

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:**

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

**POR:**

**AVILÉS GARCÍA, LUISA ALEJANDRA**

**MINEROS BLANCO, ANA MARLENE**

**SAN SALVADOR, JULIO 2018.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:**

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

**POR:**

**AVILÉS GARCÍA LUISA, ALEJANDRA**

**MINEROS BLANCO, ANA MARLENE**

**SAN SALVADOR, JULIO 2018.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:**

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

**POR:**

**AVILÉS GARCÍA, LUISA ALEJANDRA**

**MINEROS BLANCO, ANA MARLENE**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL.**

**SAN SALVADOR, JULIO 2018.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ROGER ARMANDO ARIAS

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. AGR. M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO:**

ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE:**

---

ING. AGR.M. Sc JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

**DOCENTE DIRECTOR**

---

ING. AGR. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

ING. AGR. Y LIC. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS

## RESUMEN

La “Evaluación de la Huella Hídrica y el Efecto de los Factores Tecnológicos de la Producción y Procesamiento De Café Oro” se llevó a cabo en la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria San Isidro Atáisi ubicada en municipio de Izalco, departamento de Sonsonate y en la Cooperativa Cafetalera Los Pinos ubicada en El Congo Santa Ana, en el periodo de junio a diciembre 2017. La Huella Hídrica (HH), es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios de una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad, la Huella Hídrica tiene tres componentes: Huella Hídrica verde, azul y gris, la Huella Hídrica verde es el consumo de los recursos de agua provenientes de la lluvia almacenada en el suelo, la Huella Hídrica azul es consumo de los recursos de aguas superficiales y subterráneas a lo largo de la cadena de producción que no retorna al sistema, y la Huella Hídrica gris es el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes basados en las normas vigentes de calidad del agua.

Se empleó una metodología de carácter cuantitativo y cualitativo, que se encuentra dividida en metodología de campo, laboratorio, gabinete y metodología estadística.

La metodología de campo, consistió en un diagnóstico, realizando visitas de observación y toma de datos una vez por semana para conocer la cantidad de agua utilizada en cada etapa de la producción y el proceso. Pruebas de campo que incluyó infiltración por los métodos cilindro infiltrómetro, permeámetro de Guelph y muestreo de suelos, toda la información recolectada fue procesada en la hoja de cálculo de Excel.

La metodología de laboratorio comprendió la ejecución de análisis y pruebas que incluyeron capacidad de campo y punto de marchitez permanente por el método de olla de presión, densidad aparente por cilindro de volumen conocido, textura del suelo por Bouyoucos muestreo y análisis de aguas residuales. La metodología de Gabinete consto de la recolección y procesamiento de datos obtenidos de cada una de las Cooperativas por medio de archivos.

Finalmente, en la metodología estadística se elaboró una hoja de cálculo de Excel en la cual se determinó la Huella Hídrica verde, azul y gris, en donde se obtuvo 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. Siendo 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.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestras familias y amigos, por apoyarnos a culminar esta etapa.

A la Universidad de El Salvador y a la Facultad de Ciencias Agronómicas por brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación.

Departamento de Recursos Naturales en especial a nuestro tutor y amigo ING. AGR. Mauricio Tejada, al ING. AGR. Sabas Argueta, Lic. Daniel Palacios, ING. Miguel Méndez ING. Abel Argueta.

A la Cooperativa Los Pinos por su apertura y tiempo, al presidente Sigfredo Benítez y demás personal de la cooperativa.

A la Cooperativa San Isidro Atáisi por apoyarnos y permitirnos realizar la investigación, al presidente Ernesto Mestizo y demás personal de la cooperativa.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de nuestras familias y amigos.

Alejandra Avilés y Marlene Mineros

### **Dedicatoria**

Dedico a mis padres Ana Julia Blanco de Mineros, José Hernán Mineros, mi hermana Laura Ercilia y Mamichila María Ercilia Vásquez de Blanco por apoyarme, alentarme en los malos momentos y celebrar los buenos. A mi compañera de tesis por conformar tan buen equipo y por atravesar y superar juntas muchas adversidades durante este largo proceso. Gracias

Ana Marlene Mineros Blanco

Para mis padres José Luis Avilés y Jeannette García de Avilés, mi hermana Alexandra Avilés y Ramcez por haberme acompañado y guiado por brindarme una vida llena de aprendizajes, a Mauricio B. por su cariño y apoyo incondicional, a mi amiga y compañera de tesis Marlene por haber luchado juntas.

Luisa Alejandra Avilés García

## **INDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1 Importancia del agua .....	3
2.1.1 Importancia del agua en el mundo .....	3
2.1.2 Importancia del agua en la agricultura .....	3
2.2 Concepto Huella Hídrica (HH) .....	4
2.2.1 Utilidad de la HH .....	5
2.2.2 Huella Hídrica verde (Hv) .....	5
2.2.3 Huella Hídrica azul (Ha) .....	6
2.2.4 La Huella Hídrica Gris (Hg) .....	7
2.2.5 ClimWat y CropWat para Huella Hídrica .....	8
2.3 Ejemplos de estudios de Huella Hídrica .....	8
2.4 ISO 14046: Huella Hídrica .....	9
2.5 El café en el mundo .....	10
2.5.1 Datos económicos del café .....	10
2.5.2 Situación actual del café en El Salvador .....	10
2.5.3 Importancia socioeconómica del café para el Salvador .....	11
2.6 Importancia hidrológica .....	12
2.7 Variedades de Café Producidas .....	13
2.8 Producción y procesamiento del café .....	13
2.8.1 Técnicas empleadas en el beneficiado .....	16
2.9 Manejo de aguas residuales del beneficiado .....	20
2.10 Contaminantes típicos en las aguas residuales del beneficiado de café .....	21
2.10.1 Propiedades Físicas .....	21
2.10.2 Propiedades Químicas .....	21
2.11 Tipos de tratamientos para aguas residuales en Beneficiado húmedo .....	23
2.11.1 Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA) .....	23
2.11.2 Lodos Activados .....	23
2.11.3 Lagunas Anaerobias .....	24
2.11.4 Lagunas Aerobias .....	24
2.11.5 Patios de Secado de Lodos .....	24

