Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del rio Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de la huella hídrica* (37) donde la huella hídrica verde es de 9030 m³/ton y huella hídrica azul 2967 m³/ton, la huella hídrica presenta variabilidad que están sujetas a los ciclos del cultivo en su etapa temprana de siembra, cantidad de agua aplicada por riego y los parámetros climáticos de la zona.

No toda el agua que desciende de la precipitación es utilizada por las plantas, la cual es aprovechada para su desarrollo y producción (38) en el estudio *Evaluación y análisis de la*

huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador demuestra que llovió 1402,5 mm y que solo 866,5 mm de la precipitación fue considerada por los cultivos, en comparación a los resultados de este estudio de la cual 34666,6 mm fue aprovechada de los 42959,3 mm proveniente de las precipitaciones, valores que se asemejan a la cantidad de agua que consume el cultivo para su crecimiento y desarrollo, es considerable cuando la precipitación es baja no se llega a aprovechar al máximo debido a que se pierde por la evaporación, cuando las precipitaciones son altamente efectivas es poco lo que se pierde por medio de escorrentías superficiales.

El rendimiento del cultivo de palma africana de esta investigación en promedio es de 35 ton/ha en el periodo de año, en comparación a los resultados promedios del estudio *Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes* (39) en lo que manifiesta que el rendimiento es de 28 ton/ha a nivel nacional en Colombia, la producción total de los cultivos de palma en ambos casos son superiores por lo que no cumplen con los resultados promedios global de *Improving the Competitiveness of Small Scale Oil Palm Farmers and production in latin America and the Caribbean* (40) el cual estima 10,6 ton/ha. La huella hídrica varía dependiendo al rendimiento del cultivo, quiere decir que la HH disminuye cuando la producción aumenta.

En base a los resultados obtenidos por (38) en el estudio *Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador* muestra 103 Mm³/ton/año de la exportación de agua virtual contenida en el producto, tiene diferencia al valor adquirido en esta investigación 542,33 Mm³/ton/año debido a los años estudiados y la gran exportación del producto. La productividad aparente de agua del cultivo de palma obtiene un valor económico promedio de 51 \$/m³ lo que le da un valor importante de protección al agua en comparación los dos estudios Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras (34) el cual presenta 1,06 \$/m³ de productividad aparente de agua y 0,12 \$/m³ en la investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1 CONCLUSIÓN

En el desarrollo de este proyecto se aplicó la cuantificación de la Huella Hídrica de la producción de la palma africana y la evaluación del agua virtual en el producto exportado de Ecuador en el periodo 2014-2018 de cada una de las provincias, se determinó que la HH integra las dimensiones social, ambiental y económica, que articula criterios de sostenibilidad mercado y rentabilidad. El modelamiento del software fue fundamental en el cálculo de los diferentes componentes de la huella hídrica, una herramienta para evaluar la evapotranspiración azul 1061,85 mm/año y verde 2311,07 mm/año y el requerimiento del agua en el cultivo. Los resultados de HHT difirieron en función a la variabilidad de las condiciones climáticas de cada una de las zonas, extensión del cultivo y el rendimiento de su producción, demostrando que en las actividades de producción de palma africana existió diferencias entre consumo de agua proveniente de las precipitaciones (385,52 m³/ton HHVerde) y el agua aplicada por medio del riego (131,97 m³/ton HHAzul), dentro de las actividades agrícolas se evidencia contaminación del agua (89,07 m³/ton HHGris) generado por la utilización de agroquímicos, provocando impacto medio ambiental a los recursos hídricos representado en un 15% de la contaminación del agua en la producción del cultivo de palma africana en función a la Huella Hídrica Total. Es importante que el sector agropecuario aplique esta herramienta para que conozcan el consumo de agua de los cultivos y establecer acciones para reducir el consumo de agua.

De acuerdo con lo señalado y los resultados obtenidos el agua virtual exportada en el producto de palma africana en Ecuador tuvo valores significantes los cuales muestran que en el periodo de años y provincias existe un promedio de 13,75 Mm³/ton/año esto debido a la cantidad de toneladas de aceite de palma africana exportada y la estimación de la huella hídrica total, sin embargo los resultados no se relacionan con las condiciones climáticas, más bien dependen de las exportaciones que realiza el sector industrial.

