



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Huella hídrica del cultivo de café en un fundo del Valle de  
Monzon en Huánuco**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Espinoza Durand, Gladys Aida (orcid.org/ 0000-0002-3478-593X)

**ASESOR:**

M.Sc. Solórzano Acosta, Richard Andi (orcid.org/ 0000-0003-3248-046X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas de Gestión Ambiental

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Con cariño dedico esta tesis, a mis padres por ser un apoyo constante, a mis hermanos por ser mi motivación diaria para seguir adelante y conseguir mis objetivos.

## **Agradecimiento**

A Dios, por permitirme alcanzar cada uno de mis objetivos. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más.

A mis padres y hermanos por ser el soporte e impulso constante para conseguir mis objetivos, por sus consejos que me han guiado y acompañado en este trayecto.

A la Universidad Cesar Vallejo por la oportunidad en el proceso de titulación.

Al asesor y docentes que fueron parte de mi formación

## Índice de contenidos

<b>Carátula</b>	i
<b>Dedicatoria</b>	ii
<b>Agradecimiento</b>	iii
<b>Índice de contenidos</b>	iv
<b>Índice de tablas</b>	v
<b>Índice de gráficos y figuras</b>	vii
<b>Resumen</b>	viii
<b>Abstract</b>	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	3
<b>III. METODOLOGÍA</b>	7
<b>3.1. Tipo y diseño de investigación</b>	7
<b>3.2. Variables y operacionalización</b>	7
<b>3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis</b>	7
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	7
<b>3.5. Procedimiento</b>	8
<b>3.6. Método de análisis de dato:</b>	12
<b>3.7. Aspectos éticos</b>	12
<b>IV. RESULTADOS</b>	13
<b>4.1 Delimitación el área de estudio cultivada con café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco</b>	13
<b>4.2 Determinación las condiciones climáticas del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021</b>	18
<b>4.3 Cálculo la huella hídrica azul, verde y gris en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021</b>	18

<b>4.4 Análisis la sostenibilidad en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021</b>	<b>26</b>
<b>V. DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>VII. RECOMENDACIÓN</b>	<b>29</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>30</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>35</b>

## Índice de tablas

Tabla 1	8
Tabla 2	14
Tabla 3	14
Tabla 4	15
Tabla 5	14
Tabla 6	16
Tabla 7	17
Tabla 8	17
Tabla 9	18
Tabla 10	18
Tabla 11	18
Tabla 12	19
Tabla 13	20
Tabla 14	22
Tabla 15	22
Tabla 16	23
Tabla 17	23
Tabla 18	24
Tabla 19	25
Tabla 20	26

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1	13
Figura 2	
Figura 3	

## Resumen

La agricultura es un sector de la economía que consume el mayor porcentaje de agua a nivel mundial; en particular el cultivo del café que consume agua en su proceso de cultivo que conlleva a consecuencias ambientales significativas debido a su alta demanda, por ello la huella hídrica de este cultivo ofrece una noción de los impactos ambientales que las actividades agrícolas están ejerciendo sobre los recursos hídricos, por lo que la presente investigación se propuso determinar la huella hídrica del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco entre los años 2020 y 2021. Siendo una investigación de tipo cuantitativo, se empleó la metodología The Water Footprint (WFN), se utilizó el software Cropwat 0.8 y Climwat 2.0 los cuales sirvieron para obtener la huella hídrica. Finalmente, los resultados mostraron que la huella hídrica para el 2020 fue 3511.696 m<sup>3</sup>/ha y para el 2021 fue 4425.215 m<sup>3</sup>/ha.

**Palabras clave:** Huella hídrica, sostenibilidad, cultivo.

## **Abstract**

Agriculture is a sector of the economy that consumes the highest percentage of water worldwide; the cultivation of coffee that consumes water in its cultivation process that leads to significant environmental consequences due to its high demand, therefore the water footprint of this crop offers a notion of the environmental impacts that agricultural activities are exerting on resources. Therefore, this research aimed to determine the water footprint of coffee cultivation on a farm in the Monzón Valley in Huánuco between 2020 and 2021. Being a quantitative type of research, The Water Footprint (WFN) methodology was used. ), Cropwat 0.8 and Climwat 2.0 software were used, which were used to obtain the water footprint. Finally, the results showed that the water footprint for 2020 was 3,511,696 m<sup>3</sup> /ha and for 2021 it was 4,425,215 m<sup>3</sup> /ha.

**Keywords:** Water footprint, sustainability, cultivation.

## I. INTRODUCCIÓN

De los diversos sectores de la economía mundial, la agricultura es la más sensible a la escasez del recurso hídrico (FAO, 2013). Este sector es ocasionalmente considerado como un “despilfarro” del recurso después de los sectores doméstico e industrial, representa el 70% del uso mundial del recurso hídrico y el 90% es de consumo. Sin embargo, también es el sector con más posibilidades para la gestión del recurso; el consumo y la contaminación del recurso en los diferentes procesos de la agricultura tienen una conexión directa con la escasez y/o disminución de este recurso hídrico ya que después de su uso no se encuentra disponible para otros manejos (FAO, 2013).

El proceso del cultivo de café tiene consecuencias ambientales significativas, atribuido al consumo de agua para el riego y la contaminación del proceso de despulpado. Siendo el café uno de los cultivos con mayor huella ecológica en comparación con otros productos, como el trigo, maíz, soja, caña de azúcar y el algodón, en términos de cantidad de agua gastada y contaminada por la cantidad producida, dentro de ello resalta la huella hídrica verde por el alto consumo de agua de las precipitaciones asimismo una huella hídrica gris por la alta contaminación del agua (Arévalo y Sabogal, 2012; IDEAM, 2015; Martins et al., 2018). La huella hídrica es una medida de la adquisición del agua por humanos en cantidad de agua consumida o contaminada, se utiliza para analizar la cantidad de agua consumida de manera directa e indirecta para generar un producto (Hoekstra et al., 2011).

En el Perú el café ocupa uno de los primeros lugares como producto de exportación, la producción de 359 508 hectáreas distribuidas en el territorio nacional, así como el promedio de rendimiento por hectárea de 1 010 kg (FAO, 2019), lo cual posiciona el país como el séptimo exportador de café a nivel mundial y el quinto en café de arábica (DGPA, 2020).

El cultivo de café en el Perú se da principalmente en siete regiones del país entre ellos se encuentra el departamento de Huánuco; según la Cámara Peruana del

Café y Cacao, en los últimos diez años, el ingreso de divisas por exportación de este grano fue de más de US \$7 mil millones (MINAGRI, 2018).

En el departamento de Huánuco, el café ha tomado gran importancia ya que es una actividad lícita para el productor de la zona y emigrante; en los años 1996 – 1998, la recuperación de los precios en el mercado internacional ha determinado el aumento de áreas para el cultivo de café, ubicando así al departamento de Huánuco como una de las regiones que cuenta con más áreas para dicho cultivo trayendo consigo más volumen para la producción nacional.

Según el Minga (2008) en el valle de monzón (alto Huallaga) existen 4.025 agricultores dedicados al cultivo de café, de los cuales 2,124 productores cafetaleros están ubicados en la provincia de Leoncio Prado Socorredor de Tingo María, Huánuco.

En este contexto, en la presente investigación se propone el siguiente problema ¿Cuál es la huella hídrica del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco?

El proyecto de investigación se enfocará en el análisis de la huella hídrica en la actividad del cultivo de café, este indicador ayudará a identificar los impactos que se generan por el consumo o gasto del agua, su sostenibilidad y las formas de abordar los efectos asociados a esta actividad.

Por ello se tiene como objetivo general: “Determinar la huella hídrica del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco entre los años 2020 y 2021”, teniendo en consecuencia los siguientes objetivos específicos:

Delimitar el área de estudio cultivada con café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco.

Determinar las condiciones climáticas del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021.

Calcular la huella hídrica azul, verde y gris en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021.

Analizar la sostenibilidad en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración de la tesis se tomaron en cuenta antecedentes nacionales e internacionales que permiten establecer un mejor entendimiento del tema tratado, los cuales se abordan a continuación:

Pérez (2016), calculó la huella hídrica en el sector agrícola en el Ecuador de cuatro tipos de productos agrícolas siendo estos frutos, cereales y hortalizas, entre ellos el café verde (31,347 t.). Evaluó la huella hídrica en sus diferentes componentes como la huella hídrica verde, azul y gris, la sumatoria de las huellas hídricas brindan una huella hídrica total encontrando que el café consume 18, 273 m<sup>3</sup>/tonelada, por lo que concluye que el cultivo del café en grano es uno de los cultivos que consumen más agua.

Del mismo modo, Camacho y Arevalo (2018), identificaron y caracterizaron los procesos de cosecha y postcosecha del café pergamino seco (cps) en ocho microcuencas en el departamento de Huila Colombia, donde obtuvieron los siguientes valores para la huella hídrica verde 6.328 l/kg cps; la huella hídrica azul está dividido en dos, en el valor de la demanda hídrica (dh) por producto promedio en cuenca fue de 233,2 l/kg cps y la huella hídrica azul por producto fue de 16,1 l/kg cps; concluyendo en una sobre estimación de huella hídrica total con el sustento en los datos globales.

Leal-Echeverri y Tobón (2021), determinaron la huella hídrica de la producción del cultivo de café en Colombia usando la metodología Red de Huella Hídrica (Water Footprint Network), obteniendo como resultado para la huella hídrica verde 8.746 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>, no cuenta con huella hídrica azul ya que no requiere riego y la huella hídrica gris fue de 7.000 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>; así mismo con el método tradicional de procesamiento húmedo obtuvo 4 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de huella hídrica azul y 3.200 m<sup>3</sup> m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de la huella hídrica gris, mientras que la tecnología ecológica Becolsub® obtuvo 0,60 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de huella hídrica azul y 1.739 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de huella hídrica gris, para la tecnología Ecomill® la huella hídrica azul fue de 55 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> y no tuvo huella hídrica

gris porque no genera ningún vertido de agua y el poco lixiviado que produce se reincorpora al proceso; concluyendo que el método de procesamiento ecológico Becolsub® reduce la huella hídrica en un 45.7% y un 99,9% con el proceso ecológico Ecomill® en comparación con la tecnología de procesamiento húmedo tradicional.

