

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

**NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y EL EFECTO DE LOS FACTORES  
TECNOLÓGICOS DE LA PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE CAFÉ ORO”**

**TÍTULO A OBTENER: Ingeniería Agroindustrial**

**AUTORES**

<b>Nombres y apellidos</b>	<b>Institución y dirección</b>	<b>Teléfono y e-mail</b>	<b>Firma</b>
Avilés García, Luisa Alejandra	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	6143-3708 ale_garcia4@hotmail.com	
Mineros Blanco, Ana Marlene	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7094-1071 minblanc_14@yahoo.com	
<b>DOCENTES</b>			
Ing. Agr.M. Sc José Mauricio Tejada Asencio	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7633-2415 jmtejadaes@yahoo.es	
Lic. Daniel de Jesús Palacios	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7864-3651 daniel.palacios@ues.edu. sv	

**Visto bueno:**

Ing. Agr. y Lic. Sabas Alberto Argueta Palacios Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento:	Firma:
Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén Director General de Procesos de Graduación de la Facultad:	Firma:
Ing. Agr.M. Sc José Mauricio Tejada Asencio Jefe del Departamento:	Firma:
Sello:	
Ciudad universitaria final 25° av. Norte San Salvador julio 2018	

## NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

**Título: Evaluación de la Huella Hídrica y el Efecto de los Factores Tecnológicos de la Producción y Procesamiento de Café Oro Avilés-García L.A<sup>1</sup>; Mineros-Blanco A.M<sup>1</sup>; Tejada-Asencio J.M<sup>2</sup>; Palacios-Hernández D.J<sup>2</sup>**

## RESUMEN

El estudio se realizó en la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria San Isidro Atáisi ubicada en Sonsonate y en la Cooperativa Cafetalera Los Pinos ubicada en Santa Ana, de junio a diciembre 2017. La Huella Hídrica es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios, teniendo tres componentes: Huella Hídrica verde, Huella Hídrica azul y Huella Hídrica gris. Se empleó una metodología de carácter cuantitativo y cualitativo, dividida en metodología de campo, laboratorio, gabinete y estadística. La metodología de campo, consistió en un diagnóstico a través de; visitas de observación y toma de datos en cada etapa de la producción y el proceso. Pruebas de campo que incluyó infiltración por los métodos cilindro infiltrómetro, permeámetro de Guelph, muestreo de suelos y muestreo de aguas residuales. Para la metodología de laboratorio se ejecutaron análisis y pruebas de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, densidad aparente, y textura del suelo. La metodología de gabinete consistió en la recolección y procesamiento de datos obtenidos. Finalmente, en la metodología estadística con los programas ClimWat y CropWat se obtuvo la evapotranspiración y en conjunto con una hoja de cálculo Excel se determinó la Huella Hídrica verde, azul y gris en m<sup>3</sup>/qq de café oro, obteniendo como resultado en la Cooperativa San Isidro Atáisi 2762 m<sup>3</sup>/qq, 0.002 m<sup>3</sup>/qq, 227.25 m<sup>3</sup>/qq y para la Cooperativa Los Pinos el 3749 m<sup>3</sup>/qq, 0.023 m<sup>3</sup>/qq, 740.83 m<sup>3</sup>/qq en el orden respectivo. Por lo tanto, se concluyó que la Huella Hídrica verde la más representativa para las dos Cooperativas con un 92.40% para la Cooperativa San Isidro Atáisi y un 83.50% para la Cooperativa Los Pinos.

**Palabras claves:** Huella Hídrica, Huella Hídrica verde, Huella Hídrica azul, Huella Hídrica gris, Consumo de agua, Aguas residuales.

---

<sup>1</sup> Estudiantes de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

<sup>2</sup> Docentes Asesores del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

## **NAME OF RESEARCH.**

**AUTHORS.** Evaluación de la Huella Hídrica y el Efecto de Los Factores Tecnológicos de la Producción y Procesamiento de Café Oro. Aviles-García<sup>1</sup> L.A; Mineros-Blanco A.M<sup>1</sup>; Tejada-Asencio J.M<sup>2</sup>; Palacios-Hernández D.J<sup>2</sup>

## **ABSTRACT.**

The study took place at Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria San Isidro Atáisi located in Sonsonate City and at Cooperativa Cafetalera Los Pinos located in Santa Ana City from July to December 2017. Water footprint is an indicator that measures the amount of water used to produce each of the goods and services we use, it has three water footprints: Green water footprint, Blue water footprint and Grey water footprint. Quantitative and qualitative research were used, divided in field, laboratory, cabinet and statistic research. Field research consisted in a diagnosis through observation visits and data collection in each step of the process and production, field tests included infiltration by cylindrical infiltrometer, Guelph permeameter, soil and sewage testing. For laboratory research analysis and test were run for field capacity, permanent wilting point, apparent density and soil texture. Cabinet research consisted in the collection and processing of obtained data. At last in statistic research, with the use of ClimWat, WropWat and MicrosoftExcel evapotranspiration, green, blue and grey water footprint in m<sup>3</sup> / qq of coffee gold were establish, the results for Cooperativa San Isidro Atáisi were 2762 m<sup>3</sup>/qq, 0.002 m<sup>3</sup>/qq, 227.25 m<sup>3</sup>/qq and for Cooperativa Los Pinos 3749 m<sup>3</sup>/qq, 0.023 m<sup>3</sup>/qq, 740.83 m<sup>3</sup>/qq respectively. Therefore, it was concluded that the green water Footprint is the most representative for the two Cooperatives with 92.40% for Cooperativa San Isidro Atáisi and 83.50% for Cooperativa Los Pinos.