2.12 Norma salvadoreña obligatoria NSO 13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales: Descargadas a un Cuerpo Receptor” .....	24
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	25
3.1 Descripción del estudio .....	25
3.2 Metodología de campo .....	26
3.2.1 Factor suelo .....	26
3.2.2 Muestreo de suelo .....	26
3.2.3 Metodología de infiltración por permeámetro de Guelph .....	27
3.2.4 Productos químicos .....	27
3.3 Factor aguas residuales .....	28
3.3.1 Metodología para muestreo de aguas residuales .....	28
3.4 Metodología de laboratorio para el análisis de muestra de suelo .....	28
3.4.1 Densidad por cilindro de volumen conocido .....	28
3.4.2 Capacidad de campo: Método de la olla de presión .....	28
3.4.3 Punto de Marchitez Permanente: Método de la olla de presión.....	29
3.4.4 Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente: secado de muestras	29
3.4.5 Metodología para textura del suelo por Bouyoucos.....	29
3.5 Metodología de Gabinete .....	30
3.5.1 Factor clima .....	30
3.5.2 Factor cultivo .....	30
3.6 Metodología estadística.....	31
3.6.1 Determinación de la Huella Hídrica .....	31
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	34
4.1 Caracterización de las Cooperativas .....	34
4.2 Factores tecnológicos de la producción de café .....	35
4.2.1 Factor clima .....	35
4.2.2 Factor cultivo y suelo .....	35
4.2.3 Resultados de Huella Hídrica Verde .....	36
4.3 Factores tecnológicos del procesamiento de café oro .....	39
4.3.1 Caracterización de maquinaria.....	39
4.3.2 Consumo de agua total en los procesos de beneficiado húmedo.....	39
4.3.3 Resultados Huella Hídrica azul .....	40
4.4 Caracterización de los tratamientos de aguas residuales.....	41
4.4.1 Resultados de análisis de aguas residuales.....	41

4.4.2 Resultados Huella Hídrica gris puntual .....	42
4.4.3 Resultado Huella Hídrica gris difusa .....	45
4.5 Huella Hídrica.....	47
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>50</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Aplicaciones de Huella Hídrica .....	5
Cuadro 2 Cantidad de nutrientes y fertilizante según nivel de sombra y densidad de siembra.....	15
Cuadro 3 Comparación de sistemas de beneficio húmedo de café en cuanto al proceso y otros parámetros.....	19
Cuadro 4 Algunas características típicas en las aguas residuales de los beneficios de café .....	23
Cuadro 5 Resultados de propiedades del suelo.....	35
Cuadro 6 Factores Tecnológicos en el área de producción.....	36
Cuadro 7 Precipitación por Cooperativa.....	36
Cuadro 8 Evapotranspiración del cultivo por Cooperativa .....	36
Cuadro 9 Cálculo de Huella Hídrica verde Cooperativa San Isidro Atáisi.....	37
Cuadro 10 Cálculo de Huella Hídrica verde en Cooperativa Los Pinos .....	37
Cuadro 11 Resultado de Huella Hídrica verde .....	38
Cuadro 12 Consumo de agua del Beneficiado Húmedo por Cooperativa.....	40
Cuadro 13 Datos para cálculo de Huella Hídrica azul en Cooperativa San Isidro Atáisi ...	40
Cuadro 14 Datos para cálculo de Huella Hídrica azul Cooperativa Los Pinos .....	40
Cuadro 15 Resultados de Huella Hídrica azul.....	40
Cuadro 16 Resultados análisis de laboratorio de aguas residuales .....	41
Cuadro 17 Datos para calculo Huella Hídrica gris en aguas residuales Cooperativa San Isidro Atáisi .....	42
Cuadro 18 Datos para calculo Huella Hídrica gris de Cooperativa Los Pinos.....	43
Cuadro 19 Datos para calculo Huella Hídrica gris.....	45
Cuadro 20 Datos para calculo Huella Hídrica gris.....	45
Cuadro 21 Resultados Huella Hídrica gris .....	46
Cuadro 22 Resultado Huella Hídrica Cooperativa San Isidro Atáisi .....	47
Cuadro 23 Resultado Huella Hídrica Cooperativa Los Pinos .....	47

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Grafico de resultado de Huellas Hídricas verde .....	38
Figura 2 Grafico de resultados de Huella Hídrica azul .....	41
Figura 3 Grafico de resultados Huella Hídrica gris .....	46

## INDICE DE ANEXOS

Figura A- 1 Proceso de beneficiado húmedo de café.....	58
Figura A- 2 Proceso de beneficiado ecológico de café .....	59
Figura A- 3 Infiltración con cilindro infiltometro.....	60
Figura A- 4 Muestreo de suelos.....	60
Figura A- 5 Mapa de puntos de muestreo en Cooperativa San Isidro Ataisi y Cooperativa Los Pinos .....	61
Figura A- 6 Permeametro de Guelph .....	62
Figura A- 7 Muestreo de aguas residuales.....	62
Figura A- 8 Análisis de Capacidad de Campo.....	63
Figura A- 9 Análisis de textura de suelos por Boyoucos .....	64
Figura A- 10 Beneficiado ecológico en Cooperativa San isidro Ataisi .....	67
Figura A- 11 Beneficiado húmedo tradicional en Cooperativa Los Pinos .....	68
Figura A- 12 Análisis de aguas residuales DBO 5,20 Cooperativa San isidro Ataisi.....	69
Figura A- 13 Análisis de aguas residuales DBO 5,20 Cooperativa Los Pinos .....	70
Cuadro A- 1 Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales por la norma NSO 13.49.01:09 .....	59
Cuadro A- 2 Datos climáticos para Cooperativa San Isidro Ataisi y Los Pinos.....	65
Cuadro A- 3 Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo, según textura .....	66
Cuadro A- 4 Análisis de aguas residuales Cooperativa San Isidro Ataisi para: Aceites y grasas, DQO, Sólidos suspendidos totales y sólidos totales .....	71
Cuadro A- 5 Análisis de aguas residuales Cooperativa Los Pinos para: Aceites y grasas, DQO, Sólidos suspendidos totales y sólidos totales.....	72
Cuadro A- 6 Fertilizantes nitrogenados utilizados por Cooperativa en una ha .....	73

## 1. INTRODUCCIÓN

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).

Las empresas se hacen más competitivas dentro de su ramo y cada vez adoptan nuevas estrategias a fin de garantizar el éxito y aprovechamiento de sus recursos. La importancia radica en la adopción de nuevas estrategias para garantizar el éxito y aprovechamiento del recurso hídrico, generando la disminución en los costos de producción y procesamiento de café por tal motivo surge el interés y la importancia de calcular la Huella Hídrica en la producción y procesamiento para la obtención de café oro (Feijoo K. 2005).

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).

El objetivo de la investigación es evaluar la Huella Hídrica basándose en la metodología propuesta por la Wáter Footprint Network en el manejo del cultivo, beneficiado húmedo tradicional y beneficiado ecológico de café oro en las cooperativas San Isidro Atáisi y Los Pinos.

A nivel internacional se encuentran estudios de Huella Hídrica tales como: Evaluación de la Huella Hídrica para la Producción de Bioetanol en Tamazula, Jalisco México, Aplicación del cálculo de Huella Hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica. A nivel nacional se cuenta con un estudio realizado en el año 2014 denominado Huella Hídrica del cultivo de caña de azúcar El Salvador.

Para estimar las cantidades de agua que demanda un cultivo, es necesario realizar una contabilidad detallada de las entradas y las salidas de agua, además de conocer las necesidades del cultivo. Básicamente las entradas son el agua lluvia y la aportada por riego si poseen. Las salidas son el agua absorbida, la transpirada, la que se evapora del suelo y la que se va a las corrientes. Entre los resultados de la investigación está que la Huella Hídrica para la Cooperativa San Isidro Atáisi son 2989 m<sup>3</sup>/qq de café oro y para la Cooperativa los pinos 4489 m<sup>3</sup>/qq de café oro.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importancia del agua

#### 2.1.1 Importancia del agua en el mundo

El agua es esencial para la vida. Pero para muchos millones de personas en todo el mundo es un recurso escaso; por eso luchan diariamente para conseguir agua apta para el consumo y para atender a sus necesidades básicas (ONU 2005).