La productividad aparente del agua en cuanto a la huella hídrica del producto de palma africana habría sido mayor 0,70 \$/m³ en 2014, las afectaciones de los precios del mercado por tonelada de palma africana son los impactos en la economía causados de la exportación, las provincias con mayor uso de agua en su producción del cultivo son las que obtienen una menor productividad del agua estimando un promedio nacional dándole un valor al agua exportada de Ecuador de 0,40 \$/m³. De este punto de vista se logra presumir cuánto dinero se genera por cada

unidad de agua que se utilizó en la producción de palma africana en cada una de las provincias estudiadas, siendo Esmeraldas con mayor generación de dinero 3,68 \$/m³.

Con este estudio se plasmó estrategias sencillas y factibles, se recomendó la ejecución de medidas planteadas que se basan prácticamente en contribuir a la reducción del impacto ambiental provocado en los procesos de producción de palma africana por la captación que se realizan en los cuerpos de agua superficiales, promoviendo el cuidado de los recursos hidrológicos, utilizando alternativas tecnológicas, la sostenibilidad ambiental y velar por la manipulación del agua y fomentar en mayor medida la educación ambiental a los agricultores pequeños, medianos y grandes, con el fin de conservar el volumen de agua dulce que posee el país. Con la aplicación del plan de manejo integral y sostenibilidad de los recursos hídricos les permitirá la buena gestión del agua utilizada mejorando la productividad del cultivo al mismo tiempo.

El análisis estadístico no mostro diferencias estadísticas significativas la huella hídrica en los años de estudio fue igual estadísticamente teniendo similitudes estadísticas entre los valores de huella hídrica, al igual a nivel de provincias no existe diferencias estadísticamente significativas de la huella hídrica porque existe valores de provincias Bolívar y Manabí que sobrepasan la media de Cotopaxi. El análisis estadístico mostro diferencias estadísticamente significativas a nivel de provincia, debido a la gran exportación de producto de palma africana que tiene la provincia de Esmeraldas, estadísticamente no existe diferencias significativas entre año 2014 y 2018 no difiere porque la cantidad de exportación es mantenida durante el tiempo.

5.2 RECOMENDACIÓN

Los cultivos de palma africana en Ecuador deben Gestionar la distribución adecuada del agua en todas las plantaciones de manera equitativa en utilizar un sistema de riego automatizado, para incrementar el rendimiento del cultivo de toneladas de palma por hectárea, efectuar una planificación agrícola por el requiriendo de cada una de las plantaciones.

Implementación de la metodología de Huella Hídrica en estudios posteriores para los diferentes cultivos del país como de ciclo corto, maíz, arroz y cultivos perennes como lo que es el cacao, café, naranja, mango, pitahaya entre otros, para evaluar la variabilidad de los cultivos que son dan gran consumo de agua en los procesos de producción.

Proponer un sistema de riego a presión o por goteo evitando la evapotranspiración del agua, lo que ayudaría a la producción del cultivo de palma logrando un uso eficiente de los recursos hídricos de los cuales se abastece, debido a que el sistema de riego por gravedad requiere de abundante agua para garantizar una eficiencia óptima en las fases de producción.

Brindar a los propietarios de las plantaciones, a trabajadores y comunidad dentro de las estrategias llevar capacitaciones para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego con una buena gestión de los recursos hídricos.

Promover la sostenibilidad de los recursos hidrológicos dentro de los cultivos de palma africana en Ecuador, identificando los efectos negativos medio ambientales generados por sus actividades como la aplicación de productos menos químicos ya que de esa manera se conseguiría a reducir la Huella Hídrica gris y remplazarlos por fertilizantes orgánicos.