**Key Words:** Water footprint, Green water footprint, Blue water footprint, Grey water footprint, water consumption, sewage.

## 1. INTRODUCCION

Se estima que en el mundo existen unos 1,400 millones de km<sup>3</sup> de agua, de los cuales 35 millones (2,5 por ciento) son de agua dulce. La agricultura es el sector que consume más agua, representando globalmente alrededor del 69 por ciento de toda la extracción, el consumo doméstico alcanza aproximadamente el 10% y la industria el 21%. Esto conlleva a escasez de agua dulce y la competencia entre los usuarios (FAO 2002).

La Huella Hídrica es una herramienta de planeación del manejo del recurso hídrico que brinda una visión más integral del impacto que tiene la población humana en el ambiente y en los ecosistemas. Es importante como elemento en el diseño de planes y programas, sustentando la toma de decisiones de una manera más acorde con las necesidades actuales en distintas regiones. En la fabricación o elaboración de cada producto, tomando en cuenta toda el agua que se aprovecha para las actividades. La Huella Hídrica puede aplicarse a productos, regiones, organizaciones o personas (AgroDer 2012).

La utilidad de la HH se puede considerar para, generar conciencia de dónde y cómo se utiliza el recurso hídrico, tomar mejores decisiones sobre cómo manejar el recurso hídrico y gestionar procesos y participación en políticas locales y nacionales de sostenibilidad ambiental y productiva (Aldaya 2004).

La importancia del café para El Salvador radica que en condiciones normales aporta 150,000 empleos directos y cerca de 500,000 empleos indirectos; inyecta recursos en el área rural dinamizando el comercio y aliviando la pobreza rural, también representa importancia hidrológica, fuente de energía, genera servicios ambientales y conserva la biodiversidad, protege los suelos contra la erosión, resguarda las principales vertientes de las cuencas hidrográficas y permite la infiltración de agua a los mantos acuíferos (Anner 2008).

A nivel internacional se encuentran estudios de Huella Hídrica como: Evaluación de la Huella Hídrica para la Producción de Bioetanol en Tamazula, Jalisco México (UFPR 2014). Aplicación del cálculo de Huella Hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica. (Golcher 2013). Y a nivel nacional el único estudio realizado es denominado Huella Hídrica del cultivo de caña de azúcar El Salvador (Renderos 2014).

Como respuesta a la necesidad de investigación para el tema de la Huella Hídrica en nuestro país específicamente en el cultivo del café, el objetivo fue evaluar la Huella Hídrica en café oro, basándose en la metodología propuesta por la Wáter Footprint Assessment en el manejo del cultivo, beneficiado húmedo tradicional y beneficiado ecológico de café oro en las cooperativas San Isidro Atáisi y Los Pinos con la finalidad de conocer el volumen de agua necesaria para obtener un quintal de café oro (WFA 2013).

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Ubicación, Duración, Unidades Experimentales.

El estudio se realizó en el periodo de junio a diciembre 2017 en dos cooperativas, la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria (ACPA ATAISI) La cooperativa está ubicada en Km. 45, carretera de San Salvador a Sonsonate, entrada al desvío del Cerro Verde, San Isidro, Izalco Sonsonate a una altura de 822 msnm, con coordenadas 13°47'1"N, longitud 89°34'28"O. y en la Asociación Cooperativa Los Pinos R.L ubicada en el Km 55 1/2, carretera de Santa Ana a Sonsonate, vía Cerro Verde, El Congo, Santa Ana, El Salvador a una altura de 1,075 msnm, con coordenadas latitud 13°52'0.12"N, longitud 89°31'0.12" O en las riveras del Lago de Coatepeque.

### 2.2 Metodología de campo

#### 2.2.1 Factor suelo, Densidad aparente: Cilindro de volumen conocido

En la Cooperativa Los Pinos se tomaron 5 muestras en un área de 5 hectáreas y para la Cooperativa San Isidro Atáisi se realizaron 3 muestras ya que los suelos presentaron características muy similares a nivel de campo, los muestreos de suelos se realizaron en los meses de agosto a noviembre

En los sitios de muestreo de suelos se introdujo el cilindro muestreador, una vez que estuvo lleno, se retiró con una pala y se usó un cuchillo afilado para nivelar el suelo a ras del cilindro, en ambos extremos del mismo.

#### 2.2.2 Infiltración: Cilindro infiltrómetro

Para el procedimiento de medición de infiltración se introdujo el cilindro infiltrómetro en el suelo (figura 1), verificando que penetrará de 10 a 20 cm se colocó el flotador con su soporte y el plástico en el fondo del anillo, para evitar que se alteren las condiciones del suelo vertiendo agua al cilindro, de manera que quedará completamente lleno sin derramarse y posteriormente, se anotando la hora en que se hicieron las lecturas, empleando diferentes intervalos de tiempo empezando con un tiempo de 2 minutos, hasta un tiempo máximo de 12 minutos, en promedio la prueba tuvo una duración de una hora (Avidan 1999).