Según Paredes (s.f). La sociedad recurre al agua para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. El agua es un elemento importante a la hora de decidir dónde establecerse y cómo utilizar los terrenos. El bienestar de la población exige no solo un agua potable limpia para beber y para la preparación de alimentos, sino también para la higiene y el saneamiento (Paredes s.f.).

Es esencial para los ecosistemas naturales y la regulación del clima. Aunque el total presente en el planeta permanece relativamente constante en el tiempo, su disponibilidad resulta particularmente vulnerable al cambio climático. Los científicos advierten que en el siglo XXII podría reducirse el acceso a un agua potable segura, al fundirse los glaciares y hacerse más frecuente la sequía en zonas como el mediterráneo, este hecho hará que disminuya, a su vez, el agua disponible para riego y producción de alimentos (CE 2003).

#### 2.1.2 Importancia del agua en la agricultura

La actividad agrícola usa alrededor del 69% de toda el agua consumida en el planeta y se calcula que, en los próximos años, debido al aumento poblacional y los patrones de consumo la cantidad de agua necesaria para producir los alimentos, fibras y biocombustibles requeridos por la población, incrementen el uso hasta en un 55%. El indicador de Huella Hídrica en la agricultura puede permitir establecer políticas y acciones concretas para ahorrar agua en el sector que mayor requerimiento del recurso tiene (Feijoo 2005).

El uso de agua en el cultivo del café, es un factor muy importante que tiene un efecto significativo en la floración y, por lo tanto, en la producción y su época de maduración. Se ha determinado que dependiendo de la época de maduración (temprana, media o tarde) se presentan diferencias importantes en el tamaño y calidad del grano. Así como en su acidez,

aroma y cuerpo del café en la taza. La precipitación anual entre 1600 y 1800 mm es ideal para el cafeto y mínimo de 1000 mm (Alvarado 1994).

## 2.2 Concepto Huella Hídrica (HH)

La HH es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. De esta forma se llegan a establecer tres componentes que constituyen la Huella Hídrica de un producto, estos son la Huella Hídrica verde (Hv), la Huella Hídrica azul (Ha) y la Huella Hídrica gris (Hg) (Camarero *et al.* F. 2011).

La Huella Hídrica de un producto siempre se expresa como volumen de agua por unidad de producto. Ejemplos:

- ✓ Volumen de agua por unidad de masa (para productos donde el peso es buen indicador de cantidad).
- ✓ Volumen de agua por unidad de dinero (para productos donde el valor dice más de peso).
- ✓ Volumen de agua por pieza (para los productos que se cuentan por pieza en lugar de peso).
- ✓ Volumen de agua por unidad de energía (por kcal para productos alimenticios, o por joule para electricidad o combustibles).
- ✓ La Huella Hídrica de un consumidor o empresa se expresa como agua en volumen por unidad de tiempo.
- ✓ Se puede expresar como el volumen de agua por moneda unidad cuando la Huella Hídrica por unidad de tiempo se divide por los ingresos (para consumidores) o facturación (para empresas).
- ✓ La Huella Hídrica de una comunidad de consumidores se puede expresar en términos de volumen de agua por unidad de tiempo per cápita.
- ✓ La Huella Hídrica dentro de un área geográficamente delimitada se expresa como volumen de agua por unidad de tiempo. Se puede expresar en términos de agua volumen por unidad monetaria cuando se divide sobre el ingreso en el área.

Los estudios de la Huella Hídrica pueden tener diversos propósitos y aplicarse en diferentes contextos. Cada objetivo requiere su propio ámbito de análisis y permitirá diferentes opciones al hacer suposiciones. Se puede evaluar la Huella Hídrica de diferentes entidades, por lo que es más importante comenzar a especificar en qué Huella uno está interesado, por ejemplo (cuadro 1), en:

### Cuadro 1 Aplicaciones de Huella Hídrica

<b>Aplicaciones de Huella Hídrica</b>
Huella Hídrica de un paso del proceso
Huella Hídrica de un producto
Huella Hídrica de un consumidor
Huella Hídrica de un grupo de consumidores
Huella Hídrica de los consumidores en una nación
Huella Hídrica de los consumidores en un municipio, provincia u otra administración unidad
Huella Hídrica de los consumidores en un área de captación o cuenca hidrográfica
Huella Hídrica dentro de un área geográficamente delineada
Huella Hídrica dentro de un municipio, provincia u otra unidad
Huella Hídrica dentro de un área de captación o cuenca hidrográfica
Huella Hídrica de una empresa
Huella Hídrica de un sector empresarial
Huella Hídrica de la humanidad como un todo

Fuente (Aldaya 2004).

#### 2.2.1 Utilidad de la HH

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.
- ✓ Participación en políticas locales y nacionales de sostenibilidad ambiental y productiva (Aldaya 2004).

#### 2.2.2 Huella Hídrica verde (Hv)

Según Wáter Footprint (2013) no se debe confundir el concepto de Hv con el concepto de agua Verde. Agua verde se refiere a la parte de la precipitación (precipitación efectiva) que se almacena en el suelo o que temporalmente se queda en la parte superior del suelo o la vegetación. Con el tiempo, esta se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento del cultivo, pero no toda puede ser absorbida

por los cultivos, siempre existirá la evaporación del suelo y porque no todas las épocas del año o áreas son adecuadas para el crecimiento de los cultivos.

La Huella Hídrica verde es el volumen de agua de lluvia (precipitación efectiva), que se utiliza en la industria o en la agricultura durante el proceso de producción

$H_v = \text{agua verde evaporada} + \text{agua verde incorporada al producto (Volumen/tiempo)}$ .

Descripción:

$H_v =$  La  $H_v$  en una etapa del proceso

### 2.2.3 Huella Hídrica azul ( $H_a$ )

La Huella Hídrica azul es un indicador que se refiere al consumo de aguas superficiales (como por ejemplo ríos, lagos) y aguas subterráneas (Agua azul). Por otro lado, el agua azul es el agua de escorrentía, de las fuentes de agua superficial, ríos y lagos, y fuentes de agua subterránea, acuíferos está referida a los cuatro casos siguientes:

- El agua evaporada (ya sea directamente o a través de la transpiración de los cultivos) y corresponde al concepto agronómico de evapotranspiración.
- El agua incorporada en el producto.
- El agua que no vuelve a la misma cuenca hidrográfica, por ejemplo, se entrega a otra cuenca o al mar.
- El agua que no vuelve en el mismo periodo, por ejemplo, se retira en un período de escasez y regresa en uno húmedo.

En el primer caso, la evaporación, es el más significativo y de interés en la producción agrícola. Por lo tanto, a menudo se verá que el uso consuntivo se equipara a la evaporación, pero los otros tres casos deben ser incluidos, cuando sea pertinente. El término "Uso consuntivo de agua" no significa que el agua desaparece, porque la mayoría del agua en la tierra se mantiene dentro del ciclo y vuelve siempre en alguna parte (Network 2008).