Según Moberg (2016), la huella hídrica del café cosechado por tonelada es de 20 049 m<sup>3</sup>, donde el principal aportante es la huella hídrica gris con un 88.5% de consumo de agua teniendo como principales fuentes de contaminación el uso de pesticidas y fertilizantes en la fase de crecimiento del cultivo.

Actualmente en Perú aún no se han realizado estudios de huellas hídricas en cultivos de café, siendo este un tema importante para desarrollar o mejorar la administración del recurso hídrico en las zonas productoras de café.

En referencia a las teorías sobre la que se basa la investigación, describimos en primera instancia el concepto de la huella hídrica llamada también Huella hidrológica o Huella de agua. Hoekstra et al. (2002), lo definió como la cantidad total de agua usada de manera directa e indirecta en las actividades humanas y en la provisión de un producto.

Es un indicador del uso de agua, dado en términos de volúmenes de agua gastada y contaminada en el tiempo (Falkenmark, 2006). Este concepto proporciona más información en comparación con los indicadores tradicionales, puesto que interrelaciona el consumo humano en el espacio y tiempo de producción, contabiliza el agua usada en todas las etapas de elaboración de un producto (Chapagain, 2011).

La huella hídrica (HH) es un indicador multidimensional que muestra dónde, cuándo y cuánto de agua se gasta. La huella hídrica tiene tres componentes la huella hídrica azul, verde y gris, los cuales se detalla a continuación: La huella hídrica azul (HHA) es el agua que se extrae de orígenes superficiales y/o subterráneas y no retornan a su ambiente natural. La huella hídrica verde (HHV) es la cantidad de agua de precipitaciones que queda temporalmente acumulada en la superficie del suelo o en la vegetación, y que puede ser aprovechada por la planta; por último, la Huella Hídrica Gris (HHG) corresponde a la proporción de

agua que se requiere para asimilar la cantidad de contaminantes de una descarga hasta niveles ambientalmente aceptables (Hoekstra et al. 2002).

Siendo el agua un recurso fundamental para beber, en las actividades domésticas, para la higiene y el saneamiento (Banco Mundial, 2015); la mayor extracción de agua está vinculadas a las prácticas agrícolas. Este sector es responsable del 70% del gasto mundial del agua dulce y simultáneamente con el aumento de la población mundial, también habrá un aumento en extracciones de agua para la agricultura (Koehler, 2008).

Uno de los productos agrícolas básicos más valiosos del mundo es el café donde 26 millones de personas obtienen sus ingresos de la producción; sin tener en cuenta que detrás de una taza de café, se esconde un consumo alto de agua desde su cultivo y el procesamiento de las cosechas de café (Chapagain y Hoekstra, 2007). Además, la producción de café puede causar problemas tanto para el medio ambiente como para la gente que vive en las áreas colindantes a las plantaciones de café debido al drenaje de los recursos hídricos en las áreas, así como la contaminación del agua río abajo (Adams y Ghaly, 2007).

La vida de los cultivos de café comienza con el cultivo de granos en viveros donde eventualmente crecen hasta convertirse en árboles pequeños. Al principio, un par de meses después de la siembra, salen los brotes y las plantas comienzan a crecer desde el suelo con el grano de café encima. Después de algunos meses adicionales, las plantas de café se pueden sacar al campo donde se procede a crecer (Martínez, 2006). En el valle del Monzón, todas las plantas de café crecen sombreadas con la protección de los árboles, generalmente los árboles de plátanos (González, 2015; Muñoz, 2015). Esto ayuda a las plantas a crecer en un entorno libre de estrés y ahorra agua de riego, ya que puede alimentarse con agua de lluvia. Otro beneficio de esto es su ayuda para mantener la fertilidad del suelo al proporcionar nutrientes al cultivo del café (Martínez, 2006).

Cuando las plantas tienen de 3 a 4 años, florecen y las flores se transforman en cerezas de café. Las cerezas se pueden cosechar después de unas 40 semanas (González, 2015).

Cuando las cerezas han sido recolectadas, se someten a varios pasos de proceso en el llamado método de producción húmeda. Las cerezas de café tienen varias capas que deben eliminarse para que el café esté listo para ser enviado para su posterior procesamiento y tostado (González, 2015; Gutiérrez, 2015; Muñoz, 2015). El mismo día después de ser recolectadas, las cerezas se trasladan para el procesamiento donde se introducen en una máquina despulpadora para eliminar la pulpa, es decir, la piel exterior. Tras el despulpado, la cereza se deja fermentar en un depósito durante unas 48 horas cubierta con el agua residual del despulpado. La fermentación ocurre cuando el mucílago, es decir, el jarabe natural de azúcar que recubre las semillas entra en contacto con el agua y comienza a disolverse. Posteriormente, la cereza se lava con agua para eliminar los residuos del mucílago. Cuando se ha eliminado la pulpa y el mucílago, los restos se denominan café húmedo, que luego se seca naturalmente al sol. Una vez seco, el café seco se almacena en bolsas (González, 2015; Gutiérrez, 2015).

Mekonnen y Hoekstra (2011), afirman que el promedio de la huella hídrica del café asciende a 15 774 m<sup>3</sup> /tonelada de café procesado.

Según Coltro et al. (2006), la producción de 1 tonelada de café procesado requiere alrededor de 11,4 toneladas de agua mientras que produce entre 3 y 8,5 toneladas de aguas residuales.

Humbert et al. (2009) afirman que 1 dl de taza de café procesado y tostado requiere entre 2,5 y 4 litros de agua cuando se enfoca en cultivos de secano. Un tercio del volumen se relaciona con el uso en el cultivo y procesamiento. En caso de contabilizar el uso de agua al considerar cultivos que son irrigados, el escenario cambia sustancialmente a una huella hídrica de 130 litros por taza. Este valor se acerca más a los resultados de Chapagain et al. (2007) quienes afirman que en una taza estándar (1,25 dl) de café se encuentran embebidos 140 litros de agua, de los cuales los mayores volúmenes están vinculados con el cultivo.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Al respecto, según Hernández et al. (2014), el estudio es de tipo cuantitativo, porque haciendo uso de la data recogida en campo y luego procesando estadísticamente se podrá comprobar la hipótesis planteada en la investigación; el diseño del proyecto es aplicada.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

Variable 1: Huella hídrica del cultivo de café.

Según Hoekstra, (2017), es un indicador de todas las cantidades de agua que se consumen en las diferentes actividades humanas como del origen industrial, esta agua puede ser provenientes de las lluvias o de los acuíferos, la huella hídrica nos ayuda a calcular el consumo total del agua.

La tabla operacional se encuentra en el Anexo 1.

#### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

Población: La población del proyecto de estudio está representada por el cultivo de café del valle del Monzón en Huánuco.

Muestra: La muestra del proyecto de estudio está representada por cuatro hectáreas (4 ha) de cultivo de café en un fundo del valle de Monzón.

Muestreo: El muestreo de este proyecto es dirigido por conveniencia puesto que se tomará un fundo de café para observar el proceso del cultivo.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica para la recolección de datos de la presente investigación fue descriptiva, se hizo visita en campo, la revisión documentos.

### 3.5. Procedimiento

#### 3.5.1 Delimitación del área de estudio cultivada con café:

Se usará Google earth pro para delimitar el área de investigación del cultivo de café en el valle de Monzón, para ello se ingresará las coordenadas del valle del monzón y se ubicará la zona del fundo cafetero colocando un polígono para determinar el área.

#### 3.5.2 Determinación de las condiciones climáticas del cultivo de café en el valle de Monzón:

Los datos climáticos que se tomarán en cuenta para la investigación son las siguientes: Radiación (h), temperatura (°C), humedad atmosférica (%), velocidad de viento (Km/día), precipitaciones (mm) de los años 2020 y 2021 se realizará con los softwares CROPWAR 8.0, CLIMWAT y Senamhi teniendo en cuenta las siguientes coordenadas:

Tabla 1

*Coordenadas del área de investigación.*

Zona	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Tingo Maria	9°17'46" S	75°59'53" O	649
Valle del Monzón	9° 16' 47" S	76° 23' 47" O	954

#### 3.5.3 Cálculo de la huella hídrica azul, verde y gris:

El factor de estudio para la investigación fue la Huella Hídrica verde, azul y gris. Los resultados se obtuvieron a partir de la fórmula de Huella Hídrica propuesta por la Wáter Footprint Network, viéndose afectadas por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta el fundo.