Figura 1 a) llenado de cilindro infiltometro b) toma de datos

#### 2.2.3 Metodología para muestreo de suelo

Como se muestra en la figura 2 se tomaron coordenadas geográficas por medio de un GPS y Por medio de un muestreo simple en la cooperativa Los Pinos se extrajeron cinco muestras en un área de cinco hectáreas, y en la cooperativa San Isidro ATAISI tres muestras ya que estas presentaban propiedades físicas similares. La profundidad de los

muestreos fue de 1 m. Por cada horizonte identificado se tomó una porción de tierra de al menos dos libras en bolsas plásticas debidamente identificadas.

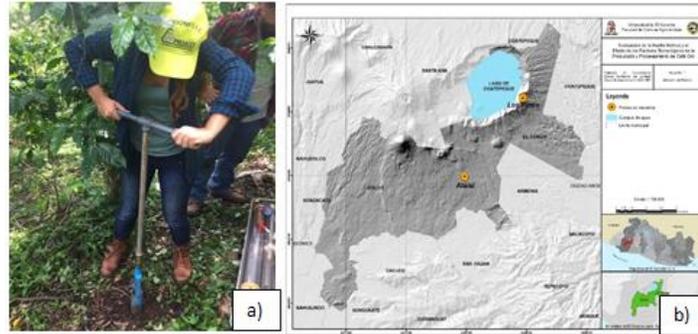


Figura 2 a) muestreo de suelos b) ubicación de puntos de muestreo de las cooperativas

**2.2.4 Infiltración por permeámetro de Guelph:** Por esta metodología se evaluó de manera precisa la conductividad hidráulica del suelo, y la capacidad de absorción (Elrick y Reynolds 1993)

**2.2.5 Productos químicos:** Se investigó los tipos de productos químicos específicamente los nitrogenados, tiempo de aplicación y cantidades por hectárea, siendo esto necesario para el cálculo de Huella Hídrica gris difusa.

### 2.2.6 Factor aguas residuales

La metodología para muestreo de aguas residuales fue la siguiente: se organizaron y rotularon recipientes diferentes de acuerdo el parámetro analizar (nombre de la Cooperativa, fecha, hora, tipo de análisis), e insumos para cada una de las Cooperativas visitadas. Para los análisis a realizarse fue necesario utilizar diferentes tipos de recipientes, así para aceites y grasas se utilizaron recipientes ámbar, para sólidos sedimentables y DBO<sub>5,20</sub> (Demanda Bioquímica de oxígeno) se utilizaron recipientes proporcionados por el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Agronómicas, para DQO (Demanda Química de Oxígeno) y sólidos suspendidos totales botellas PET (Tereftalato de Polietileno).

Se realizó un muestreo simple en la última etapa del tratamiento de aguas residuales de cada Cooperativa, se solicitó la colaboración necesaria para efectuarlo, este se dio inicio tomando una pequeña muestra de agua para ambientar el recipiente, y posteriormente se llevó a cabo el llenado de los recipientes por rebalse, finalmente se introdujeron en una hielera y se trasladaron a los laboratorios para su análisis (RODIER 1981).

### 2.3 Metodología de laboratorio para el análisis de muestra de suelo

**2.3.1 Densidad por cilindro de volumen conocido:** se colocó la muestra en una lata de aluminio debidamente pesada e identificada, posteriormente las muestras se secaron en estufa a 105°C pasadas las 24 horas se sacaron las latas y dejaron enfriar en desecador, obteniéndose así la masa de suelo seco, finalmente se determinó la densidad aparente utilizando la siguiente ecuación (Gómez G. 2010).

$$D_{Ap} \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro } cm^3}$$

**2.3.2 Capacidad de campo (CC): Método de la olla de presión:** se basó en la aplicación de aire a 1/3 de atmósfera de presión a muestras de suelo saturados. Al someter los suelos a una succión equivalente a 1/3 de atmósferas, durante 24 horas, el agua gravitacional es expulsada y el contenido de humedad que queda en la muestra es la de Capacidad de Campo (Calderón 2013).

**2.3.3 Punto de Marchitez Permanente (PMP): Método de la olla de presión:** la variación de este método con la capacidad de campo es que se extrae el agua de las muestras a una presión de 15 atmósferas y determina el peso del agua posteriormente (Calderón 2013).

**2.3.4 Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente: secado de muestras:** en una estufa con temperatura constante a 105°C por un tiempo de 24 horas, se colocaron en bandejas los depósitos de aluminio identificados con las muestras que se extrajeron de las ollas de presión para cada uno de los casos, posteriormente fueron pesadas (García *et al.* s.f.). Para el cálculo y análisis de los datos se utilizó la siguiente fórmula:

$$HP\%CC = (PF \text{ a } CC - PSS) / PSS * 100$$

**2.3.5 Metodología para textura del suelo por Bouyoucos:** se pesó 50g de suelo seco, pasándose a un Erlenmeyer adicionando 10 ml de dispersante, se dejó reposar durante unos minutos y se agito por 5 minutos. La suspensión del suelo se vertió en el cilindro de 1000 ml, se agito vigorosamente y se sumergió el hidrómetro a los 40 segundos tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, pasados 4 minutos, 1 hora y 2 horas (Medina *et al.* 2007).

## 2.4 Metodología de Gabinete

Se utilizó cálculos previos realizados en conjunto con el Departamento de Recursos Naturales, en cada cooperativa además con los programas ClimWat y CropWat, se calculó de los cuales se obtuvo el consumo de agua en el beneficiado húmedo de café así como el agua que van hacia los tratamientos y que posteriormente se dirige al cuerpo receptor, los programas mencionados son los empleados en la metodología propuesta por la Wáter Footprint Assessment y del curso “Cálculo y evaluación de la Huella Hídrica como herramienta para la sostenibilidad territorial y la adaptación al cambio climático” impartido por IICA (WFA 2013).