La magnitud de la Huella Hídrica azul en una etapa del proceso ( $H_a \text{ proc}$ ) se calcula como:

$H_a = \text{agua azul evaporada} + \text{agua azul incorporada} + \text{agua no devuelta a los cauces. (Volumen/tiempo)}$

Cuando se mencione que el agua no vuelve en el mismo periodo se refiere a la parte del flujo de retorno que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca

hidrográfica en el mismo periodo de retiro, ya sea porque retorno a otra cuenca hidrográfica dado de alta en el mar, o porque se devuelve en otro período de tiempo. El consumo de agua azul en la agricultura se basa en los modelos que estiman las necesidades de agua de riego, y en información sobre su uso y oportunidad de riego (INIA 2013)

La distinción entre la Huella Hídrica azul y verde es importante porque los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, así como los costos de oportunidad económica del uso de aguas superficiales y subterráneas para la producción, difieren distintivamente de los impactos y costos del uso del agua de lluvia

El consumo de agua verde en la agricultura se puede medir o estimar con un conjunto de fórmulas empíricas o con un modelo de cultivo adecuado para estimar la evapotranspiración en base a los datos de entrada sobre el clima, el suelo y las características del cultivo.

#### **2.2.4 La Huella Hídrica Gris (Hg)**

Hg es un indicador del grado de contaminación del agua dulce, asociado con el proceso de producción.

El agua gris se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de los contaminantes provenientes del proceso productivo, en relación a las normas ambientales de calidad del agua respectiva de cada país. Se calcula como el volumen de agua que se necesita para diluir los contaminantes y llevar el agua hasta los estándares de calidad de agua acordados (AEC 2010).

La Hg se divide en dos Huella Hídrica gris puntual que corresponde con los efluentes de depuradoras y los retornos de regadíos tradicionales, y la Huella Hídrica gris difusa se refiere a la contaminación difusa se proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (Velásquez y Jaramillo 2009).

La Huella Hídrica gris puntual se calcula dividiendo la diferencia de los productos de flujo del efluente ( $Efl$  v/t) y concentración del contaminante del efluente ( $C_{efl}$  m/v) y el flujo del afluente ( $Afl$  v/t) y la concentración real del agua de entrada ( $C_{act}$  m/v) entre la diferencia de la concentración máxima permitida ( $C_{max}$  m/v) menos la concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor  $C_{nat}$  (m/v).

$$H_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times C_{efl} - Afl \times C_{act}}{C_{max} - C_{nat}}$$

La Huella Hídrica gris difusa se calcula dividiendo la carga contaminante (L, masa / tiempo) por la diferencia entre el estándar de calidad de agua de este contaminante ( $C_{\max}$  la concentración máxima aceptable, en masa / volumen) y su concentración natural en la recepción de agua en el cuerpo ( $C_{\text{nat}}$ , en masa / volumen) (AEC 2010).

$$\text{Hg proc.} = L / (C_{\max} - C_{\text{nat}})$$

L= Carga contaminante

$C_{\max}$ = Concentración máxima aceptable

$C_{\text{nat}}$ = Concentración natural

### 2.2.5 ClimWat y CropWat para Huella Hídrica

ClimWat es una base de datos climáticas para ser utilizada en conjunto con el programa de computadora CropWat y permite el cálculo de las necesidades de agua de cultivo, el suministro de riego y la programación de riego para diversos cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo. ClimWat 2.0 para CropWat es una publicación conjunta de la Unidad de Desarrollo y Gestión del Agua y la Unidad de Cambio Climático y Bioenergía de la FAO. ClimWat 2.0 ofrece datos agroclimáticos de más de 5000 estaciones en todo el mundo toda la información de la estación se extrae de la base de datos de The Agromet Group of FAO (FAO 2002).

### 2.3 Ejemplos de estudios de Huella Hídrica

Evaluación de la Huella Hídrica para la producción de bioetanol en Tamazula, Jalisco México 2012, el propósito de la investigación fue estimar la Huella Hídrica y la evapotranspiración de un cultivo. A partir de la estimación de la demanda total para riego, así como la demanda total de agua para Tamazula. Los resultados obtenidos la Huella Hídrica es de 99.8 m<sup>3</sup>/ton para la producción de etanol en la región en el año 2010 (UFPR 2014).

Aplicación del cálculo de Huella Hídrica para regiones de cultivos de café, banano y arroz en Costa Rica, el estudio desarrollado evaluó la Huella Hídrica en el primer “eslabón” de la cadena de valor, es decir la producción, obviando la industrialización, el acopio, la distribución y comercialización, así como otros procesos pos cosecha y de procesamiento de alimentos. En los resultados obtenidos, los cultivos evaluados: banano, café, arroz anegado y arroz desecano presentan Huellas Hídricas de: 1762.50 m<sup>3</sup>/ton; 2056.61 m<sup>3</sup>/ton; 2096.27 m<sup>3</sup>/ton y 2785.96 m<sup>3</sup>/ton respectivamente. De la Huella Hídrica gris representa para

el cultivo de café un 21,88 % siempre menor y poco significativa frente al resto de las Huellas (Golcher 2013).

Evaluación de Huella Hídrica verde como una herramienta para la crisis del café en Brasil, describe la situación crítica que los productores de café están enfrentando en Brasil en estos momentos durante una sequía prolongada debido al cambio climático. Obteniendo como resultado un valor de Huella Hídrica de 10,369 m<sup>3</sup>/ha. Recomendando así diversificar productos considerando la plantación de bananas, porque se obtiene mayor producción por volumen de agua consumida y precio más alto por hectárea. (Mekonnen y Hoekstra 2011).

Huella Hídrica del cultivo de caña de azúcar El Salvador 2014, se valorizo de la Huella Hídrica azul, verde y gris del cultivo de caña de azúcar en el periodo de un año desde su siembra hasta su respectiva cosecha en El Salvador. La Huella Hídrica verde es la que más contribuye al valor total de la Huella Hídrica, representando 128 m<sup>3</sup>/ton del consumo de agua por este cultivo. Por otro lado, la Huella Hídrica gris es la que menos contribuye al valor total de la Huella Hídrica, representando 4 m<sup>3</sup>/ton. La Huella Hídrica azul representa 71 m<sup>3</sup>/ton, la estimación de Huella Hídrica para el cultivo de caña de azúcar, se encuentra muy cercana al valor reportado por otros autores como Huella Hídrica promedio mundial para el mismo cultivo (Renderos 2014).