El cálculo de la Huella hídrica está representado por la ecuación 1:

$$HH\ cultivo = HHVerde + HHAzul + HHGris \quad \text{Ecuación 1}$$

a) Estimación de la Huella Hídrica Verde (HHV):

$$HHV = \frac{P_{ef}}{y}$$

Ecuación 2

Dónde:

$P_{ef}$  = Precipitación efectiva en metros (m)

$Y$  = Rendimiento de cultivo ( $\frac{Ton}{m^2}$ )

b) Estimación de la Huella Hídrica Azul (HHA):

$$HHA = \frac{CWU_{riego}}{y}$$

Ecuación 3

Dónde:

$CWU_{riego}$  = Requerimientos de riego de los cultivos (m)

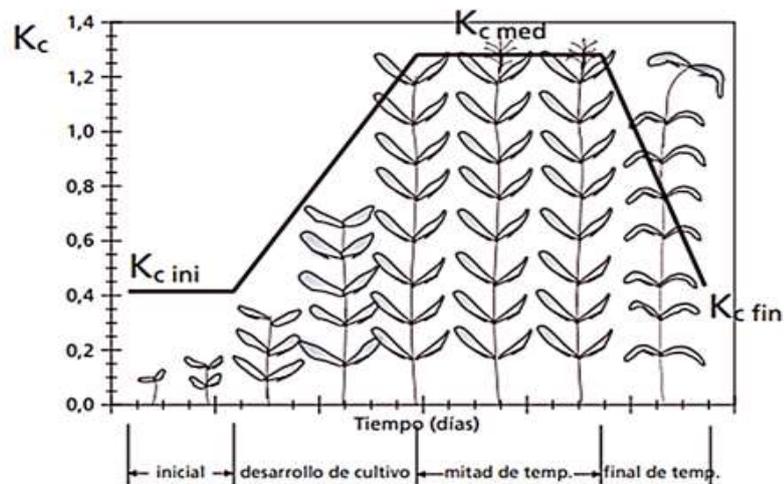
$Y$  = Rendimiento de cultivo ( $\frac{Ton}{m^2}$ )

Con el fin de conocer los requerimientos hídricos del cultivo de café, fue necesario conocer ciertas características, que se presentan a continuación:

- **Fecha de siembra:** Este dato en conjunto con la duración de las etapas de crecimiento, le permite al software calcular la fecha de cosecha. (FAO, 2010b).
- **Coeficiente del cultivo (Kc):** Es la relación que existe entre la Evapotranspiración real (ETc) de un cultivo específico y la evapotranspiración potencial (Eto) en las mismas condiciones climatológicas, por lo tanto, es un número adimensional. Este coeficiente depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo. Debido a las variaciones en las características propias del cultivo

durante las diferentes etapas de crecimiento,  $K_c$  cambia desde la siembra hasta la cosecha. La figura 1, presenta en forma generalizada, la curva del coeficiente del cultivo, poco después de la plantación de cultivos anuales o poco después de la aparición de las hojas nuevas en el caso de los cultivos perennes, (FAO, 2006).

Figura 1.  
Curva generalizada del coeficiente del cultivo.



- Etapas de crecimiento:** Desde el desarrollo de la flor hasta la maduración del fruto transcurren en promedio de 220 a 240 días dependiendo de la región, pasando por diferentes estados así:
  - Etapa 1 (0-50 días): Primeras 7 semanas después de la floración. Es una etapa de crecimiento lento caracterizada porque el fruto tiene un tamaño similar a la cabeza de un fosforo.
  - Etapa 2 (50-120 días): Corresponde a la semana 8 a la 17 después de la floración, el fruto crece de manera acelerada y adquiere su tamaño final, la semilla presenta consistencia gelatinosa.
  - Etapa 3 (120 – 180 días): Semana 18 a la 25 después de la floración. La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.
  - Etapa 4 (180 – 224 días): Semana 26 a la 32 después de la floración. El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado e inicia su maduración. En esta etapa el fruto comienza a estar listo para su recolección y procesamiento.

- **Profundidad radicular:** Es la distancia a la cual las raíces de un cultivo específico penetran un suelo para aprovechar las reservas de agua presentes.

Profundidad radicular en la etapa inicial: Representa la profundidad efectiva del suelo a partir de la cual las plántulas son capaces de extraer agua.

Profundidad radicular máxima: Corresponde a la profundidad máxima que presentan las raíces de las especies cuando son cultivadas, es decir, cuando su desarrollo está manejado por el hombre, esto impide que las raíces crezcan hasta encontrar agua. El sistema radicular del cultivo de café está desprovisto de pelos radiculares por lo cual la raíz es extremadamente exigente en la buena aireación del suelo.

- **Fracción agotamiento crítico (p):** La fracción de agotamiento hídrico (p) corresponde a la fracción promedio del Agua Total Disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de que el cultivo presente estrés hídrico.

c) Estimación de la Huella Hídrica Gris (HHG):

$$WF_{gris} = \frac{a * AR}{\frac{C_{max} - cin}{y}}$$

Dónde:

$$WF_{gris} = \text{Huella hídrica (m}^3\text{ton}^{-1}\text{)}$$

$$a = \text{Fracción de lixiviación}$$

$$AR = \text{Aplicación estimada de contaminantes agroquímicos [Kg ha}^{-1}\text{]}$$

$$C_{max} = \text{Concentración máxima aceptable de contaminantes [Kg ha}^{-3}\text{]}$$

$$C_{in} = \text{Concentración natural del contaminante [Kg ha}^{-3}\text{]}$$

$$Y = \text{Rendimiento de cultivo (ton ha}^{-1}\text{)}$$

**Fracción de lixiviación fase Cultivo:** Es el porcentaje del agua, que se infiltra a través del suelo y llega al nivel freático.

3.5.4 Cálculo del análisis de sostenibilidad: Se realizará en tres aspectos ambiental, social y económica, siguiendo los siguientes criterios:

- a) Cálculo del análisis de sostenibilidad ambiental: Este corresponde a la relación porcentual entre la demanda potencial del agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedora.
- b) Cálculo del análisis de sostenibilidad social: Se determinará en función de si la producción de café garantiza una provisión suficiente de agua dulce para el uso de la población y para la producción de alimentos en las zonas de influencia directa del cultivo en función de los datos obtenidos de HH Azul.
- c) Cálculo del análisis de sostenibilidad económica: El cálculo se realizará en base a los costos directos e indirectos del proceso de cultivo del café.

### **3.6. Método de análisis de dato:**

Los programas Cropwat 8.0 y Climwat brindan datos para el análisis de la huella hídrica por lo cual se elaboró una hoja de cálculo en el programa Excel. Para el análisis de los datos obtenidos de cada una de las Huellas (Huella Hídrica verde, Huella Hídrica azul y Huella Hídrica gris), se aplicó un gráfico de líneas.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación cumplirá con garantizar los aspectos de veracidad, teniendo revisiones sistemáticas en el programa anti plagio (Turnitin), así mismo se dará cumplimiento con lo estipulado por la resolución

rectoral N°0089-2019 y la forma adecuada de citar las fuentes usadas, mediante el formato APA.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1 Delimitación el área de estudio cultivada con café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco:

La determinación de la Huella Hídrica a nivel agrícola requirió de la definición de un área de estudio para el cultivo de café con el fin de establecer el consumo de agua por la generación del grano de café. A continuación, se presentan las definiciones de área (figura 2).

Figura 2.

*Mapa del área de cultivo de café*



El valle del monzón, debido a su ubicación geográfica y relieve presenta diversos pisos térmicos: cálido, templado, frío, destacando que la mayor parte de la zona es de clima cálido. La base principal de su economía corresponde a las actividades de carácter agrícola y pecuario.

Aproximadamente el 30% del territorio cuenta con cultivos permanentes como: café, plátano, entre otros.

El valle de monzón cuenta con las condiciones de clima, suelo y relieve requeridas para el desarrollo óptimo del cultivo de café. La investigación se llevó a cabo en el fundo El Águila, ubicada aproximadamente a 50 metros de la ciudad de Tingo María; tiene una extensión de aproximadamente de 9 hectáreas, teniendo 4 hectáreas de cultivo de café con plantaciones de años de edad (tabla 2).

Tabla 2.  
*Datos del área de cultivo de del fundo*

Datos del Fundo El Águila	
Número de arboles	8250
Área de café	4 ha
Forma de cultivo	cuadrado
Tipo de cultivo	Tradicional

El fundo cuenta con 4 ha cultivada con café, distribuido en tres lotes de 1,5, 2 y 0,5 ha los cuales se encuentran en condiciones de sol, semisombra y sombra respectivamente. Para estimar la generación de café en el área de estudio, se realizaron de acuerdo con las fechas de cultivo de los diferentes años los cuales se dividían en tres recolecciones (tablas 3 y 4).

Tabla 3.  
*Datos de producción del cerezo de café del año 2020*

# de recolección	Meses	Cereza recolectada (Kg)
1	Marzo - abril	2989.0
2	Mayo - Junio	3402.5
3	Julio - Agosto	1925.0
<b>Total</b>		<b>8316.5</b>

Tabla 4.  
*Datos de producción del cerezo de café del año 2021*

# de recolección	Meses	Cereza recolectada (Kg)
1	Marzo - abril	1982.5
2	Mayo - Junio	3050.0
3	Julio - Agosto	1677.5
<b>Total</b>		<b>6710.0</b>

De acuerdo con los datos de las tablas 3 y 4, en el año 2020 se produjo alrededor de 8316.5 kg de cereza recolectada y en el año 2021 se produjo 6710.0 kg de café cereza en la temporada de cosecha.

En el fundo, el proceso productivo del café es tradicional y su beneficio se hace por medio de vía seca. A continuación, se describen cada una de las operaciones unitarias desarrolladas a través de sus etapas:

Tabla 5.  
*Etapas de producción del café*

<b>Etapas</b>	<b>Ilustración</b>
<p><b>Almacigo:</b></p> <p>Es la identificación de plantas madre, que por requerir polinización cruzada (alógama) necesita que en la misma plantación haya plantas genéticamente diferentes, para que la fecundación sea exitosa. De no ser así, se verá afectada la producción del grano.</p>	

<p style="text-align: center;"><b>Recolección:</b></p> <p>En esta etapa se cosechan únicamente los granos que alcanzan el estado de madurez completa, normalmente de color rojo o amarillo, ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café. Todo este proceso se desarrolla de forma manual.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Despulpado:</b></p> <p>En esta fase se les retira la pulpa a los granos de café.</p>	

Debido al proceso a las cuales el café cerezo se ve expuesto, se determinaron la cantidad de café seco pergamino que se produce, para ello definieron los porcentajes de reducción mediante la recolección de datos en campo; donde se analizaron 12 kg de café cerezo tomadas del café previamente recolectado, las cuales fueron sometidas a proceso productivo normal establecido por el fundo para así determinar las cantidades de pulpa y granos de café obtenidos. Este análisis conto con dos réplicas con el fin de verificar los datos (tabla 6).