Considerar el agua virtual de los demás cultivos agrícolas de exportación de Ecuador, para evaluar la cantidad de agua que se encuentra dentro de los demás productos del país y tomar en cuenta en los procesos de comercialización de los productos exportados que logra contribuir a reducir y mitigar los efectos de escasez de los recursos hídrico.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Referencias

1. Franek A, Koncagul E, Connor R, Hunziker D. Informe de la Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo Perusa,Italia; 2015.
2. Borasino E. La cadena de la palma aceitera en contexto. In. Lima: GRADE; 2016. p. 27.
3. Carrillo M, Cevallos V, Cedeño C, Gualoto W, Mite F, Navarrete M, et al. Manual del Cultivo de la Palma Aceitera Santo Domingo: INIAP; 2015.
4. Ancupa. Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera. [Online].; 2018. Available from: ancupa.com.
5. Villalobos V, Garcia M, Avila F. Agua para la Agricultura de las America Mexico: IICA; 2017.
6. PROGRAMME WORK WATER ASSESSMENT UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2016, Water and Jobs París; 2016.
7. Porto JP, Merino. M. Definicion.De. [Online].; 2016. Available from: <https://definicion.de/recursos-hidricos/>.
8. Araez JL, Cela I, Fernandez L, Santos A, Garcia E, Vallejo I. Agua: El Oro Azul Asturia: Geólogos del Mundo; 2017.
9. FCEA FplCylEAAC. Agua.org.mx. [Online].; 2017. Available from: <https://agua.org.mx/glosario/agua-superficial/>.
10. Drenaje SdR. Plan nacional de Riego y Drenaje 2019-2027. [Online].; 2019. Available from: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/RESUMEN-PNRD-2019-2027.pdf>.
11. España IGyM. La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo. In. Guatemala: aecid; 2017.
12. UNESCO , PROGRAMME WWA. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo Colombella; 2017.
13. Sosa B. Uso Eficiente del Agua:Una guía para socios y personal. [Online].; 2011. Available from: <http://www.snvla.org/mm/file/Guia%20uso%20de%20agua-web.pdf>.

14. Diaz Alcaide S, Martínez PS, Willaarts B. HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL DE CANTABRIA. 2015: p. 66.
15. Felices AR. Academia Peruana de Ingeniería. [Online].; 2011. Available from: https://www.academia.edu/5689326/EL_AGUA_VIRTUAL_Y_LA_HUELLA_H%C3%8DDRICA_EN_EL_MUNDO_DEL_SIGLO_XXI.
16. Román RA. Agua virtual y desarrollo sostenible. REICE. 2017.
17. Gálvez JJO. CARTILLA TÉCNICA: Ciclo Hidrológico. [Online].; 2011-2012. Available from: http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrológico.pdf.
18. Vera C, Camilloni I. EL CICLO DEL AGUA. [Online].; 2014. Available from: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>.
19. Mehta A, Prados A, Podest E. Resumen General de la Evapotranspiración. [Online].; 2017. Available from: https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/Brazil_2017/Day3/S6P1-span.pdf.
20. AgroDer. Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica. [Online].; 2012. Available from: <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%ADdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>.
21. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Online].; 2000. Available from: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>.
22. Ávil PZ. La sustentabilidad o sostenibilidad: Un concepto poderoso para la humanidad. Scielo. 2018.
23. World Bank Group Water Global Practice. THE WORLD BANK. [Online].; 2020. Available from: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.
24. CSIC , AQUALOGY , COMPETITIVIDAD MDEY, ONU. UN WATER. [Online].; 2013. Available from: <https://www.esferadelagua.es/ciencia-y-agua/uso-del-agua-en-agricultura-de-regadio-y-investigacion-publica>.
25. Martínez A. EL AGUA Y LOS RESTOS DEL SIGLO XXI. In. Madrid: Cyan, Proyectos Editoriales, S.A.; 2017.

26. INEC. Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. [Online].; 2018. Available from: www.ecuadorencifras.gob.ec.
27. OSWALDO LBR. Afectación económica a productores de palma africana por pudrición de cogollo, en el cantón Quinindé. [Online].; 2019. Available from: <http://dspace.uniandes.edu.ec/>.
28. Ministerio Comercio Exterior. Informe Sobre el Sector Palmicultor Ecuatoriano Quito: Ministerio de Comercio Exterior; 2017.
29. Hoekstra AY. Virtual water trade Proceedeing of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade Netherlenads: IHE Delft; 2003.
30. SENPLADES. CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. [Online].; 2017. Available from: https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.
31. Varela A, Ron S. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. [Online].; 2019. Available from: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>.
32. FAO. Food an Agriculture Organization of the United Nations. [Online].; 2021. Available from: www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/.
33. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Online].; 2021. Available from: www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/.
34. Burpee G, Janet BS, Schmidt A. Preparando a familias campesinas con pequeñas finas para adaptarse al cambio climático: Manual de bolsillo 3; Manejo de los recursos hídricos Baltimore, MD; 2015.
35. Rueda Punina VJ. Estimación de la huella hídrica de los cultivos de palma africana y maíz duro en la provincia de Los Ríos y caña de azúcar en la provincia del Guayas para la producción de biocombustibles Quito; 2017.
36. Torres Cuéllar AJ, Peña Carrillo PA. Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca villa Beatriz del municipio de la zona bananera, departamento del Magdalena Bogotá; 2015.
37. Palacios Lopez DJ, Pinzon Villalobos A. Determinación de la huella hídrica en el cultivo de palma de aceite en la empresa Guaicaramo S.A. localizada en la Barranca de Upia, Meta Bogotá; 2015.