#### **2.4 ISO 14046: Huella Hídrica**

Esta es la norma internacional que especifica los principios, requisitos y guía para la evaluación y generación de informes sobre la Huella Hídrica. Se aplica a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida. La norma ISO 14046 tiene un impacto práctico importante convirtiéndose en el principal referente internacional para evaluaciones y comunicaciones de Huella Hídrica. ISO 14046 es claramente una herramienta útil para las organizaciones interesadas en la comprensión de los impactos ambientales relacionados con el agua, especialmente para propósitos internos. Va a permitir mejorar la gestión de los riesgos del agua frente a su escasez como recurso, así como mejorar la reputación social y ambiental de la empresa. Se espera que su aplicación siga un camino similar al de la primera norma ISO de gestión medioambiental, la ISO 14001 (sistemas de gestión ambiental), actualmente utilizado por más de 300,000 organizaciones alrededor del mundo. La actual integración de la Huella Hídrica en la gestión de los productos de empresas como Coca-Cola, Heineken, Leviis, L'Oreal o Unilever (entre otras) es una muestra de ello. Finalmente, la norma aporta una armonización consensuada a nivel mundial de conceptos, principios y metodologías, siempre con una base científica,

hecho que anima la transparencia de las organizaciones y la preparación de memorias de sostenibilidad. (CONAMA 2014).

## **2.5 El café en el mundo**

El café es la segunda mercancía comercializada en el mundo, tras el petróleo. Se estima en 125 millones el número de personas que vive del cultivo del café, incluyendo 25 millones de pequeños productores. Cada año se beben 400,000 millones de tazas de café. Por tanto, en juego hay muchos intereses económicos y sociales extremadamente importantes para los gobiernos y la sociedad en general (SIB 2011).

### **2.5.1 Datos económicos del café**

La producción mundial es superior a 100 millones de bolsas desde hace varios años (120 millones en 2012, 102 millones en 2013). De esta producción, se exportan más de 80 millones de bolsas cada año (88 millones en 2002, 84 millones en 2003). El mayor productor es, con mucha diferencia, Brasil, especialmente el estado de São Paulo donde se sitúa el primer puerto cafetero del mundo: el puerto de Santos, seguido por Colombia y Vietnam el productor más importante de variedad robusta (Casals *et al.* 2009).

### **2.5.2 Situación actual del café en El Salvador**

Según el Consejo Salvadoreño Nacional de Café (2013), el cultivo del café en El Salvador se ha mantenido apegado a sus valores e históricas tradiciones de producción y procesamiento, así como a la adopción de normas, técnicas y tecnologías que lo orienten a obtener una mayor calidad en su producto. Para nuestro país, el café continúa siendo una actividad de importancia estratégica para la sostenibilidad económica, social y ambiental

La producción de café en qq uva para el año 1999-2000 fue de 3,712,600.00 para el año 2002-2003 1,963,400.00 luego para el año 2015-2016 fue de 784,740.00 viéndose la producción afectada por el paso de los años, por diferentes enfermedades principalmente la roya.

#### **2.5.2.1 La roya**

La roya es una enfermedad del café ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix*. Ataca principalmente las plantaciones de las variedades derivadas de Typica y Bourbon, entre ellas Caturra, Catuaí, Pache, y otras susceptibles establecidas en la región. En América Central, la roya empezó a aparecer desde el año 1976, siendo la mayor afectación en el 2012. Afecta hojas maduras, y cuando el ataque es severo puede también infectar hojas jóvenes, provocando una intensa caída de hojas y pérdidas en la producción. Esta

enfermedad está relacionada con un manejo deficiente del cultivo, principalmente la falta de fertilización, uso inadecuado de fungicidas, variabilidad climática, y plantaciones envejecidas, entre otros factores que debilitan la planta, haciéndola más susceptible a ataques severos.

El aumento en la incidencia de la roya de café en la temporada 2012/2013, además de la caída en los precios internacionales de café desde 2011 hasta finales del 2013 que desincentivó la producción, contribuyeron a una merma en la producción de café en Centroamérica. En El Salvador, el país más afectado, la producción disminuyó en un 70 por ciento entre las cosechas 2010/2011 y 2013/2014. En Honduras, país que había llegado a su producción más alta en la historia en 2011/2012, la producción de café disminuyó en un 23 por ciento hacia 2012/2013. Guatemala experimentó una disminución de 18 por ciento entre 2011/2012 y 2013/2014, y Nicaragua, el país menos afectado en términos de producción global, experimentó una disminución de 11 por ciento entre 2011/2012 y 2013/2014.

Por ello aun la producción de café en El salvador sigue siendo afectada ya que gran parte de las plantaciones fueron destruidas y actualmente se están renovando con cafetos resistentes a la roya (FEWS NET 2016).

### **2.5.3 Importancia socioeconómica del café para el Salvador**

El café bajo 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. Durante muchos años el café ha contribuido para que las poblaciones rurales posean una infraestructura más adecuada para vivir, como carreteras, escuelas, acceso a servicios básicos, entre otras (Anner 2008).

En el año 2012 el café representó el 1.2% del PIB y el 10.0% del PIB Agropecuario. Debido a que las cuentas nacionales no incluyen a la actividad agroindustrial dentro del PIB agropecuario, las cifras señaladas no reflejan el verdadero impacto. En un estudio se determinó que el PIB del sector agropecuario aumentó de 13.3% a 22.8% al ajustarlo por su aporte agroindustrial (BCR 2014).

De acuerdo a cifras preliminares del Consejo Salvadoreño del Café en el año 2015 la producción fue de 784,740.00 en qq oro uva y las exportaciones de café del país tuvieron un alza por octavo mes consecutivo a julio 2015; durante el mes se registró un volumen

exportado de 40,151 quintales, un aumento del 39% respecto a julio 2014, con un total de ingresos de US\$8.42 millones, un 29% de incremento, y un precio promedio de \$209.75 el quintal. Los principales destinos del café exportado fueron Estados Unidos con el 47.3%, Japón con el 12.5% y Alemania con el 10.4%. Otros 34 países complementan los destinos. Para el año 2016/2017 la producción fue de 835,010.00 en qq oro uva lo que represento un leve aumento (CSC 2013).

## **2.6 Importancia hidrológica**

El bosque tropical cafetalero tiene importancia hidrológica, además de ser fuente de energía, generar servicios ambientales y conservar 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. El bosque cafetalero provee el 44% de la demanda total de leña de las poblaciones rurales. Además, una hectárea de café bajo sombra puede mantener una reserva de 200 toneladas de carbono y la tasa neta de fijación de bióxido de carbono es de 126 kg diarios (Cisneros 2006).

Según PROCAFE (2009), el bosque cafetalero contribuye a la regulación del ciclo hidrológico del agua, favorece la cantidad y distribución de las precipitaciones, alimentación de fuentes de agua superficiales como ríos, lagos y represas hidroeléctricas, y en el caso de los mantos acuíferos los enriquece cada 60 minutos con 500 metros cúbicos de agua, aspecto que es clave para el abastecimiento de agua para el consumo humano, así como para el desarrollo de la agricultura y de la industria en general.

El manejo del café bajo sombra, con especies mejoradas en casi 165,000 ha (231,751 manzanas), ha permitido a El Salvador mantener una abundante biodiversidad en flora y fauna. En las zonas de bosque cafetalero se albergan aproximadamente 139 especies de árboles nativos, 150 especies de aves estacionales y migratorias (dos de estas amenazadas y 24 vulnerables a nivel mundial), en cada estudio nuevo es frecuente el descubrimiento de 40 especies de pequeños mamíferos y unas 105 especies de reptiles, batracios y quelonios, entre otros, los cuales han sido preservados de la extinción, gracias a las masas de cultivos permanentes en las zonas de cafetal.