**2.4. Elementos climáticos:** Precipitación, temperaturas máximas y mínimas, Humedad relativa, velocidad del viento y altitud. Para ambas Cooperativas los elementos climáticos fueron tomados de ClimWat base de datos creada por la FAO (FAO 2005).

**2.4.2 Evapotranspiración:** se calculó a partir de datos climatológicos y bajo el método de Penman Monteith como procedimiento estándar, apoyándose del programa CropWat.

**2.4.3 Fenología del cultivo de café:** se utilizó la base de datos creada por la FAO conocida como CropWat, y se compararon con los registros que proporcionó la persona encargada de la fase de campo de la cooperativa.

**2.4.5 Labores:** se investigó qué tipos de labores se realizan al cultivo como el control de malezas, fertilización, el control de plagas y enfermedades, así como prácticas de podas y conservación de suelo.

## 2.5 Metodología estadística

El estudio fue de tipo exploratorio descriptivo por lo que se realizó una comparación entre Huella Hídrica ( $m^3/qq$  de café oro) de la Cooperativa San Isidro Atáisi y Cooperativa Los Pinos a partir de un conjunto de datos de parámetros estadísticos tales como: mínimos, máximos, promedios, frecuencias, de manera que describieron en forma precisa las Huella Hídrica verde, Huella Hídrica azul y Huella Hídrica gris.

**2.5.1 Determinación de la Huella Hídrica:** 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 Assessment, viéndose afectadas por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta cada cooperativa.

### 2.5.2 Huella Hídrica verde

Para el cálculo de la Huella Hídrica verde fue necesario contar con datos de precipitación y Precipitación efectiva la cual se trabajó con la ecuación del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA), para la Evapotranspiración se utilizó la ecuación de Penman-Monteith.

$$H_{verde} = \frac{Hv\ Territorial \frac{m^3}{ha}}{Rendimiento \frac{qq}{ha}} = \frac{m^3}{qq\ de\ café\ oro}$$

$$Hv\ Territorial = ET\ av\ (mm) \times 10 = \frac{m^3}{ha}$$

Descripción:

Hv Territorial= Agua verde ( $m^3/ha$ )

10 es un factor de conversión para obtener las unidades  $m^3/ha$ .

### 2.5.3 Huella Hídrica azul

Para el cálculo fue necesario conocer cuánta agua se necesita para procesar un quintal de café oro, así como las producciones que se tienen por ha en cada Cooperativa. Fue necesario estimar un porcentaje de agua que no se devuelve al sistema (agua azul) para cada tipo de beneficiado, siendo los siguientes:

15% para beneficiado ecológico

30% para beneficiado húmedo tradicional

$$H_{azul} = \frac{Agua\ azul}{Produccion\ por\ ha}$$

### 2.5.4 Huella Hídrica gris puntual

Para el cálculo fue necesario contar con datos de archivos de las cooperativas, resultados de análisis de laboratorio y los establecidos en la NSO para aguas residuales (NSO 13.49.01:09 2009).

$$H_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times Cefl - Afl \times Cact}{Cmax - Cnat}$$

Descripción:

Efl = Flujo efluente

Cefl = Concentración del contaminante en el efluente

Afl = Flujo afluente

Cact = Concentración real del agua de entrada

Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua

Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor concentración natural del efluente.

### 2.5.5 Huella Hídrica gris difusa

$$H_{gris\ difusa} = \frac{L}{C_{max}-C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max}-C_{nat}}$$

Descripción:

L=Carga contaminante

Cmax = Estándar de calidad ambiental del cuerpo receptor

Cnat = Concentración natural del contaminante

$\alpha$  = Fracción de escorrentía-Lixiviación

Apl = Tasa de aplicación

Para obtener el valor de Huella Hídrica gris difusa con forme a la producción, se llevan a cabo los siguientes pasos: el resultado obtenido de la fórmula se divide entre la producción obtenida en un año en kilogramos, y el siguiente pasar esas unidades de kilogramos a quintales (1qq = 45.45kg) y así obtener unidades homogéneas de Huella Hídrica.

### 2.5.6 Huella Hídrica

$$HH = H_{verde} + H_{azul} + H_{gris\ puntual} + H_{gris\ difusa}$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

### 3.1 Resultados de Huella Hídrica Verde

#### 3.1.1 Factores tecnológicos de la producción de café

Los factores tecnológicos en la producción que las Cooperativas San Isidro Ataisi y Los Pinos emplean son: Control de malezas, control de plagas y enfermedades, poda de descope, conservación de suelos incorporando materia orgánica, y adicional la Cooperativa los Pinos hacen poda de sombra ahoyado y barreras vivas. En ningún caso cuentan con riego

#### 3.1.2 Factor cultivo y suelo

Ya que ambas Cooperativas cuentan con la variedad de café Bourbon se decidió trabajar en las áreas que esta se encuentra.

Del análisis de textura por el método de boyucos se obtuvieron diversos tipos de suelos como Franco Arcillo arenosos, Arenoso Franco, entre otros, predominando para la Cooperativa San Isidro Atáisi un suelo Franco Arenoso (FA) y para la Cooperativa Los Pinos un suelo Franco Arcilloso (FC). Tomando como base la textura del suelo se analizó las propiedades físicas densidad aparente, Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) e Infiltración. (cuadro 1).