38. Tovar Hernández NA, Trujillo González JM, Muloz Yáñez SI, Torres Mora MA, Zárate E. Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de la huella hídrica; 2017.
39. Pérez SI. Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador Zamorano; 2012.
40. Woittiez L, van Wijk M, Slingerland M, van Noordwijk M, Giller K. Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes. Palmas. 2018 Enero; 39(1): p. 40-41.
41. Pulver E, Guerrero JM. Improving the Competitiveness of Small Scale Oil Palm Farmers and production in latin America and the Caribbean. In. Cali; 2014. p. 42-43.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

1.4 ANEXOS. Evapotranspiración de las estaciones meteorológicas que representa a cada una de las provincias de estudio

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN PICHILINGUE 2014								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN PICHILINGUE 2015							
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día	Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	21.0	31.8	87	2.9	12.0	27.4	5.30	Enero	21.0	32.7	85	2.9	12.0	27.4	5.55
Febrero	21.4	36.7	87	2.5	12.0	28.2	6.16	Febrero	22.0	32.7	85	2.4	12.0	28.2	5.70
Marzo	21.9	34.0	83	1.8	12.0	28.4	5.96	Marzo	21.9	33.0	84	2.1	12.0	28.4	5.80
Abril	21.4	33.6	86	1.7	12.0	27.4	5.59	Abril	21.8	33.5	84	2.2	12.0	27.4	5.67
Mayo	21.9	33.3	86	1.6	12.0	25.9	5.23	Mayo	21.9	33.2	85	2.1	11.9	25.7	5.26
Junio	20.4	33.4	86	2.2	12.0	24.9	5.05	Junio	21.3	32.8	85	2.4	11.9	24.7	5.01
Julio	19.2	33.0	85	2.3	12.0	25.2	5.08	Julio	21.5	32.7	85	2.4	11.9	25.1	5.10
Agosto	19.5	33.0	82	2.5	12.0	26.6	5.47	Agosto	19.5	31.3	84	2.3	12.0	26.6	5.16
Sept	18.8	34.4	81	2.4	12.0	27.9	5.93	Sept	20.4	34.4	79	2.4	12.0	27.9	5.98
Octubre	19.9	32.9	81	2.5	12.0	28.1	5.81	Octubre	21.3	35.2	80	2.5	12.0	28.1	6.20
Nov	19.5	32.8	78	2.4	12.0	27.4	5.73	Nov	20.9	33.7	81	2.3	12.0	27.4	5.80
Dic	20.1	34.9	75	3.0	12.0	27.0	6.24	Dic	22.4	33.0	84	2.4	12.0	27.0	5.57
Promedio	20.4	33.6	83	2.3	12.0	27.0	5.63	Promedio	21.3	33.2	83	2.4	12.0	27.0	5.57