El endeudamiento financiero de los productores limita las labores básicas para la producción del café, lo que a su vez ha causado la disminución del parque cafetalero. Surge, además, la amenaza de un problema de mayor peligro: la posible desaparición de los

bosques primarios, fundamentales para el equilibrio del ecosistema. Ello podría afectar el sostenimiento de las zonas de amortiguamiento, vitales para proteger los santuarios de flora y fauna (Castro *et al* 2004).

## **2.7 Variedades de Café Producidas**

El Salvador produce solamente café de la especie arábica. Las principales variedades encontradas son Bourbon, que comprende el 68% del área total de café cultivada en el país, Pacas (variedad salvadoreña proveniente de una mutación natural del Bourbon) que representa el 29% y el restante 3% incluye Pacamara (híbrido salvadoreño resultante del cruce entre Pacas y Maragogipe, con excelentes propiedades de taza) y otras variedades en mucha menor cuantía como Caturra, Catuai y Catisic (Pelupessy 2003).

## **2.8 Producción y procesamiento del café**

**Altitud:** Incide en forma directa sobre los factores de temperatura y precipitación. La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta (ICAFE 2011).

**Temperatura:** La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes (Campos 2010).

**Siembra:** La siembra debe hacer al establecerse formalmente las lluvias y por consiguiente, cuando exista humedad suficiente en el suelo (de mayo a julio, según la región) la germinación ocurre después de 45-50 días, y se le llaman fósforos, 15 días después empiezan a salir las primeras hojas, del almacigo se trasplantan en bolsas negras y pasan a la etapa de vivero que consiste en una estructura que protege a los futuros árboles del sol y la lluvia. Entre 150-180 días, los árboles se trasplantan al campo (Carvajal 2007).

**Ahoyado:** Las dimensiones del hueco para establecer la plantación pueden variar según el tipo del suelo, sin embargo, la profundidad de 25-30 cm por 20 cm de ancho se considera apropiada para la planta de café. (ICAFE 2011).

**Sombra:** Conviene establecer la sombra simultáneamente con la siembra del café, en la misma hilera de siembra de cultivo ya que regula el microclima, el cafeto es una planta

sensible a los cambios bruscos de temperatura. Reduce la radiación, mejora el balance hídrico y aumenta la humedad relativa dentro del cafetal. (Valencia 1998).

**Uso de cobertura muerta (mulch):** Esta práctica permite aprovechar los residuos de cosechas, de hierbas y cualquier material disponible, los cuales se aplican sobre el suelo, entre las hileras de café durante el invierno y en toda la superficie durante el verano. Tiene como finalidad proteger el suelo de la irradiación solar y del impacto directo de la lluvia. (Valencia 1998).

**Poda alta o descope:** El objetivo es estimular el crecimiento plagiotrópico y ortotrópico y conviene hacerla previo a la recepa. Consiste en suspender el desarrollo ortotrópico del cafeto realizando el corte en el eje principal a una altura de un metro del suelo, para variedades de porte bajo, y para una variedad de porte alto el corte sería a 1.20 metros. La planta deberá tener en el estrato bajo suficientes ramas laterales (bandolas) (Ramírez 2003).

**Riego:** Existen tres métodos principales para regar el café: Inundación (surcos), aspersión y por goteo. La inundación por el método más popular en Vietnam como es sencilla y barata. Aplicando este método, una cantidad concreta y uniforme de agua (200-600 l/árbol/riego) es suministrado al cafeto. El caficultor solo necesita una bomba y una tubería para poder regar un árbol a la vez. (Marín 2005).

### **Fertilización en café**

Nitrógeno: Participa en el desarrollo vegetativo de las plantas y les da el color verde. Es parte de la Clorofila.

Fosforo: Proporciona buen desarrollo de raíces y en consecuencia mayor anclaje a la planta. Le da mayor peso y calidad al fruto.

Potasio: Endurece la madera de tallos y ramas, por lo tanto, ofrece resistencia a la planta al ataque de enfermedades. Ayuda a la calidad del fruto, sabor y fragancia de la taza. (ANACAFE s.f.)

**Cantidad de Fertilizante:** La cantidad de fertilizante a usar, depende de los siguientes aspectos:

Edad de la plantación

Cantidad de tejido productivo

Manejo de sombra (a menos sombra más fertilizante)

Densidad de siembra

Las cantidades de fertilizante usadas varían de cuatro a ocho quintales por manzana, por aplicación, dependiendo de varios factores, especialmente de la productividad del cafetal. Por ejemplo, en una plantación a 2 x 1 metros de distanciamiento, se obtiene una densidad de 3,500 cafetos por manzana (cuadro 2); entonces las dosis son de dos a cuatro onzas por cafeto, por aplicación. Cuando el fósforo y el potasio están en concentraciones altas en el suelo, se aplica la mitad de la dosis de potasio con fines de mantenimiento y la fuente nitrogenada. Cuando la cal dolomítica se recomienda sólo como fertilizante (fuente de calcio y magnesio como nutrientes), se aplican de tres a cinco onzas por cafeto adulto. (CENICAFE 2006).

**Cuadro 2 Cantidad de nutrientes y fertilizante según nivel de sombra y densidad de siembra**

Nivel de sombra	Densidad de plantas o ejes por hectárea		
	Mayor de 7500	Entre 5000 y 7500	Menor de 5000
Menor de 35	%100	%95	%85
Entre 35 y 45		%85	%75
Entre 45 y 55			%50

Fuente: CENICAFE s.f.

Época de aplicación: está relacionada con las lluvias y curva de crecimiento del cafeto. Lo recomendable es realizar tres fertilizaciones en las épocas siguientes: Las dos primeras realizarlas con fórmula completa, y la tercera con fuente de Nitrógeno (Úrea, Sulfato de Amonio) (Zamora 1998).

1. Mayo o junio
2. Agosto o septiembre
3. Octubre o noviembre

**1ª Floración:** Entre los primeros 540-600 días (1 año 8 meses) se da la primera floración, y 240-270 días (9 meses) más tarde se da el primer fruto maduro.

El uso de insecticidas y agroquímicos de alta toxicidad o cuando se hacen aspersiones exageradas o muy frecuentes puede afectar la calidad de la cosecha (CENICAFE 2006).

### **2.8.1 Técnicas empleadas en el beneficiado**

Según El Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia (1991), en la actualidad existen dos técnicas básicas para beneficiar café con características distintas: beneficiado húmedo tradicional y beneficiado ecológico.

#### **2.8.1.1 Beneficiado Húmedo de café**

Técnicamente consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. Es una transformación primaria del grano (figura A- 1 )

Los principales usos del agua en el beneficiado del café son:

- a) Transporte hacia los pulperos
- b) Transporte de la pulpa hacia fuera del beneficio
- c) Transporte de los granos hacia las pilas de fermentación
- d) Lavado del café fermentado
- e) Otras operaciones como separación de los flotes, separación de piedras, clasificación hidráulica de los granos y funcionamiento de calderas.