**Cuadro 1. Resultados de propiedades del suelo por Cooperativa**

Cooperativa	Textura	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	CC (%w)	PMP (%w)	Infiltración (mm/h)
Atáisi	FA	1.47	16	7	22.86
Los Pinos	FC	1.36	25	14	8.89

En ambos casos los resultados son consistentes relacionándolos con los rangos de las propiedades físicas del suelo según textura presentados por Avidan (1990) (Cuadro A-1).

### 3.1.3 Factor clima

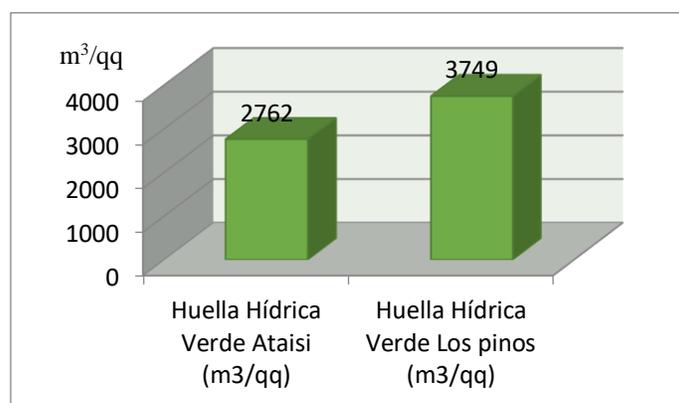
Los datos presentados en el cuadro 2 fueron tomados del programa ClimWat, de la estación ubicada en Santa Ana El Palmar que es la más cercana a ambas Cooperativas.

**Cuadro 2. Datos climáticos por Cooperativa**

Cooperativa	Temperatura máx/min	Humedad relativa	Velocidad del viento	Precipitación	Precipitación efectiva
San Isidro Ataisi	30.6 °C/17.8 °C	60%	144 Km/día	1833 mm/año	1082 mm
Los Pinos	30.6 °C/17.8 °C	60%	144 Km/día	1833 mm/año	1481 mm

### 3.1.4 Huella Hídrica verde

En la Cooperativa San Isidro Atáisi se obtuvo una Huella Hídrica verde de 2,762 m<sup>3</sup>/qq de café oro y 3,749 m<sup>3</sup>/qq de café oro para la Cooperativa Los Pinos (Figura 1)



**Figura 1. Grafico de resultado de Huellas Hídricas verde**

En la Cooperativa San Isidro Atáisi la Huella Hídrica verde es menor que en la Cooperativa Los Pinos viéndose influenciado por la precipitación y clima. Los factores tecnológicos a nivel de producción si contribuyen a mejorar las características del suelo, infiltración, humedad relativa, entre otros factores, pero para conocer la influencia que estos tienen en el resultado de Huella Hídrica verde se necesitan de análisis específicos para cada uno de ellos, además estos no son considerados directamente para el cálculo de evapotranspiración realizado en el programa CropWat.

La capacidad de campo en conjunto con el punto de marchitez permanente dan como resultado la capacidad de retención de agua en el suelo y por lo tanto la cantidad de agua que está disponible para la planta, en el caso de la Cooperativa San Isidro Atáisi presenta un valor de 130 mm/m inferior al de la Cooperativa los Pinos con 150 mm/m

Según Mekonnen y Hoekstra (2011). Brasil cuenta con una Huella Hídrica verde de 1,524.85 m<sup>3</sup>/qq, en El Salvador para las Cooperativas San Isidro Atáisi y Los Pinos los valores son mayores, afectando el rendimiento al valor de la Huella Hídrica verde.

### 3.2 Factores tecnológicos del procesamiento de café oro

#### 3.2.1 Caracterización de maquinaria

La Cooperativa San Isidro Atáisi posee en beneficiado ecológico cuenta con una unidad compacta de beneficio ecológico UCBE 5000, tiene una capacidad hasta de 5000 kilogramos de café uva por hora, con 15.5 HP de potencia eléctrica, proporcionando porcentajes de trilla y cascareo inferiores al 2%.

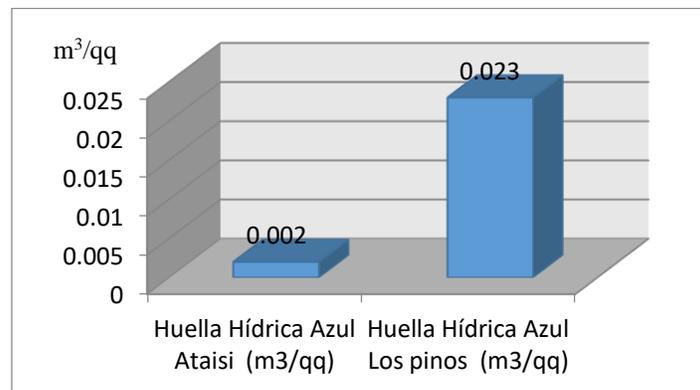
La cooperativa Los Pinos cuenta con un beneficiado húmedo tradicional con capacidad hasta de 60 qq uva por hora clasificación hidrostática, en el cual el café defectuoso flota para pasar a la despulpadora y criba donde el café pergamino es clasificado mediante zarandas. No se cuenta con el modelo del beneficio ni su catálogo ya que aproximadamente tiene unos 70 años que fue importado de Europa.