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN PICHILINGUE 2016								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN PICHILINGUE 2017							
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día	Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	22.4	32.7	87	2.2	12.0	27.4	5.49	Enero	22.0	33.0	83	2.8	12.0	27.4	5.68
Febrero	22.3	34.2	86	2.2	12.0	28.2	5.86	Febrero	22.0	33.4	85	2.6	12.0	28.2	5.81
Marzo	22.5	34.2	86	1.9	12.0	28.4	5.92	Marzo	22.0	33.0	86	2.4	12.0	28.4	5.76
Abril	22.2	33.6	86	1.9	12.0	27.4	5.63	Abril	22.0	33.0	85	2.3	12.0	27.4	5.59
Mayo	22.2	34.1	83	2.0	11.9	25.7	5.44	Mayo	22.0	33.0	85	2.2	11.9	25.7	5.25
Junio	20.4	32.8	81	2.0	11.9	24.7	5.08	Junio	20.9	32.2	87	2.1	11.9	24.7	4.97
Julio	19.9	33.2	84	2.0	11.9	25.1	5.11	Julio	19.0	21.1	85	2.3	11.9	25.1	3.84
Agosto	17.5	33.0	78	2.2	12.0	26.6	5.52	Agosto	18.6	32.2	83	2.0	12.0	26.6	5.14
Sept	20.0	33.0	81	2.2	12.0	27.9	5.71	Sept	20.1	32.6	81	2.0	12.0	27.9	5.62
Octubre	20.0	33.0	77	2.3	12.0	28.1	5.93	Octubre	20.0	35.0	80	2.2	12.0	28.1	6.09
Nov	17.6	34.6	73	2.6	12.0	27.4	6.17	Nov	18.5	32.6	76	2.5	12.0	27.4	5.80
Dic	20.8	35.1	74	3.0	12.0	27.0	6.30	Dic	21.0	32.7	82	2.2	12.0	27.0	5.49
Promedio	20.6	33.6	81	2.2	12.0	27.0	5.68	Promedio	20.7	32.0	83	2.3	12.0	27.0	5.42

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN PICHILINGUE 2018							
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	20.4	34.0	80	2.5	12.0	27.4	5.87
Febrero	21.9	33.0	87	2.4	12.0	28.2	5.67
Marzo	21.9	33.1	85	2.2	12.0	28.4	5.79
Abril	21.0	33.5	82	2.0	12.0	27.4	5.69
Mayo	21.0	32.7	87	2.1	12.0	25.9	5.16
Junio	18.4	31.7	84	2.2	12.0	24.9	4.85
Julio	18.8	33.2	84	2.3	12.0	25.2	5.12
Agosto	17.9	31.6	83	2.1	12.0	26.6	5.15
Sept	19.5	34.8	79	2.2	12.0	27.9	6.00
Octubre	18.4	34.3	77	2.5	12.0	28.1	6.12
Nov	19.4	34.6	76	2.5	12.0	27.4	6.07
Dic	21.0	34.0	80	2.7	12.0	27.0	5.84
Promedio	20.0	33.4	82	2.3	12.0	27.0	5.61

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN CONCORDIA 2014								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN CONCORDIA 2015							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	20.9	31.2	89	1.2	12.0	27.2	5.25	Enero	20.6	31.6	88	1.3	12.0	27.2	5.29
Febrero	20.2	32.7	88	1.2	12.0	28.1	5.58	Febrero	21.4	33.3	87	1.4	12.0	28.1	5.69
Marzo	20.0	32.4	85	1.2	12.0	28.4	5.63	Marzo	21.1	33.3	87	1.4	12.0	28.4	5.78
Abril	20.0	33.6	89	1.3	12.0	27.5	5.52	Abril	21.0	32.4	87	1.4	12.0	27.5	5.48
Mayo	21.3	32.1	88	1.4	12.0	26.0	5.13	Mayo	21.2	32.3	87	1.4	12.0	26.0	5.15
Junio	20.4	31.3	88	1.4	12.0	25.1	4.82	Junio	21.0	31.6	87	1.8	12.0	25.1	4.88
Julio	18.4	31.6	87	1.5	12.0	25.4	4.85	Julio	20.4	31.6	88	1.9	12.0	25.4	4.89
Agosto	19.1	32.0	86	1.8	12.0	26.7	5.22	Agosto	20.2	32.6	86	2.4	12.0	26.7	5.34
Sept	18.7	32.0	85	1.8	12.0	27.9	5.47	Sept	20.8	32.5	85	2.5	12.0	27.9	5.63
Octubre	20.0	31.7	87	1.5	12.0	28.0	5.46	Octubre	20.7	32.0	86	2.2	12.0	28.0	5.56
Nov	18.6	32.0	86	1.6	12.0	27.3	5.31	Nov	20.0	31.1	87	2.0	12.0	27.3	5.23
Dic	19.0	33.1	86	1.3	12.0	26.8	5.32	Dic	22.1	32.0	89	1.9	12.0	26.8	5.26
Promedio	19.7	32.1	87	1.4	12.0	27.0	5.30	Promedio	20.9	32.2	87	1.8	12.0	27.0	5.35