Aproximadamente un 30% del agua utilizada en un día se emplea en despulpar el fruto y en transportarlo. El 70% restante se emplea en el lavado del café fermentado (agua de lavado), y resulta cargado de las sustancias provenientes de la degradación de la pectina, principalmente el mucílago. El uso del agua implica su recirculación hasta que alcanza cierta proporción de sólidos cuando se diluye con agua limpia desechando así su volumen equivalente. Estas partes de las aguas de desecho se denominan aguas mieles, y presentan un color pardo rojizo y contiene la mayor parte de las sustancias solubles de la pulpa y el mucílago. Las etapas del beneficiado húmedo de café son.

#### **Recolección del fruto**

En esta primera etapa del proceso, es importante recolectar únicamente los frutos que estén completamente maduros. Cortar y mezclar frutos verdes, semimaduros, sobremaduros, brocados, secos, enfermos, etc. dificulta el proceso de beneficiado y alteran la calidad del producto final. Además, pueden afectar los rendimientos

### **Clasificación del fruto**

Las plantaciones de café son afectadas por plagas y enfermedades, que generan frutos de menor calidad (flotes y vanos), por lo que se debe clasificar el fruto en sifones de paso continuo de un metro cúbico de capacidad y sistemas de cribado para flotes. También separan piedras y basuras que pueden provocar deterioro a la maquinaria de despulpado, se deben limpiar diariamente para evitar granos rezagados, que podrían dañar la partida del día siguiente (vasyssiére 2007).

### **Despulpe de café**

Luego del recibimiento, la café uva es almacenado en pilas o tanques donde permanece toda una noche y comienza a ser procesado en la mañana del día siguiente. Dicho café, tiene ya de 14 a 20 horas de haber sido colectado. Esta operación lleva como propósito, la remoción de las partículas blandas del grano de café maduro, que son la pulpa y cierta parte del mucílago, para lo cual requiere el empleo de agua como conductor mecánico de estas partes. Esta operación requiere el empleo de máquinas, llamadas pulperos; existiendo las llamadas de repaso en donde la remoción de la pulpa es total. La pulpa es el desecho que potencialmente causa más contaminación, por su alto contenido orgánico, pero con un buen tratamiento tienen usos como fertilizante, obtención de biogás etc. Cuando la pulpa se almacena en sitios abiertos, permite el desarrollo de moscas y otros insectos. La razón más importante para extraer la pulpa de los desechos es para reducir la posibilidad de serios problemas de contaminación en los cuerpos receptores (Quintero 2006).

### **Clasificación del café en pergamino**

El café despulpado se clasifica, y para ello, se utilizan cribas giratorias, zarandas con vaivén o pilas con agua limpia que separe las natas o espumas. Con esta práctica se separan los granos vanos de los buenos (Quintero 2006).

### **Lavado**

El lavado del café tiene como objetivo principal separar el mucílago del grano, lo cual debe de hacerse cuando está en su punto óptimo de fermentación. El lavado del café, debe de realizarse en la pila de fermentación, donde se agita con una paleta hasta que quede libre de mucílago y a la vez, se aprovecha para eliminar los restos de pulpa y pergamino flotante (vano) (Pineda *et al* 2011).

## **Secado**

El secado del café hace parte de una de las etapas del proceso de beneficio y se realiza con el fin de reducir la humedad del grano, evitar su descomposición y facilitar su comercialización y transformación agroindustrial. Puede realizarse utilizando la energía solar o la producida por medios mecánicos (convección forzada), siendo el secado al sol el método normalmente empleado en fincas pequeñas o de baja producción (Puerta 2008).

## **Almacenamiento**

Las metas del almacenamiento del café son mantener y retener el valor comercial del producto. Además, busca preservar la integridad del grano por el tiempo más largo posible sin afectar de forma severa su calidad original. Algunas consideraciones que debemos tener al respecto son: La humedad promedio para almacenar el café es entre 10 a 12% en grano oro, Se debe de mantener una temperatura ambiente de 26 grados centígrados ya que la semilla de café es un organismo vivo con una actividad fisiológica constante dentro del grano, que la seguridad del producto o alimento puede desarrollar sustancias tóxicas que pueden ser dañinas a la salud humana (ocratoxinas) y que la duración del almacenamiento tiene impacto en la calidad del café (Monroig 2007).

### **2.8.1.2 Beneficiado ecológico**

Según Lema (1998), la tecnología del beneficio ecológico del café, fue desarrollada en Colombia, hace cerca de una década, esta soportada fundamentalmente en la eliminación del uso del agua en el despulpado y como medio de transporte de café y de pulpa. Racionaliza igualmente el uso del agua en el proceso de lavado y la utilización óptima de los subproductos (pulpa y mucílago), utilizando equipos básicos, la despulpadora cónica vertical de café que trabaja sin agua y un desmucilagador vertical ascendente de café (DELVA), que lava café con un mínimo de agua, auxiliados por sistemas mecánicos de transporte de café y subproductos (tornillos sin fin).

Todos los anteriores componentes han sido colocados en una estructura metálica modular y dispuesta en forma armónica, con un diseño que permite procesar volúmenes de café determinados en forma continua. Esta agrupación tiene el nombre UCBE (Unidad Compacta de Beneficio Ecológico) (Arango 2003).

Es posible tener un beneficiado ecológico que reduzca un 72% de la contaminación, si se despulpa sin agua y se transporta la pulpa por gravedad o por medios mecánicos. Para que

la labor de despulpado se haga en una forma eficiente. En este sistema, se exponen los granos de café cerezas recolectados a la acción del sol, durante varios días, hasta que se seca (bola seca). Luego el café a preparar, se deposita en una tolva que alimenta a las zarandas de limpieza previa, para la separación de tierra, piedras, palos, metales, etc.

El morteo elimina la cascarilla o pergamino del café, por fricción o desgarramiento. La capacidad de morteo define la capacidad del beneficio seco en qq/hr. Que se realiza en máquinas diseñadas para este fin.

Después el café es pulido en otras máquinas para quitarle la película plateada. Inmediatamente después procede la clasificación por tamaño, forma y densidad, a partir de aire y vibración, así como una clasificación por color, a partir de equipos electrónicos en la mayoría de los casos, para así enviar a exportación la calidad que cada mercado exige (figura A-2). El café oro, se envasa en sacos de yute, para almacenarse acomodados en estibas, montados en tarimas de madera. Los almacenes mantienen una humedad relativa del 55 al 60 por ciento, a temperaturas de entre 22 y 30 grados centígrados (Arango 2003). (cuadro 3).