#### 3.2.2 Consumo de agua por beneficiado

La Cooperativa Atáisi con beneficiado ecológico consume 15 galones de agua/qq de café oro y la Cooperativa Los Pinos con beneficiado húmedo tradicional 80 galones de agua/qq de café oro.

#### 3.2.3 Huella Hídrica azul

En la Cooperativa San Isidro Atáisi se obtuvo una Huella Hídrica azul de 0.002 m<sup>3</sup>/qq de café oro y 0.023 m<sup>3</sup>/qq de café oro para la Cooperativa Los Pinos (Figura 2)



**Figura 2. Grafico de resultados de Huella Hídrica azul**

En el caso de la Ha los efectos de los factores tecnológicos si se ven reflejados en el resultado, para el beneficiado ecológico por ser un proceso más corto y con una incorporación menor de agua, el agua que no retorna es inferior a la que se presenta en un beneficiado tradicional (15% ecológico, 30% tradicional) cuyo proceso es más largo, con equipos de mayor dimensión y requieren mayor incorporación de agua en el proceso con mayor probabilidad de fugas.

Ambos resultados no pueden ser comparables ya que no se encontró otro estudio que se adaptara la Huella Hídrica azul a un proceso de beneficiado húmedo.

### 3.3 Factores tecnológicos de aguas residuales y lixiviados

#### 3.3.1 Resultados de análisis de aguas residuales

Según la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.4901:09 (2009) de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor para  $DBO_{5,20}$  lo máximo permitido es 300 mg/l lo que nos indica que ninguna Cooperativa cumple con el parámetro. Para Sólidos Sedimentables lo máximo permitido es de 15 mg/l lo que nos indica que la Cooperativa San Isidro Atáisi no cumple con dicho parámetro y la Cooperativa Los Pinos si cumple, para el parámetro de aceites y grasas lo máximo permitido es de 30mg/l esto nos indica que ninguna Cooperativa cumple, para DQO lo máximo permitido es de 2500 mg/l indicando que las dos Cooperativas cumplen con la normativa, con respecto a los Sólidos Suspendedos Totales lo máximo permitido es 1000 mg/l lo que nos indica que ninguna Cooperativa cumple con la normativa, y por último los Sólidos Totales no está normado (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Resultados análisis de laboratorio de aguas residuales**

Cooperativa	$DBO_{5,20}$ (mg/L)	Sólidos Sedimentables (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Suspendedos Totales	Sólidos Totales
San Isidro Atáisi	459.0	20.0	53.8	1250.0	3564.0	5124.0
Los Pinos	466.2	7.5	43.0	1260.0	3006.0	4996.0
NSO 13.4901:09	300	15	30	2500.0	1000.0	-

#### 3.3.2 Huella Hídrica gris puntual

Corresponde a los análisis de aguas residuales en la Cooperativa San Isidro Atáisi se obtuvo una Huella Hídrica gris puntual de 0.0005 m<sup>3</sup>/qq de café oro y 0.005 m<sup>3</sup>/qq de café oro para la Cooperativa Los Pinos. Ambas cooperativas cuentan con un tratamiento de aguas que consiste en un tratamiento primario físico con sedimentadores. La diferencia que presenta el agua de salida en el caso de la Cooperativa Atáisi es el volumen siendo inferior al de la Cooperativa Los Pinos y las cargas del contaminante en ambos son muy cercanas. En cuanto a las características del cuerpo de agua receptor, si se presentan variaciones ya que en el río Ceniza para la Cooperativa San Isidro Atáisi presenta una concentración natural ( $DBO_{5,20}$ ) de 2 mg/l, el caudal es inferior frente al río Guajoyo para Cooperativa Los Pinos con concentración natural ( $DBO_{5,20}$ ) de 4 mg/l, teniendo el río Ceniza concentración inferior al río Guajoyo. Ambos factores influyen en resultados de la huella Hídrica gris puntual, también puede observarse como el volumen de agua del efluente es dado del tipo de beneficiado tradicional o ecológico. Se obtuvo como resultado 0.0005 m<sup>3</sup>/qq de café oro y 0.005 m<sup>3</sup>/qq de café oro para cada una de las cooperativas respectivamente. No se encontró un estudio para comparar la Huella Hídrica gris en aguas residuales.

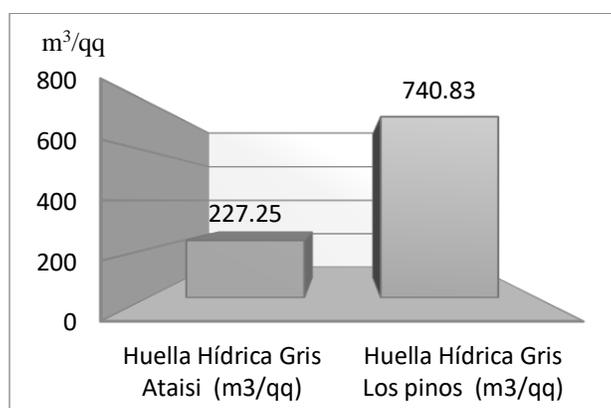
#### 3.3.3 Huella Hídrica gris difusa

La Huella gris difusa se refiere a la contaminación proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas. Para llevar a cabo el cálculo de Huella Hídrica gris difusa se necesitó conocer las cantidades de fertilizantes aplicados por ha en cada cooperativa (cuadro 4).