Tabla 6.  
*Rendimiento del café*

café cerezo (kg)	Pulpa (Kg)	Granos de café (Kg)	Café seco (Kg)	Rendimiento (%)	Reducción (%)
12	4.7	7.3	2.3	19	81
12	4.5	7.5	2.4	20	80
12	4.6	7.4	2.5	21	79
	<b>Total</b>	<b>7.40</b>	<b>2.40</b>	<b>20</b>	<b>80</b>

Con la información anterior se identificó que del procesamiento de 12 kg de café cerezo, que fueron sometidas al proceso de producción normal del fundo, presentaron una reducción del 80 % lo que indica que se obtienen 2.40 (20%) de café seco disponibles para comercialización.

Debido a que la determinación de la Huella Hídrica requiere la definición de la variable rendimiento del cultivo, considerada como la cantidad de café seco producido en relación con la superficie en la que fue cosechado; los análisis anteriores permiten estimar esta variable (tabla 7 y 8).

Tabla 7.  
*Rendimiento cultivo de café año 2020*

# de recolección	Cereza recolectada (Kg)	Café despulpado (kg)	Café seco (kg)	Café seco (Ton/ha)
1	2989.0	1616.7	589.6	0.147
2	3402.5	1995.6	679.4	0.170
3	1925.0	985.5	375.5	0.094
<b>Total</b>	<b>8316.5</b>	<b>4597.8</b>	<b>1644</b>	<b>0.411</b>

El rendimiento del cultivo de café para el 2020 en cereza fue de 8316.5 kg dando 1644 kg de café seco.

Tabla 8  
*Rendimiento Cultivo de café año 2021*

# de recolección	Cereza recolectada (Kg)	Café despulpado (kg)	Café seco (kg)	Café seco (Ton/ha)
1	1982.5	1189.5	393.0	0.098
2	3050.0	1830.0	588.0	0.147
3	1677.5	1006.5	361.0	0.090
<b>Total</b>	<b>6710.0</b>	<b>4026.0</b>	<b>1342.0</b>	<b>0.336</b>

En el año 2021 el rendimiento de cereza de café 6710.0 kg dando 1342.0 kg de café seco.

4.2 Determinación las condiciones climáticas del cultivo de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021:

Para el estudio se tomaron los datos de temperatura máxima y mínima, humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día), insolación (h), precipitación (mm); datos suministrados por el programa Climwat, ver el Anexo 2.

4.3 Cálculo la huella hídrica azul, verde y gris en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021:

4.3.2 Huella Hídrica Azul (HHA):

Para estimar los requerimientos de riego del cultivo se utilizó el programa CROPWAT 8.0, el cual calcula el mediante la estimación de la evapotranspiración potencial (Ver anexo 2).

Tabla 9.  
*Coeficiente del cultivo de café*

Cultivo	Coeficiente del cultivo		
	Kc inicial	Kc medio	Kc final
Café	0,90	0,95	0,95

Tabla 10.  
*Etapas de crecimiento del café*

Etapas	Días
1	0-50
2	50-120
3	120 – 180
4	180 – 224

Tabla 11.  
*Profundidad radicular del café*

Etapas	Profundidad	
Etapas inicial	0,25 m	0,6 m
Radicular máxima	90 cm	120 cm

De acuerdo con la información obtenida del programa CROPWAT 8.0, se determinó que según la precipitación disponible y las condiciones de los cultivos se necesitan aproximadamente 0.007 m de agua proveniente de riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Luego de la definición de las variables que intervienen en el cálculo de la Huella Hídrica Azul, se presentan los resultados obtenidos:

$$HHA = \frac{CWU_{riego}}{y}$$

Dónde:

$CWU_{riego}$  = Requerimientos de riego de los cultivos (m)

$Y$  = Rendimiento de cultivo ( $\frac{Ton}{m^2}$ )

Huella Hídrica Azul (HHA) 2020:

$$HHA = \frac{0.007}{0.000041112}$$

**HHA= 70.62 m3 /Ton**

Huella Hídrica Azul (HHA) 2021:

$$HHA = \frac{0.007}{0.00003355}$$

**HHA= 208.65 m3 /Ton**

Tabla 12.

*Huella Hídrica Azul del café*

Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento por Cultivo (Ton/m2) 2020	HHA (m3/Ton) 2020	Rendimiento por Cultivo (Ton/m2) 2021	HHA (m3/Ton) 2021
0.007	0.000041112	<b>70.62</b>	0.00003355	<b>208.65</b>

#### 4.3.2 Huella Hídrica Verde (HHV):

Se define como la porción de la precipitación total que queda disponible para el aprovechamiento de la planta (FAO, 2010).

El valor obtenido de la precipitación efectiva por el programa CROPWAR 8.0 es de 1685.6 mm o 1.686 m (Ver anexo 2), este valor es independiente de la producción y del rendimiento.

$$HHV : \frac{P_{ef}}{y}$$

Dónde:

$P_{ef}$  = Precipitación efectiva en metros (m)

$Y$  = Rendimiento de cultivo ( $\frac{Ton}{m^2}$ )

Huella Hídrica Verde (HHV) 2020:

$$HHV : \frac{0.140}{0.000041112}$$

**HHV: 3416.7 m3 /Ton**

Huella Hídrica Verde (HHV) 2020:

$$HHV : \frac{0.140}{0.000033551}$$

**HHV: 4186.7 m3 /Ton**

Tabla 13.

*Huella Hídrica Verde del cultivo de café*

Precipitación efectiva (m)	Rendimiento por Cultivo (Ton/m2) 2020	HHV (m3/Ton) 2020	Rendimiento por Cultivo (Ton/m2) 2021	HHV (m3/Ton) 2021
0.140	0.000041112	<b>3416.7</b>	0.000033551	<b>4186.7</b>

Se obtuvo una precipitación efectiva de 0.140 m y se calculó una huella hídrica verde para el año 2020 de 3,417 m<sup>3</sup>/Ton y para el 2021 fue de 4, 187 m<sup>3</sup>/Ton respecto al rendimiento del cultivo por año.

#### 4.3.3 Huella Hídrica Gris (HHG):

$$WF_{gris} = \frac{a * AR}{C_{max} - c_{in}} * y$$

Dónde:

$$WF_{gris} = \text{Huella hidrica (m}^3\text{ton}^{-1}\text{)}$$

$$a = \text{Fraccion de lixiviacion}$$

$$AR = \text{Aplicacion estimada de contaminantes agroquimicos [Kg ha}^{-1}\text{]}$$

$$C_{max} = \text{Concentracion maxima aceptable de contaminantes [Kg ha}^{-3}\text{]}$$

$$C_{in} = \text{Concentracion natural del contaminante [Kg ha}^{-3}\text{]}$$

$$Y = \text{Rendimiento de cultivo (ton ha}^{-1}\text{)}$$

- **Fracción de lixiviación fase Cultivo:** Se determinó con una fracción de suelo donde se hizo pasar un litro de agua a través de este y se contabilizo la fracción de agua que se quedaba en un tiempo de 20 minutos; resultado un 80% de agua que se quedaba y un 20% se infiltraba, teniendo entonces una fracción de 0.2.

- **Estimación de agroquímicos**

Según los datos recolectados en el fundo El Águila, se determinó que se aplican 155 gr de fertilizante por planta distribuidas en dos épocas del año. El fertilizante está compuesto por nitrógeno, potasio, fosforo y manganeso en diferentes proporciones, en la tabla 13 se calcula la cantidad de agroquímicos usados en un año.

Tabla 14.

*Cantidad de agroquímicos para las plantas de café en el año 2020*

Elemento	Concentración en el fertilizando (%)	Total de fertilizante aplicado (g)	Cantidad agroquímicos (g)	Cantidad de agroquímicos (kg/ha)
Nitrógeno	25	155	599100	149.78
Potasio	15	155	454300	113.58
Fosforo	4	155	70900	17.73
Manganeso	3	155	40100	10.03
<b>Total</b>			<b>1164400</b>	<b>291.10</b>

La cantidad de agroquímicos usados para el cultivo de café en el año 2020 fue de 291.10 kg/ha; sin el uso de pesticidas.

Tabla 15.

*Cantidad de agroquímicos para las plantas de café en el año 2021*

Elemento	Concentración en el fertilizando (%)	Total de fertilizante aplicado (g)	Cantidad agroquímico (g)	Cantidad de agroquímico (kg/ha)
Nitrógeno	25	155	599900	149.98
Potasio	15	155	478300	119.58
Fosforo	4	155	71900	17.98
Manganeso	3	155	42450	10.61
<b>Total</b>			<b>1192550</b>	<b>298.14</b>

La cantidad de agroquímicos usados para el cultivo de café en el año 2021 fue de 298.14 kg/ha; sin el uso de pesticidas.

- **Concentración aceptable de agroquímicos:** De acuerdo con los estándares de calidad de agua peruana (ECA) para la categoría 3 – D1 riego de vegetales, riego no restringido se tiene los siguientes parámetros:

Tabla 16.

*Concentraciones aceptables de químicos en el agua*

Parámetros	Unidad de medida	Agua para riego no restringido (c)
Nitritos+	mg/L	100
Potasio	mg/L	No especificado
Fosforo	mg/L	No especificado
Manganeso	mg/L	0.2

Fuente: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

En los estándares nacionales peruanas de calidad ambiental para el agua no se encuentra contemplado los parámetros como potasio y fosforo, lo cuales no serán tomados para el análisis de la Huella Hídrica Gris.

Tabla 17.