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN CONCORDIA 2016								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN CONCORDIA 2017							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	21.6	31.4	89	1.9	12.0	27.2	5.26	Enero	20.0	33.2	87	1.7	12.0	27.2	5.45
Febrero	21.9	32.5	90	2.1	12.0	28.1	5.53	Febrero	20.0	32.8	85	1.4	12.0	28.1	5.64
Marzo	21.9	33.0	88	1.9	12.0	28.4	5.74	Marzo	20.0	32.0	87	1.5	12.0	28.4	5.58
Abril	22.1	32.2	89	1.9	12.0	27.5	5.45	Abril	20.0	32.0	88	1.4	12.0	27.5	5.36
Mayo	21.2	32.3	88	1.6	12.0	26.0	5.14	Mayo	20.0	33.5	88	1.4	12.0	26.0	5.20
Junio	21.0	31.7	88	1.6	12.0	25.1	4.87	Junio	20.1	33.0	88	1.2	12.0	25.1	4.97
Julio	20.5	30.7	88	1.8	12.0	25.4	4.82	Julio	18.9	31.8	86	1.4	12.0	25.4	4.92
Agosto	18.7	32.4	85	2.1	12.0	26.7	5.31	Agosto	17.8	32.6	86	1.4	12.0	26.7	5.22
Sept	20.3	30.8	88	1.8	12.0	27.9	5.33	Sept	19.6	31.9	87	1.3	12.0	27.9	5.41
Octubre	17.8	31.6	86	1.8	12.0	28.0	5.39	Octubre	19.8	33.1	89	1.1	12.0	28.0	5.60
Nov	18.1	33.6	84	2.1	12.0	27.3	5.56	Nov	17.4	31.7	85	1.3	12.0	27.3	5.27
Dic	20.3	32.6	84	1.6	12.0	26.8	5.37	Dic	19.6	30.5	89	1.0	12.0	26.8	5.01
Promedio	20.4	32.1	87	1.8	12.0	27.0	5.31	Promedio	19.4	32.3	87	1.3	12.0	27.0	5.30

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN CONCORDIA 2018							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	18.8	32.8	86	1.1	12.0	27.2	5.35
Febrero	20.0	32.6	88	1.2	12.0	28.1	5.55
Marzo	20.0	32.8	88	1.6	12.0	28.4	5.66
Abril	19.4	31.8	85	1.7	12.0	27.5	5.39
Mayo	19.2	32.8	90	1.5	12.0	26.0	5.11
Junio	17.6	30.2	89	1.8	12.0	25.1	4.58
Julio	18.0	31.7	86	2.2	12.0	25.4	4.89
Agosto	19.6	30.6	85	2.3	12.0	26.7	5.10
Sept	19.8	31.7	86	2.2	12.0	27.9	5.46
Octubre	18.0	31.9	82	2.3	12.0	28.0	5.60
Nov	19.0	31.2	86	1.7	12.0	27.3	5.23
Dic	19.0	31.8	86	1.6	12.0	26.8	5.19
Promedio	19.0	31.8	86	1.8	12.0	27.0	5.26