**Cuadro 4 Fertilizantes aplicados por Cooperativa**

Cooperativa San Isidro Ataisi		Cooperativa Los Pinos	
Fertilizante	qq de N/ha	Fertilizante	qq de N/ha
Nitrozinc	0.015	Nitroxtend	3.26
Nitroboro	0.015	urea	3.26
Folivex	0.0035		
15-15-15	0.64		
Urea	1.120		
14-4-17	0.04		
<b>Total</b>	<b>1.83 = 2</b>	<b>Total</b>	<b>6.52</b>

En la Cooperativa San Isidro Atáisi se obtuvo una Huella Hídrica gris difusa de 227.25 m<sup>3</sup>/qq de café oro y 740.83 m<sup>3</sup>/qq de café oro para la Cooperativa Los Pinos (figura 3).



**Figura 3. Grafico de resultados Huella Hídrica gris**

Los resultados obtenidos muestran una diferencia significativa entre ambas Cooperativas lo cual es debe a las cantidades de nitrógeno que se aplican siendo aproximadamente 3 veces más en la Cooperativa los Pinos con respecto a la Cooperativa San Isidro Atáisi. Los resultados para ambas Cooperativas son más altos con respecto a los reportados en Colombia por Renderos (2014) con 71 m<sup>3</sup>/qq de café, es aquí donde se puede observar como el rendimiento (qq de café oro/ha) del café incide en el resultado de Hg difusa.

### 3.4 Huella Hídrica

Los cuadros 5 y 6 muestran que para ambas Cooperativas la Huella Hídrica verde es la más representativa, seguida de la Huella Hídrica gris y finalmente la Huella Hídrica azul, dicha representatividad de las huellas también se encuentran en los presentados por Renderos 2014 con 94.81% para Hv, 0.378 Ha y 4.82 Hg.

**Cuadro 5. Resultado Huella Hídrica Cooperativa San Isidro Atáisi**

Concepto	Total	%
Huella Hídrica Verde (m <sup>3</sup> /qq)	2,762	92.40
Huella Hídrica Azul (m <sup>3</sup> /qq)	0.002	0.0001
Huella Hídrica Gris (m <sup>3</sup> /qq)	227.25	7.60
Huella Hídrica Total (m <sup>3</sup> /qq)	2,989.25	100.00

**Cuadro 6 Resultado Huella Hídrica Cooperativa Los Pinos**

<b>Concepto</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Huella Hídrica Verde (m <sup>3</sup> /qq)	3,749	83.50
Huella Hídrica Azul (m <sup>3</sup> /qq)	0.023	0.0005
Huella Hídrica Gris (m <sup>3</sup> /qq)	740.83	16.50
Huella Hídrica Total (m <sup>3</sup> /qq)	4,489.96	100.00

## **CONCLUSIONES**

San Isidro Atáisi obtuvo una Huella Hídrica de 2,989.25 m<sup>3</sup>/qq y la Cooperativa Los Pinos la Huella Hídrica es de 4,489.96 m<sup>3</sup>/qq

La Huella Hídrica con más consumo fue la Huella Hídrica verde con 2,762.00 m<sup>3</sup>/qq para la Cooperativa San Isidro Atáisi y 3,749.00 m<sup>3</sup>/qq para la Cooperativa Los Pinos 3,749.00 m<sup>3</sup>/qq, a pesar que los datos de clima fueron recogidos de la misma estación meteorológica las características físicas del suelo determinaron la variación en dichos resultados

La Cooperativa San Isidro Atáisi con un beneficiado ecológico se obtuvo de Huella Hídrica azul 0.002 m<sup>3</sup>/qq y la Cooperativa los Pinos 0.023 m<sup>3</sup>/qq, a pesar que en ambos casos la representación porcentual en el valor de la Huella Hídrica es muy baja, logró visualizarse la diferencia entre una tecnología de beneficiado ecológico de uno tradicional.

Ambientalmente el impacto generado de un beneficiado tradicional con uno ecológico se ve reflejado en el valor de la Huella Hídrica gris puntual en la Cooperativa San Isidro Atáisi tuvo como resultado 0.0005 m<sup>3</sup>/qq y para la Cooperativa Los Pinos 0.005 m<sup>3</sup>/qq ambos resultados son poco representativos en el valor de la Huella Hídrica gris, ambos presentan resultados de DBO<sub>5,20</sub> muy cercanos, afectando principalmente al resultado la cantidad de agua residual.

La Huella Hídrica gris difusa es mayor en la Cooperativa los Pinos con 740.83 m<sup>3</sup>/qq que en la Cooperativa San Isidro Atáisi con 227.25 m<sup>3</sup>/qq, ambas cooperativas presentan rendimientos muy cercanos, determinando así el valor de la Huella Hídrica gris difusa las cantidades de componente activo (Nitrógeno) aplicado.

Calcular la Huella Hídrica azul y Huella Hídrica gris puntual en la producción y procesamiento de café oro podría ser omitido, en los casos que no se cuenta con riego, ya que los resultados no son representativos en el valor de Huella Hídrica para ambas Cooperativas.

El componente que mayor porcentaje obtuvo en el estudio fue la Huella Hídrica verde con 92.40% para la Cooperativa Atáisi y 83.26% para la Cooperativa Los Pinos debido a la capacidad de retención de humedad del suelo

## 6. RECOMENDACIONES

Llevar a cabo obras para captar agua de lluvia y así poder tener el suministro de agua en época seca lo cual contribuirá a mejorar rendimiento de cultivo y de esta forma se verá una disminución en el valor de la Huella Hídrica verde.