*Huella Hídrica Gris del fundo El águila por aplicación de agroquímicos 2020*

	Nitrógeno	Manganeso
Fracción de Lixiviación	0.2	0.2
Aplicación Estimada de agroquímicos (Kg ha <sup>-1</sup> )	149.8	10.0
Concentración máxima aceptable de contaminantes (Kg m <sup>-3</sup> )	100.0	0.2
Concentración natural del contaminante (Kg m <sup>-3</sup> )	5.3	0.0
Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )	0.4	0.4
Huella Hídrica Gris (m <sup>3</sup> /Ton)	0.8	24.4
Cantidad de Agua (m <sup>3</sup> )	769.6	24391.7
Huella Hídrica Gris Total (m <sup>3</sup> /Ton)	<b>24.4</b>	

Tabla 18.  
*Huella Hídrica Gris del fundo El águila por aplicación de agroquímicos 2021*

	Nitrógeno	Manganeso
Fracción de Lixiviación	0.2	0.2
Aplicación Estimada de agroquímicos (Kg ha <sup>-1</sup> )	149.8	10.0
Concentración máxima aceptable de contaminantes (Kg m <sup>-3</sup> )	100.0	0.2
Concentración natural del contaminante (Kg m <sup>-3</sup> )	5.3	0.0
Rendimiento (ton ha-1)	0.3	0.3
Huella Hídrica Gris (m <sup>3</sup> /Ton)	0.3	29.9
Cantidad de Agua (m <sup>3</sup> )	316.3	29880.1
Huella Hídrica Gris Total (m <sup>3</sup> /Ton)	<b>29.9</b>	

Se determinó que El fundo el Aquila requiere de 29880 m3 de agua para la dilución de agroquímicos presentes por la aplicación de fertilizantes, es de resaltar que el valor mencionado corresponde a la cantidad de agua requerida por el manganeso ya que al ser el mayor valor controla los consumos de agua y se puede decir que al realizar la dilución de este estaría implícita la dilución del nitrógeno.

El beneficio del café es un método usual de transformación del café cerezo a café pergamino seco. Existen dos vías por las cuales se puede realizar este proceso que es por vía seca o vía húmeda, en el fundo El águila se ejecuta el despulpado del café en seco, por lo que no se realiza el lavado, se debe de tener en cuenta también que el acceso que al agua es difícil y se tiene solo para las necesidades básicas del fundo; el proceso que se realiza es despulpado en seco y el transporte para venta.

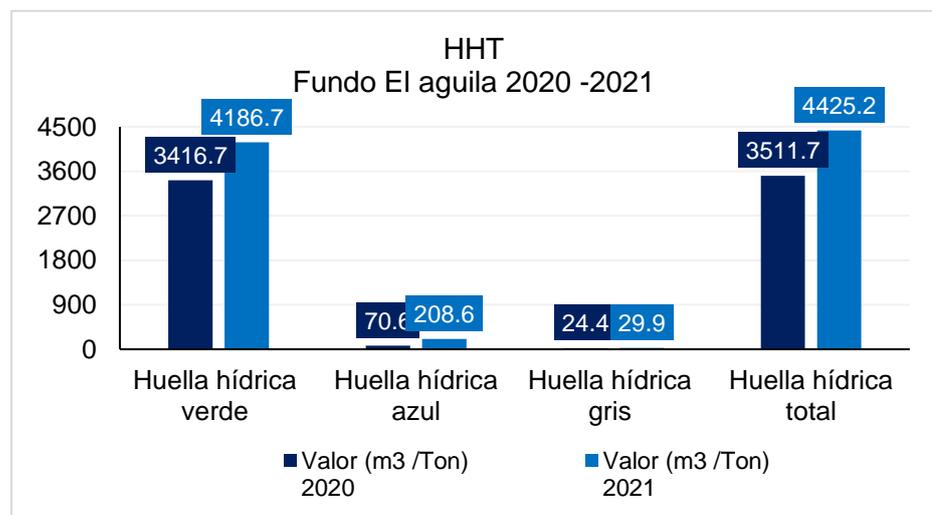
#### 4.3.4 Huella Hídrica Total (HHT)

Luego de haber calculado cada componente de la Huella Hídrica se cuantifica la Huella Hídrica total, donde se realizará la sumatoria de los componentes calculados.

Tabla 19.  
*Huella Hídrica Total 2020 y 2021*

Descripción	Valor (m3 /Ton)	Valor (m3 /Ton)
	2020	2021
Huella hídrica verde	3416.7	4186.7
Huella hídrica azul	70.6	208.6
Huella hídrica gris	24.4	29.9
Huella hídrica total	<b>3511.7</b>	<b>4425.2</b>

Figura 3.  
*Huella hídrica total*



#### 4.4 Análisis la sostenibilidad en los cultivos de café en un fundo del valle de Monzón en Huánuco en los años 2020 y 2021:

4.4.1 Sostenibilidad ambiental: Teniendo en cuenta el proceso del cultivo del café en el fundo El águila, es un método tradicional en el cual no se usa el riego en las plantas. Se obtuvo la huella hídrica verde en los años 2020 y 2021 de acuerdo con la tabla 17, así mismo el proceso no cuenta con el despulpado húmedo por lo cual no genera agua residual.

4.4.2 Sostenibilidad social: El fundo El águila no cuenta con un abastecimiento de agua, las personas que viven en la zona de influencia de la investigación consumen agua de un manantial.

4.4.3 Sostenibilidad económica: En el aspecto económico con respecto a la huella hídrica azul en el año 2020 y 2021 se tuvo 70.6 m<sup>3</sup>/ton y 208.6 m<sup>3</sup>/ton respectivamente donde no se evidencia una influencia directa de riego.

Tabla 20.  
*Huella Hídrica Total 2020 y 2021*

Actividad	Valor total promedio
Mano de obra	9000
Insumos	1600
Equipos	700
Transporte	200
Otros	450
<b>Costo Total de producción/ha</b>	<b>11950</b>

Costo total de producción:  $11950 \times 4 = 47800$  COP/ha

## V. DISCUSIÓN

Se obtuvo que el componente con mayor consumo de agua es la huella hídrica verde con 3416 m<sup>3</sup>/t en el año 2020 y 4186m<sup>3</sup>/t en 2021, ello concuerda con Leal-Echeverri y Tobón (2021) que mencionan que el mayor aportante para la huella hídrica del café es la huella verde y que muchas veces no requiere de riego, tal cuál sucede en el fundo el águila, donde no se practica el riego en las plantaciones de café por lo que se mantiene la sostenibilidad ambiental. Los cultivos en general se benefician de las precipitaciones, y el café es uno de los frutos que se cultivan en zonas tropicales donde se presentan altas precipitaciones como en la provincia de Leoncio Prado en el valle de Monzón en el que se calculó una precipitación anual de 3.203 mm, la cual es aprovechada por el café, esta cantidad es suficiente porque según Herrón (2013), una planta de café requiere para su crecimiento normal una precipitación anual entre 1.500 a 3.000 mm, dependiendo de su ubicación geográfica (latitud y altitud) y el tipo de suelo (textura y estructura).

Se calculó la huella hídrica azul a partir del rendimiento estimado de 0.000041 Ton/m<sup>2</sup> y 0.000034 Ton/m<sup>2</sup> respectivamente para los años 2020 y 2021 obteniéndose una huella hídrica azul de 70.62 m<sup>3</sup>/Ton para el 2020 y 208.65 m<sup>3</sup>/Ton para el 2021, como se aprecia el rendimiento del cultivo está proporcionalmente relacionado con la huella azul (Tabla 12), teniendo las mismas condiciones para los dos años en el 2021 se tuvo un rendimiento de cultivo menor que el 2020 pero la huella azul fue mayor.

Se obtuvo una huella hídrica gris baja de 24.4 m<sup>3</sup>/ton para el 2020 y 29.9 m<sup>3</sup>/ton para el 2021 que proviene esencialmente de la cantidad usada de fertilizantes en los cultivos de café, las plantaciones no tienen más de tres años por ello no se usa gran cantidad de fertilizantes asimismo por la edad de las plantaciones aún no se usan plaguicidas, teniendo en cuenta que la fase que involucra el uso de fertilizantes depende directamente de los requerimientos legales (ECAs) y la concentración de fertilizantes, para el cultivo del fundo El águila el mayor aportante para la huella gris es atribuida

al Manganeso ya que es el elemento que tiene la concentración más exigente en agua (0.2 mg/L) de acuerdo a la legislación peruana. La huella hídrica gris calculada no tiene presencia del agua del proceso de despulpado ya que en El fundo el águila el proceso de despulpado es en seco y no se realiza el proceso de lavado del café de acuerdo con Leal-Echeverri y Tobón (2021), el método de procesamiento ecológico Becolsub® reduce la huella hídrica en un 45.7% y un 99,9% con el proceso ecológico Ecomill® (despulpado en seco) en comparación con la tecnología de procesamiento húmedo tradicional.

Para el cálculo total de la huella hídrica del cultivo de café del fundo el águila se realizó la sumatoria de cada componente y se obtuvo 3,968 m<sup>3</sup>/ton según Pérez (2016) el café tiene 18,273 m<sup>3</sup>/ton de huella hídrica total; en esta investigación se evidenció que la huella hídrica del cultivo de café en el fundo el águila es baja en comparación por lo calculado por Pérez (2016), tomando en consideración que el cálculo de los componentes de la huella hídrica dependerá del tiempo de cultivo (edad), proceso de cultivo, legislación legal y la cantidad de fertilizantes usados.

## **VI. CONCLUSIONES**

Las condiciones climáticas determinadas para el estudio de la huella hídrica del café fueron las siguientes, temperatura promedio máx. 30.8 °C temperatura promedio mín. 18.6 °C, precipitación promedio 3203.0 mm, insolación promedio 4.9 hrs, velocidad del viento promedio 55 km/día y humedad promedio 18%

El fundo El águila tuvo una huella hídrica para el cultivo de café 3511.696 m<sup>3</sup>/ton para una producción total 0.411 tn/ha de café pergamino seco para el año 2020 y una huella hídrica total de 4425.2 m<sup>3</sup>/ton para el año 2021 con una producción total de 0.336 Ton/ha de café pergamino seco.

Se obtuvo un comportamiento similar de huella hídrica en el cultivo de café para los años 2020 y 2021, teniendo al mayor aportante la huella Verde

3416.7 m<sup>3</sup>/ton para el 2020 y 4186.7 m<sup>3</sup>/ton en el 2021 siendo este consumo proveniente de las precipitaciones.

En el fundo el águila se genera en baja cantidad la huella gris y no se tiene una huella hídrica azul del riego lo que indica que esta actividad económica no representa peligro para los ecosistemas acuáticos.