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN MILAGRO 2014								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN MILAGRO 2015							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	21.7	34.4	81	130	12.0	27.6	5.79	Enero	21.7	34.4	81	130	12.0	27.6	5.82
Febrero	22.4	34.7	84	130	12.0	28.3	5.96	Febrero	22.4	34.7	84	130	12.0	28.3	5.96
Marzo	22.7	34.4	81	112	12.0	28.4	5.98	Marzo	22.7	34.4	84	112	12.0	28.4	5.94
Abril	22.8	34.4	85	112	12.0	27.3	5.69	Abril	22.8	34.4	83	112	12.0	27.3	5.72
Mayo	23.1	33.9	89	104	12.0	25.7	5.24	Mayo	23.1	33.9	85	112	12.0	25.7	5.30
Junio	21.7	33.8	87	104	12.0	24.6	4.98	Junio	21.7	33.8	82	104	12.0	24.6	5.02
Julio	20.5	33.0	80	156	12.0	25.0	5.12	Julio	21.3	34.4	81	112	12.0	25.0	5.19
Agosto	20.7	33.8	80	147	12.0	26.5	5.50	Agosto	20.4	32.9	80	121	12.0	26.5	5.33
Sept	19.7	34.2	79	156	12.0	27.8	5.84	Sept	21.6	34.2	75	130	12.0	27.8	5.89
Octubre	20.9	34.4	79	156	12.0	28.1	5.98	Octubre	20.4	35.4	80	130	12.0	28.1	6.00
Nov	20.4	33.6	76	147	12.0	27.6	5.80	Nov	21.9	34.3	77	130	12.0	27.6	5.84
Dic	21.5	34.2	71	138	12.0	27.2	5.87	Dic	23.3	35.8	78	112	12.0	27.2	5.95
Promedio	21.5	34.1	81	132	12.0	27.0	5.65	Promedio	21.9	34.4	81	120	12.0	27.0	5.66

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN MILAGRO 2016								DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN MILAGRO 2017							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	22.8	34.4	85	1.2	12.0	27.6	5.75	Enero	21.9	36.9	84	1.3	12.0	27.6	6.01
Febrero	22.0	35.1	88	1.3	12.0	28.3	5.91	Febrero	22.7	34.6	87	1.3	12.0	28.3	5.92
Marzo	22.5	36.2	88	1.3	12.0	28.4	6.09	Marzo	22.7	34.7	87	1.3	12.0	28.4	5.94
Abril	22.7	34.8	85	1.2	12.0	27.3	5.74	Abril	22.3	34.4	90	1.3	12.0	27.3	5.62
Mayo	22.0	35.2	77	1.2	12.0	25.7	5.47	Mayo	21.3	34.5	84	1.2	12.0	25.7	5.28
Junio	20.1	34.0	77	1.2	12.0	24.6	5.03	Junio	21.5	33.5	83	1.1	12.0	24.6	4.97
Julio	21.4	33.6	78	1.4	12.0	25.0	5.14	Julio	20.7	32.0	81	1.3	12.0	25.0	4.91
Agosto	20.6	34.7	76	1.5	12.0	26.5	5.62	Agosto	20.3	32.8	76	1.5	12.0	26.5	5.40
Sept	21.4	34.4	78	1.6	12.0	27.8	5.92	Sept	21.2	31.6	77	1.6	12.0	27.8	5.59
Octubre	20.2	34.0	76	1.6	12.0	28.1	5.93	Octubre	21.1	33.1	74	1.7	12.0	28.1	5.91
Nov	19.8	35.1	71	1.7	12.0	27.6	6.04	Nov	20.2	33.3	75	1.5	12.0	27.6	5.71
Dic	21.4	35.5	71	1.4	12.0	27.2	5.93	Dic	20.5	35.2	74	1.5	12.0	27.2	5.83
Promedio	21.4	34.8	79	1.4	12.0	27.0	5.71	Promedio	21.4	33.9	81	1.4	12.0	27.0	5.59

DATOS METEOROLOGICOS ESTACIÓN MILAGRO 2018							
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	20.1	35.7	76	1.4	12.0	27.6	5.94
Febrero	21.7	33.5	87	1.2	12.0	28.3	5.75
Marzo	21.4	33.5	82	1.1	12.0	28.4	5.77
Abril	21.2	35.7	75	1.2	12.0	27.3	5.85
Mayo	21.9	33.8	81	1.1	12.0	25.7	5.27
Junio	20.5	32.1	79	1.2	12.0	24.6	4.83
Julio	20.5	33.6	79	1.3	12.0	25.0	5.08
Agosto	19.5	32.9	77	1.5	12.0	26.5	5.37
Sept	20.0	34.0	76	1.6	12.0	27.8	5.84
Octubre	19.0	33.5	76	1.5	12.0	28.1	5.77
Nov	21.6	35.0	74	1.5	12.0	27.6	5.96
Dic	20.1	34.9	77	1.4	12.0	27.2	5.77
Promedio	20.6	34.0	78	1.3	12.0	27.0	5.60