Llevar a cabo obras de conservación de suelos, contribuyendo así a enriquecerlos con material orgánico mejorando la composición física de los mismos y por consiguiente la disponibilidad de agua para el cultivo.

Se recomienda a las cooperativas hacer análisis de fertilidad de suelos con mayor frecuencia y verificar que las cantidades de fertilizantes que están aplicando sean las adecuadas a pesar que las aplicaciones son abundantes, estas no se ven reflejadas en el rendimiento del cultivo.

Desarrollar estudio de factibilidad de implementación de riego para elevar la producción.

Renovar cafetales con variedades resistentes a plagas y enfermedades y así mejorar rendimientos, volviendo el cultivo del café más competitivo dentro de la Huella Hídrica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**AgroDer. 2012.** Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica. México DF. (en línea). México. 200 p. Consultado 15 de feb. 2017 Disponible en <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%ADdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>

**Aldaya m. m. 2004.** Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Encuentros multidisciplinares. Colombia. Ed.corr. vol. 10, no 29, p. 1-12.

**Anner, M. 2008.** La maquila y el monitoreo independiente en El Salvador. Ed. Corr. Gmies, San Salvador, 43-44.

**AVIDAN, A. 1999.** Determinación del Régimen de riego de los Cultivos. CINADCO. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Israel. p. 35-37

**Calderón Díaz JA. 2013.** Métodos para determinar Constantes de Humedad Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. (en línea). Guatemala, Guatemala. 35 p. Consultado el 25 feb 2017. Disponible en [http://www.academia.edu/4787268/M%C3%A9todos\\_para\\_determinar\\_las\\_Constantes\\_de\\_Humedad](http://www.academia.edu/4787268/M%C3%A9todos_para_determinar_las_Constantes_de_Humedad)

**Elrick, D.E. y Reynolds W.D. 1993.** 'Métodos para analizar datos de permeámetro de Guelph Colombia. p. 560-563

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Guatemala) 2002.** Agua y cultivos. (en línea). Guatemala. 45 p. consultado el 25 abr en línea [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops_s.pdf)

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Guatemala) 2005.** Clima, agua y cultivos. (en línea). Guatemala. 45 p. consultado el 25 abr en línea [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops_s.pdf)

**Garcia, M; Puppo, L; Hayashi, L; Morales, P. s.f.** metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. (en línea). Montevideo, Uruguay, Universidad de Uruguay. 10p. Consultado 26 feb. 2017. Disponible en <http://www.grupodesarrolloriego.uy/pdf/2-seminario-2012/Metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo-a-campo.pdf>

**Golcher C. 2013** Aplicación del cálculo de huella hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica. Foro. (IV 2013. Costa Rica). Foro Técnico “Cálculo de Huella Hídrica para el sector agropecuario de América Latina. San José. Costa Rica. 30p.

**Gómez, G. 2010.** Cultivo y beneficio del café. Revista de Geografía Agrícola, núm. 45, julio-diciembre, 2010, p. 103-193 (en línea). Universidad Autónoma Chapingo Texcoco, México disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/757/75726134008.pdf>

**Medina, G; García, J; Núñez, D. 2007.** El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. La Habana, Cuba. (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16(3):19-24. Consultado 26 feb. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf>

**Mekonnen y Hoekstra. 2011.** Evaluación de le Huella Hídrica verde como una herramienta de crisis del café en Brasil. Brasil (en línea). Consultado 10 de mar. 2018 disponible en <https://www.iagua.es/blogs/justin-boreson/water-footprint-assessments-as-decision-tool-in-the-brazilian-coffee-crisis>

**Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua 13.49.01:09. 2009.** Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 7 mar. 2016. Disponible en [http://www.marn.gob.sv/descarga/norma-aguas-residuales-descargadas-a-cuerpo-receptor-nso009/?wpdmdl=23913&ind=lsBUyDg5SxABqos0lpxFT8zDXonF66Hcn-ZhWrIEK4OXxvxDCEkPzx3FFbiW1zeIBed9PxI90E1e5IOz\\_f0yPpufwP7ccDNyIOccJfMV04onR-XIANWBAnd5KFRONFsv](http://www.marn.gob.sv/descarga/norma-aguas-residuales-descargadas-a-cuerpo-receptor-nso009/?wpdmdl=23913&ind=lsBUyDg5SxABqos0lpxFT8zDXonF66Hcn-ZhWrIEK4OXxvxDCEkPzx3FFbiW1zeIBed9PxI90E1e5IOz_f0yPpufwP7ccDNyIOccJfMV04onR-XIANWBAnd5KFRONFsv)

**Renderos R. 2014.** Huella Hídrica del Cultivo de Caña de Azúcar (en línea) Tesis Lic. Ing. Agr. UCA. San Salvador El Salvador. Consultado 20 de feb. 2017. Disponible en <file:///C:/Users/AsUs/Downloads/Huella%20h%C3%ADdrlica%20cultivo%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf>

**RODIER, J. 1981.** Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona.

**UFPR (Universidad Federal de Paraná) 2014.** Análisis del Uso del Bioetanol como Medida de Mitigación y su Impacto en el Sector Hídrico: Estudio en una Región Cañera en México. Ed. rev. 21 p.

**WFA (Water Footprint Assessment) 2013.** Manual Setting the Global Standard. (en línea). E.E.U.U Consultado el 12 marz. 2018. Disponible en [http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)