## **VII. RECOMENDACIÓN**

Se recomienda analizar la huella hídrica gris en el proceso de despulpado húmedo y en un área que tenga captación de agua.

Se recomienda analizar la huella hídrica con datos de Senamhi para tener mayor presión en la investigación.

Se recomienda realizar el estudio en los procesos de despulpado húmedo y seco, hacer la comparación y analizar el consumo de agua en los dos procesos.

## REFERENCIAS

- Adams, M. Ghaly, A. (2007). Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry. *Journal of cleaner production*. Volume 15, Issue 17, Pages 1716-1729.
- Anabel C., Cristina D., Wil L., Félix C., Grinia A., Carlos L., Donna V., Marcia V., Julio U, Irene T., Lourdes M. y Dora M., (2021). *Climas del Perú – Mapa de Clasificación Climática Nacional - SENAHAMI*, 60.
- Arévalo, D., Campuzano, C. (2013). *Resumen de resultados. evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Porce*. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Medellín. 98 p.
- Arévalo, D., Sabogal J. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Reporte Colombia 2012. WWF, Bogotá. pp. 109 – 121.
- Banco Mundial, (2015). *Mainstreaming climate action within financial institutions: five voluntary principles*.
- Camacho, W., Arevalo, D. (2018). *Estimation of the blue and green water footprint of coffee production in eight basins in the south of the department of Huila*.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2003). *The water needed to have the Dutch drink coffee*, Value of Water Research Report Series No. 14, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2004). *Water Footprints of Nations*. Value of Water Research Report Series, vol. 16. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. Available at [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org).
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2007). *The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands*. *Ecological Economics*, 64 (1): 109-118.

- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2010). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70 (2011): 749– 758.
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H., Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60 (1): 186-203.
- Coltro, L., Mourad, A., Oliveira, P., Baddini, J., Kletecke, R. (2006). Environmental profile of Brazilian green coffee. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Dirección General de Políticas Agrarias (DGPA). (2020). Observatorio de Commodities – Cafe. Disponible en: enlace [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/796/1/Commodities%20Caf%c3%a9\\_%20julio-set%202020.pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/796/1/Commodities%20Caf%c3%a9_%20julio-set%202020.pdf)
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 358 (1440), 2037–2049.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). FERTISTAT — Fertilizer Use by Crop Statistics Database. Food and Agriculture Organization, Rome. <http://www.fao.org/ag/agl/fertistat>.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2007). AQUASTAT Database. Food and Agriculture Organization, Rome. [www.fao.org/nr/water/aquastat](http://www.fao.org/nr/water/aquastat).
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2007). FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization, Rome. <http://faostat.fao.org>.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2010). CROPWAT 8.0 model.

- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2013). *GeoNetwork*. [www.fao.org/geonetwork](http://www.fao.org/geonetwork)
- González, M. (2015). Coffee farmer in the cooperative of Nuevo Amanecer, Miraflores (UCA Miraflores).
- Gutiérrez, E. (2015). Agronomist at UCA Miraflores. Continuous contact under the period of the field study.
- Hernández, E., Calderón, H., Quezada, V., Meza, Y., Suárez, T., (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 127-146
- Hoekstra, A. (2017). Water footprint assessment: evolution of a new research field. *Water Resour. Manage.* 31 (10), 3061–3081.
- Hoekstra, A., Chapagain, A.; Aldaya, M. Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London, UK: Earthscan.
- Humbert, S., Loerincik, Y., Rossi, V., Margni, M., Jollie, O. (2009). Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). *Journal of Cleaner Production*, 17: 1351 – 1358.
- IDEAM, (2015). *Estudio Nacional del Agua – ENA 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, (2012). *Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO)*.
- Koehler, A. (2008). Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13: 451–455`.
- Leal-Echeverri, J., Tobón C. (2021). The water footprint of coffee production in Colombia.

- Martinez-Torres, M. (2006). Organic coffee. Sustainable development by Mayan farmers. Center for International Studies, Ohio University, Athens (Ohio, US).
- Martins, L., Eugenio, F., Rodrigues, W., Tomaz, M., Dos Santos, A., Ramalho, J. (2018). Carbon and water footprints in Brazilian coffee plantations - the spatial and temporal distribution. *Emirates Journal of Food and Agriculture* Vol. 30 No. 6.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A. (2010). The green, blue and gray water footprint of crops and derived crops products. *Value of Water Research Report Series N°47*. UNESCO-IHE, Delft.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1577–1600.
- Ministerio de desarrollo agrario y riego (MINAGRI), (2018). Potencia producción de café en Huánuco, en beneficio de más de 200 productores. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/noticias-antecedentes/notas/2018/21086-minagri-potencia-produccion-de-cafe-en-huanuco-en-beneficio-de-mas-de-200-productores>
- Moberg, E. (2016). The water footprint of coffee production in Miraflores, Nicaragua.
- Muñoz, J. (2015). Coffee farmer in the community of El Tayacán, Miraflores, local biologist/guide in Miraflores and ex-president of the UCA Miraflores.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2013). La agricultura es, al mismo tiempo, la principal causa y víctima de la escasez de agua.
- Pérez, E. (2016). Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador.

ANEXO

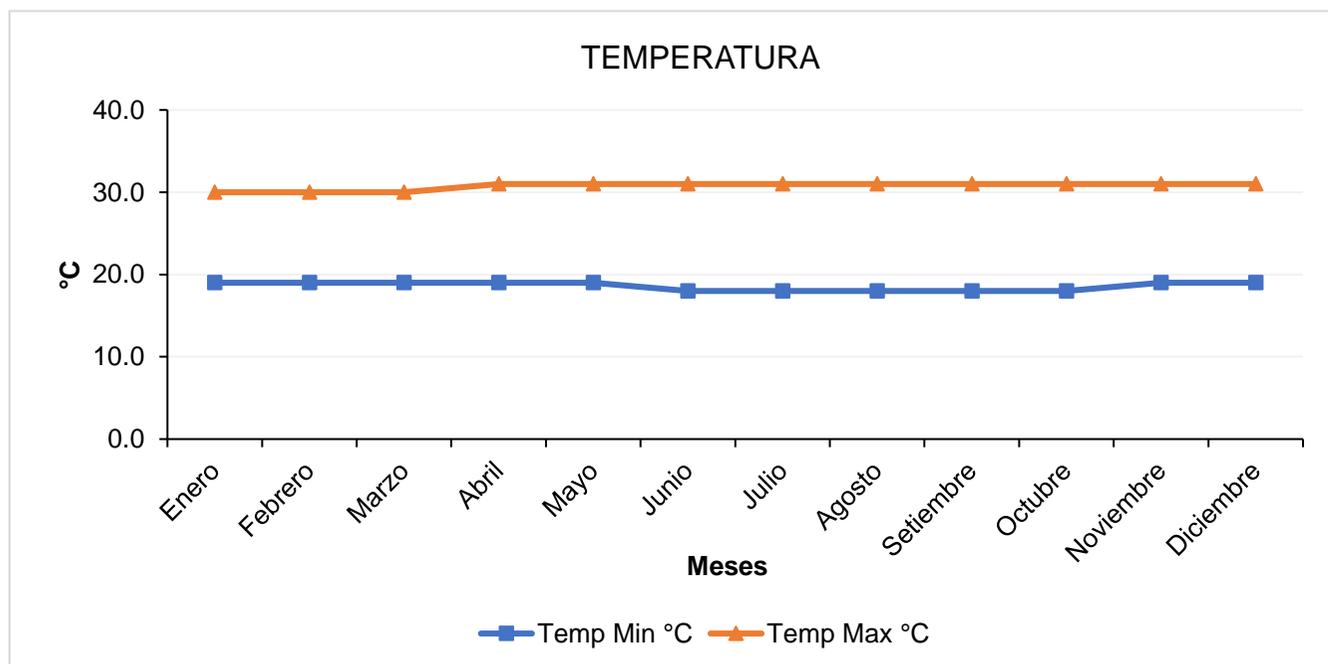
ANEXO 1 TABLA OPERACIONAL

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala	Valor	Instrumento
<b>Huella Hídrica</b>	Es el consumo total de agua que incluye consumo agua directa e indirecta (agua consumida para producir productos de entrada en el proceso de producción) para producir los bienes y servicios para un cierto grupo de personas	contabiliza la huella hídrica y análisis de sostenibilidad	Delimitación del área de estudio	Hectáreas de siembra con café	De razón	M3	Manual de huella hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011)
			Condiciones climáticas	Insolación, temperatura del aire, humedad atmosférica, velocidad del viento, precipitación	De razón	Radiación (h) Temperatura del aire (°C) Humedad atmosférica (%) Velocidad del viento (Km/día) Precipitación (mm)	Senamhi Softwar Cropwat 8 Climwat
			Análisis de sostenibilidad ambiental, social y económica	<b>Huella hídrica azul:</b> El agua consumida que es suministrada mediante riego. <b>Huella hídrica verde:</b> Se refiere a la precipitación <b>Huella hídrica gris:</b> El volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga de contaminantes.	De razón	Adimensional	Manual de huella hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011)
				<b>Sostenibilidad ambiental:</b> Oferta y demanda del recurso hídrico. <b>Sostenibilidad social:</b> Huella hídrica Vs Escases hídrica <b>Sostenibilidad económica:</b> Costos directos e indirectos del proceso de producción	De razón	<b>sostenibilidad ambiental:</b> % <b>Sostenibilidad social:</b> % <b>Sostenibilidad económica:</b> costo de producción (COP)/kg	

## ANEXO 2 DATOS METEOROLÓGICOS

Temperatura:

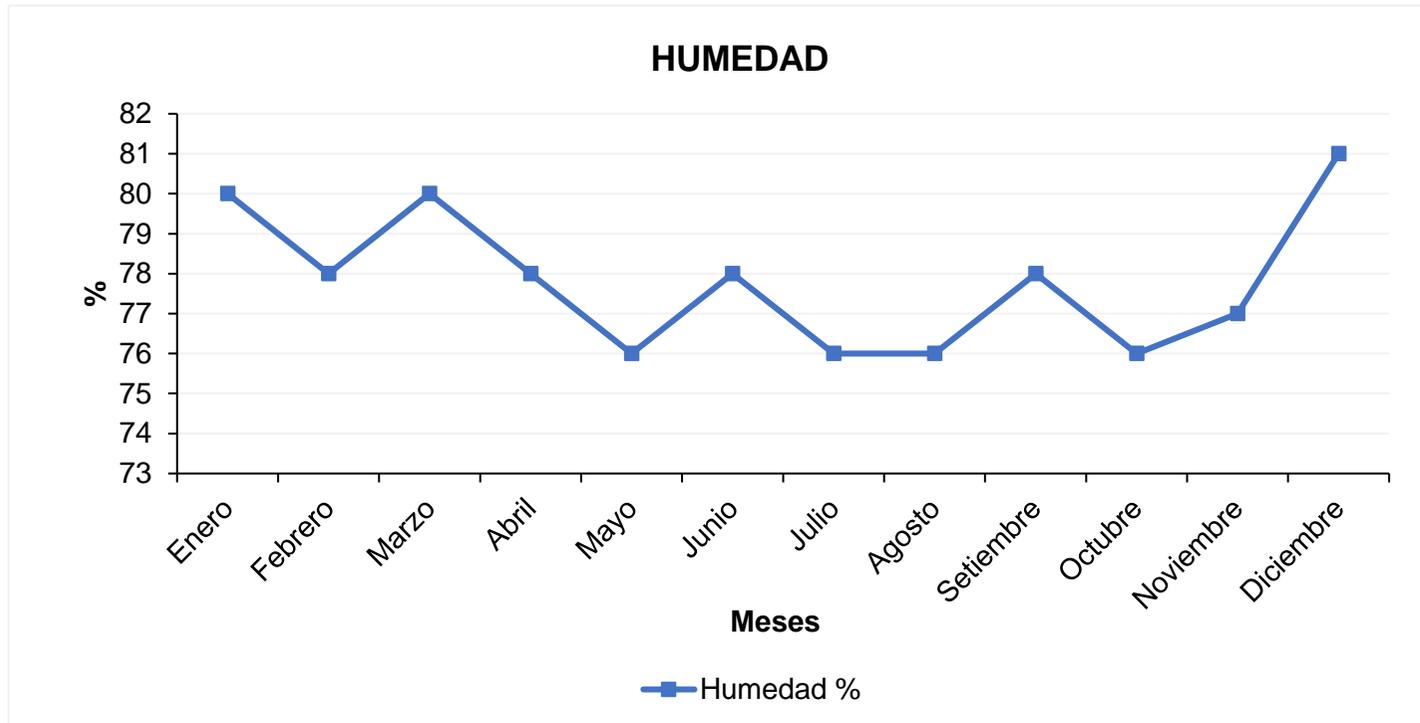
DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Temp Min	°C	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	19.0	19.0	<b>18.6</b>
Temp Max	°C	30.0	30.0	30.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	<b>30.8</b>



Fuente: Programa Climwat 2.

Humedad:

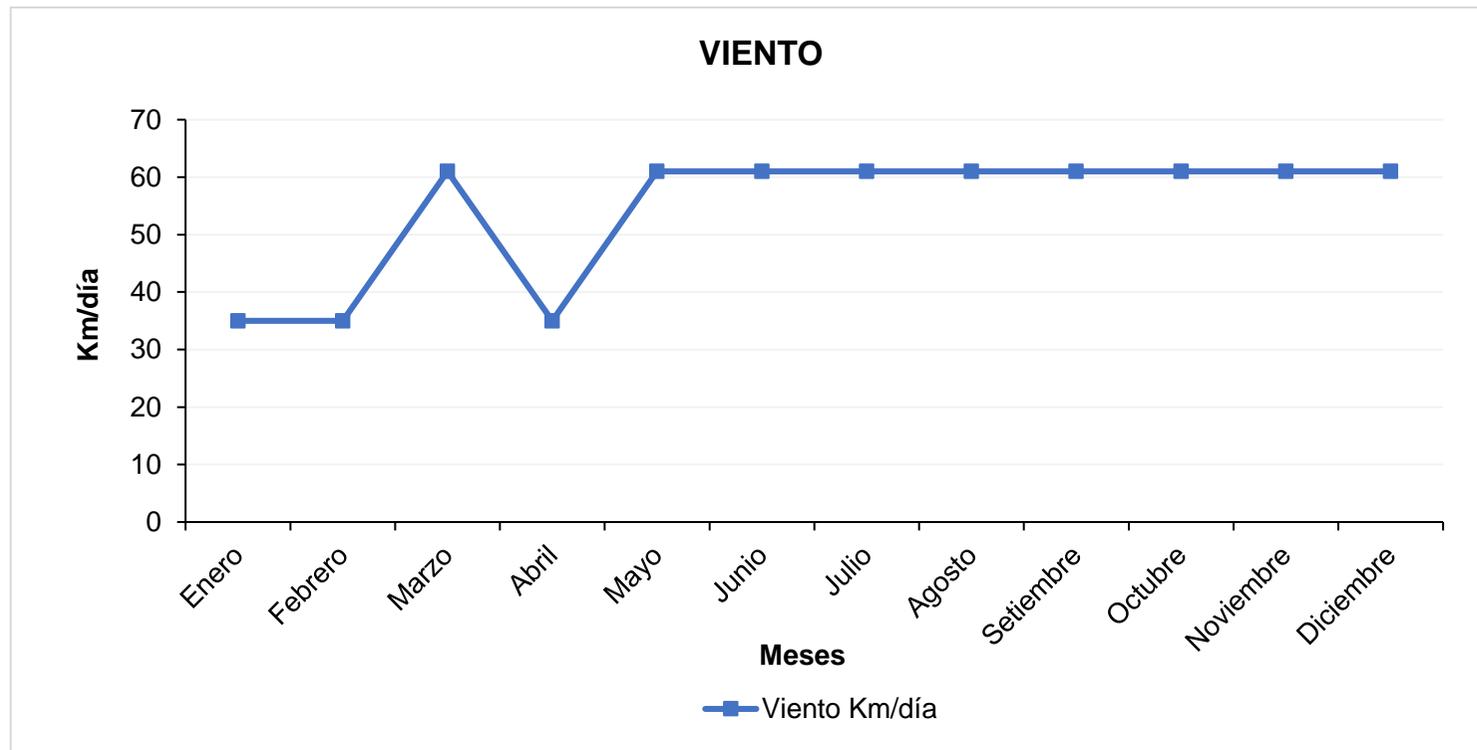
DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Humedad	%	80	78	80	78	76	78	76	76	78	76	77	81	<b>78</b>



Fuente: Programa Climwat 2.0

**Viento:**

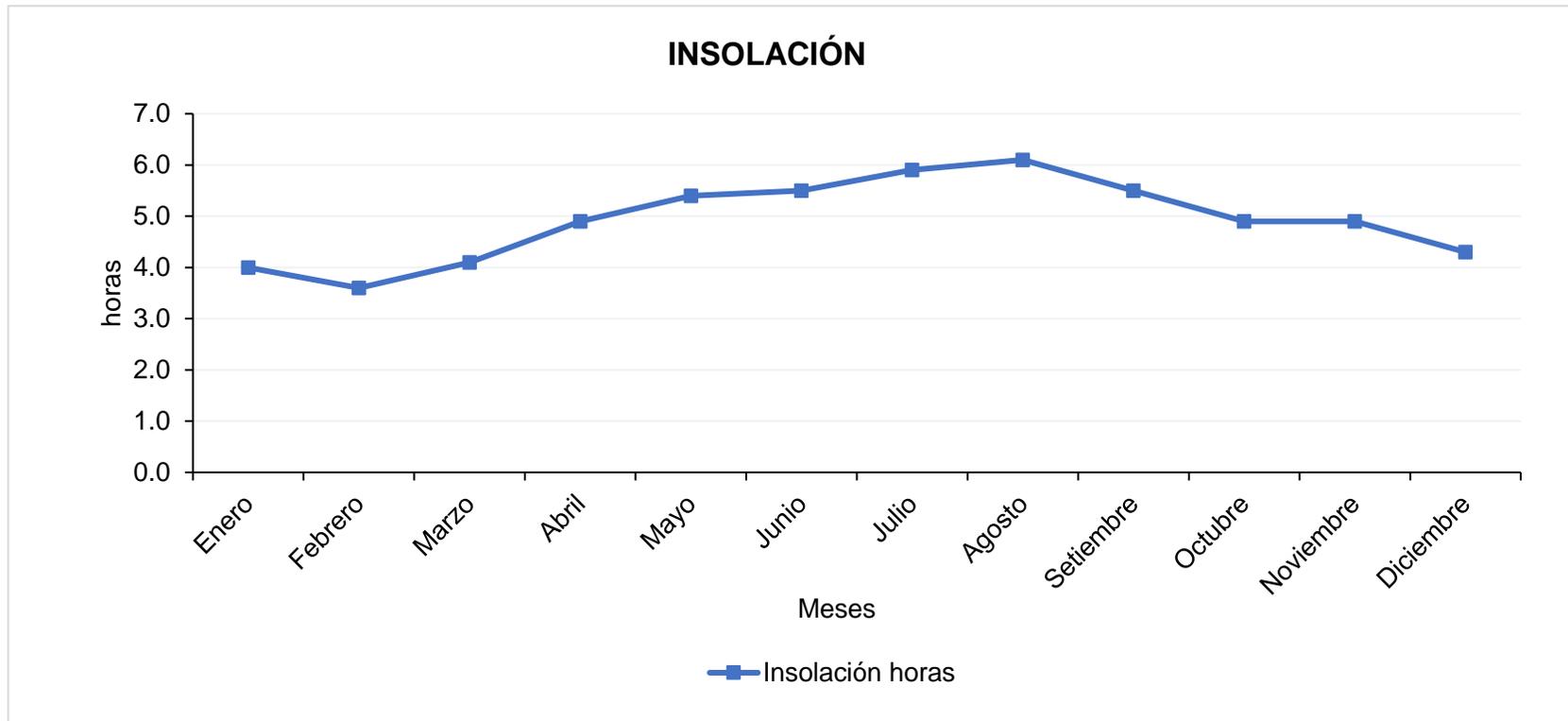
DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Viento	Km/día	35	35	61	35	61	61	61	61	61	61	61	61	<b>55</b>



Fuente: Programa Climwat 2.0

**Insolación:**

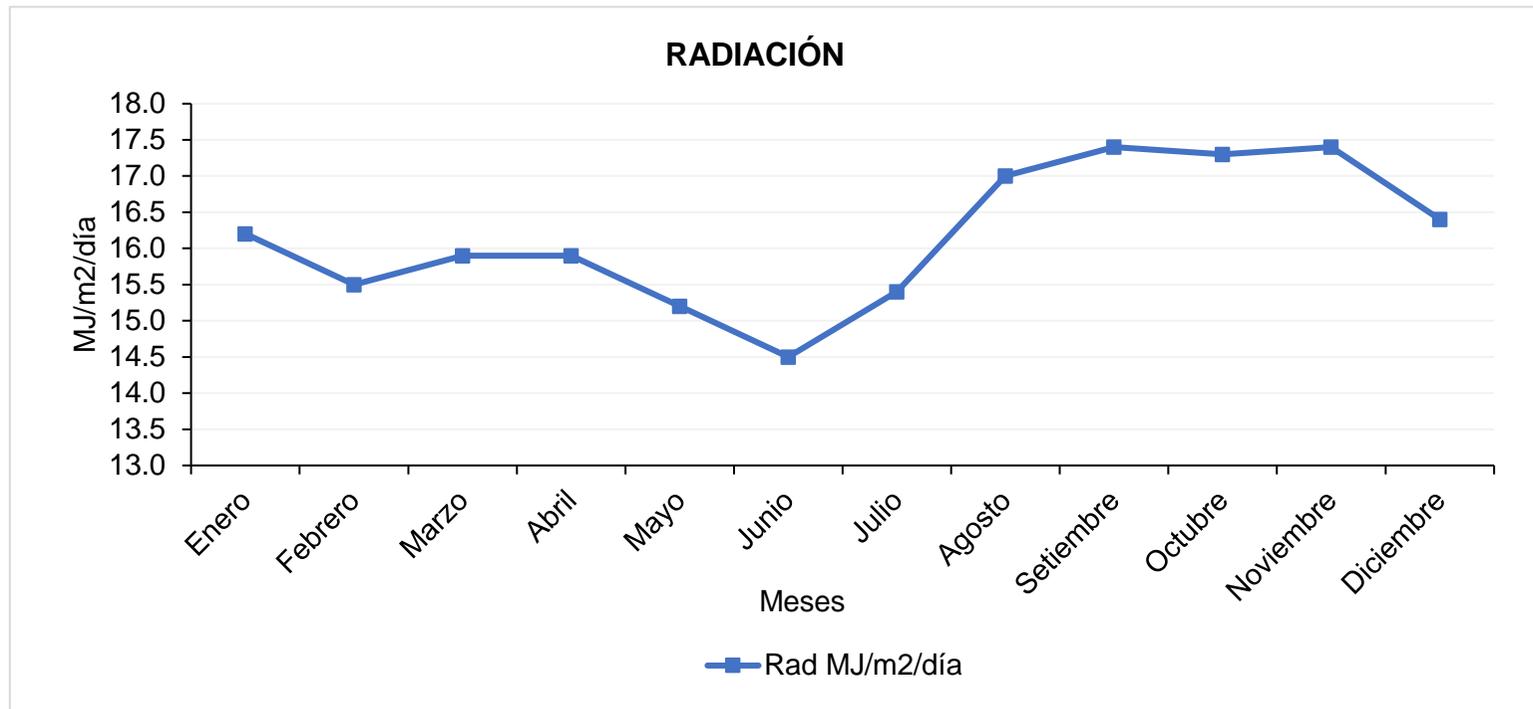
DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Insolación	horas	4.0	3.6	4.1	4.9	5.4	5.5	5.9	6.1	5.5	4.9	4.9	4.3	<b>4.9</b>



Fuente: Programa Climwat 2.0

Radiación:

DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Rad	MJ/m2/día	16.2	15.5	15.9	15.9	15.2	14.5	15.4	17.0	17.4	17.3	17.4	16.4	<b>16.2</b>



Fuente: Programa Climwat 2.0

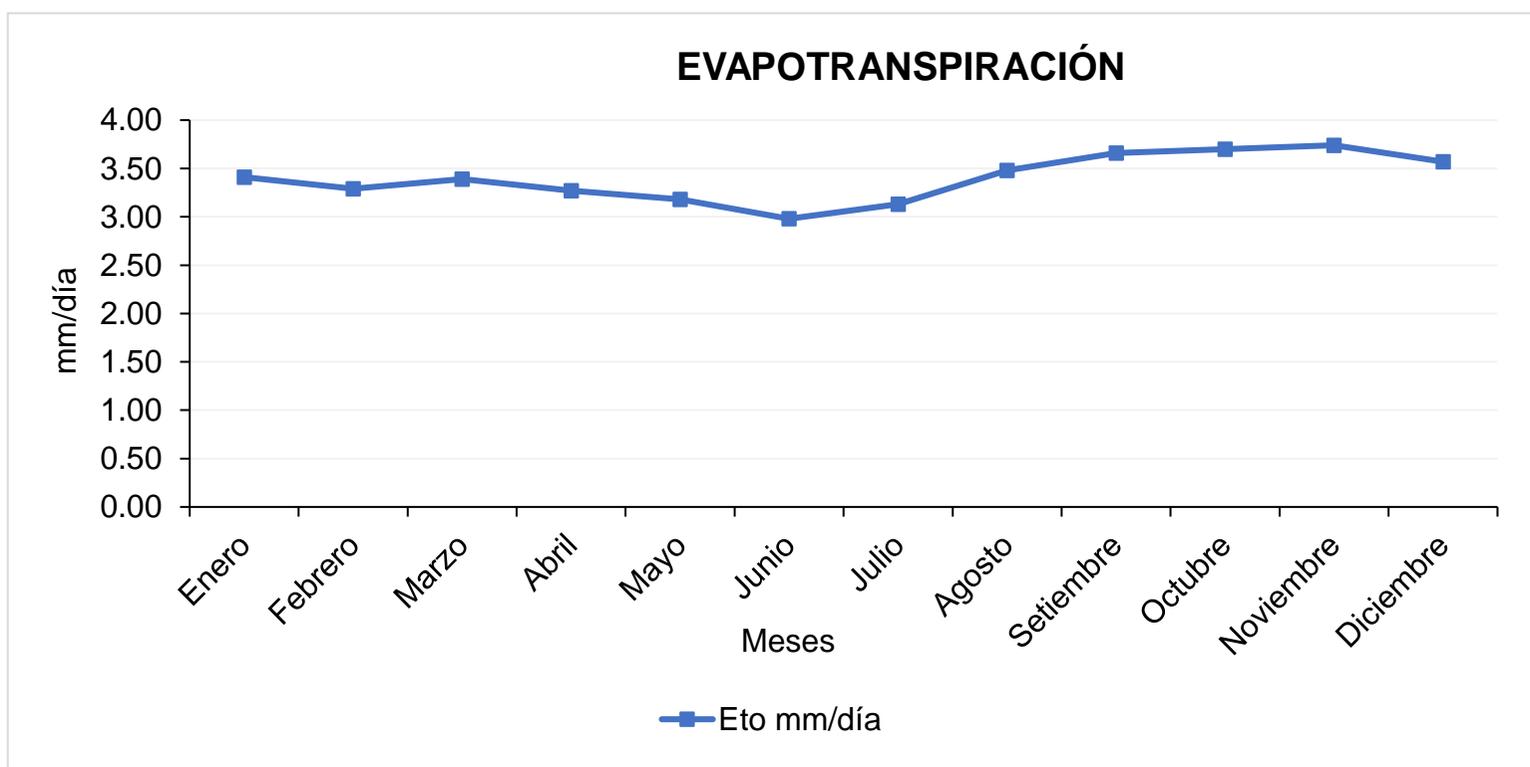
### ANEXO 3 PRECIPITACION EFECTIVA

Mes	Precipitación	Prec. Efec	Prec. Efec
	mm	mm	m
Enero	437.0	168.7	0.169
Febrero	415.0	166.5	0.167
Marzo	313.0	156.3	0.156
Abril	288.0	153.8	0.154
Mayo	212.0	140.1	0.140
Junio	133.0	104.7	0.105
Julio	131.0	103.5	0.104
Agosto	120.0	97.0	0.097
Setiembre	164.0	121.0	0.121
Octubre	280.0	153.0	0.153
Noviembre	354.0	160.4	0.160
Diciembre	356.0	160.6	0.161
Promedio	<b>3203.0</b>	<b>1685.6</b>	<b>1.686</b>

Fuente: Programa Cropwat 0.8

## ANEXO 4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O DE REFERENCIA

DATOS		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Eto	mm/día	3.41	3.29	3.39	3.27	3.18	2.98	3.13	3.48	3.66	3.70	3.74	3.57	<b>3.4</b>



Fuente: Programa Cropwat 0.8



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis Completa titulada: "HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CAFÉ EN UN FUNDO DEL VALLE DE MONZON EN HUÁNUCO", cuyo autor es ESPINOZA DURAND GLADYS AIDA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 22.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 23 de Agosto del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI <b>DNI:</b> 45283270 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3248-046X	Firmado electrónicamente por: RSOLORZANOAC el 23-08-2022 11:02:17

Código documento Trilce: TRI - 0423443