**Cuadro 3 Comparación de sistemas de beneficio húmedo de café en cuanto al proceso y otros parámetros**

<b>Beneficio tradicional</b>	<b>Beneficio ecológico</b>
Tolva húmeda	Tolva seca
Recibo de café con recirculación de agua	Despulpado con mínima cantidad de agua
Transporte de café cereza y pulpa con agua	Transporte por gravedad y mecánico (Tornillo sin fin)
Transporte del café despulpado en el canal de correteo con agua	Café despulpado es llevado directamente a la secadora o se puede orear en patios al sol
Fermentación en pilas con agua	No hay fermentación
Lavado con agua después de la fermentación	Lavado en la misma máquina con la DELVA (desmucilagadora vertical ascendente) que ya tiene incorporada
Se pueden presentar daños por sobre fermentación	No afecta la calidad organoléptica del café

Secado al sol en los patios o en secadoras especiales	Secado principalmente en secadoras especiales
Trillado y pulido	Trillado y pulido
Café oro	Café oro
Tiempo de beneficiado 48 horas en un proceso discontinuo	Tiempo de beneficiado 24 horas en proceso continuo ( uva a pergamino seco)
Mayor tiempo de secado	Disminución en tiempo de secado hasta en 15%
Relación 5:1 (uva a pergamino)	Relación 4,5:1 (uva a pergamino)
Requiere construcciones grandes y costosas	Requiere construcciones sencillas, de bajo costo
La pulpa tarda 4 meses en descomponerse	La pulpa tarda 2 meses en descomponerse

(Fuente: Lema, 1998).

## 2.9 Manejo de aguas residuales del beneficiado

Los beneficios de café en El Salvador han tratado de mitigar los impactos ambientales producidos por las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores, con sistemas que van de acuerdo a la disponibilidad de recursos económicos de cada beneficio, y muchos se encuentran con falta de sistemas de tratamiento, y adecuada disposición de aguas residuales muy pocos cuentan con un sistema o más de un tratamiento. Algunos disponen tanques sedimentadores como tratamientos, estos pueden ser: filtros biológicos, digestores de lodos, y patio de secado de lodo (Molina y Villatoro 2006).

Estos desechos son causantes de alteraciones en el medio ambiente, con repercusiones en la salud de las personas que habitan los sitios aledaños en donde son dispuestos, como proliferación de insectos, malos olores y mal aspecto paisajístico. Pero este problema no es específico de El Salvador, sino que es característico de los países en donde se utiliza el beneficiado húmedo para procesar café, con la diferencia en el grado de atención que se le presta a cada uno de ellos. Se considera que la contaminación por estos desechos se pudiera evitar en parte, si se les diera aplicaciones de uso como subproductos, y no tratarlos como algo que ya no se puede utilizar. Las características de los desechos varían de un beneficio a otro, así como también dependen del periodo en que se analicen. Los resultados son influidos en forma significativa por la cantidad de agua que se utiliza para el beneficiado total; lo cual sugiere que las alternativas de solución del problema deben adecuarse a las condiciones de cada beneficio.

## **2.10 Contaminantes típicos en las aguas residuales del beneficiado de café**

### **2.10.1 Propiedades Físicas**

#### **2.10.1.1 Sólidos Disueltos (SD)**

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor a 1.2  $\mu\text{m}$  (1.2 micras), tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación. En el tratamiento biológico de las aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16000 mg/l<sup>4</sup>. Los sólidos disueltos se miden en unidades de mg/l. (Gómez 2010).

#### **2.10.1.2 Sólidos Suspendedos Totales (SST)**

El contenido de sólidos del agua es uno de los parámetros más significativos. La cantidad, el tamaño y el tipo dependen del agua específica. Por ejemplo, un agua residual fecal no tratada puede tener materia de partícula orgánica, incluyendo trozos de comida en el rango de milímetros, mientras que un agua tratada puede tener partículas en el rango de 6 - 10  $\mu\text{m}$ . El contenido de sólidos en el agua afecta directamente la cantidad de lodos que se producen en el sistema de tratamiento para su disposición. Se consideran como sólidos totales suspendidos en un agua como al residuo de la evaporación y secado a 103 – 105°C de esta. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. También se mide en unidades de mg/l (Bárbara 2002).

#### **2.10.1.3 Sólidos Sedimentables (SSED)**

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en unidades de mg/l.

### **2.10.2 Propiedades Químicas**

#### **2.10.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>)**

La DBO<sub>5,20</sub>, es un estimativo de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables por una población heterogénea de microorganismos, es un parámetro no bien definido que ha sido utilizado por muchos años al asignar una demanda de oxígeno a las aguas residuales. Mide sin dificultad el carbono orgánico total biodegradable presente en las aguas. Existe un concepto muy importante que es la DBO<sub>5,20</sub>

que es la cantidad de oxígeno disuelto, consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando descomponen la materia orgánica a 20°C en un periodo de 5 días. Se mide generalmente en miligramos por litro (mg/lit) (Gerard 1999).

#### **2.10.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico. Este parámetro ha sido usado por más de un cuarto de siglo para estimar el contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales. Sin embargo, la correcta interpretación de los valores de DQO puede presentar problemas, por lo cual se debe entonces entender las variables que afectan los resultados de este parámetro. Generalmente, se podría esperar que la DBO<sub>5,20</sub> última del agua residual se aproximara a la DQO. Sin embargo, existen muchos factores que afectan estos resultados especialmente en desechos industriales complejos (Gerard 1999).

#### **2.10.2.3 Aceites y Grasas (A y G)**

El contenido de grasas y aceites en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos se debe considerar para su manipulación y tratamiento hasta la disposición final. Al aceite y la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras (Greenberg *et al.*1992).

#### **2.10.2.4 Características Típicas en las Aguas Residuales de los Beneficios de Café**

En El Salvador existe un gran número de beneficios húmedos de café, que originan gran cantidad de desechos sólidos (pulpa y pergamino) y de desechos líquidos (aguas de despulpe y aguas mieles), cuya disposición adecuada o no, ha sido siempre motivo de polémica entre los beneficiadores y las instituciones de gobierno como: el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) (cuadro 4).

La temporada de beneficiado coincide con la estación seca; es decir la época de caudales mínimos en los ríos, baja capacidad de dilución de los mismos y de mayor demanda de aguas para riego. Como resultado de todas las etapas de la fase húmeda; grandes

volúmenes de agua contaminada son vertidas a los ríos y quebradas por los beneficios de café, lo cual provoca altas contaminaciones y degradación del ambiente (Molino y Villatoro 2006).

**Cuadro 4 Algunas características típicas en las aguas residuales de los beneficios de café**

<b>Parámetro determinado</b>	<b>Aguas de despulpe del proceso</b>	<b>Agua de lavado de fermentación</b>	<b>agua de lavado mecánicamente</b>
DQO mg/l	1210-16200	8100-13200	15200-21100
DBO <sub>5,20</sub> mg/l	3450-9420	5300-7100	9520-12100
Solidos totales mg/l	6200-8600	4100-5200	7920-10300
Solidos volátiles	4620-6050	2980-4050	5300-7610
N-NH <sub>3</sub> mg/l	14-20	11-17	18-27
Fosforo total mg/l	20-25	13-19	21-30
Fenoles mg/l	18-55	ND	ND
pH	3.5-4.5	4.2-5.0	4.1-4.7

Fuente (Molino y Villatoro 2006).

## **2.11 Tipos de tratamientos para aguas residuales en Beneficiado húmedo**

### **2.11.1 Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA)**

El líquido que va a ser tratado se introduce por el fondo del reactor, donde fluye hacia arriba a través del manto de lodos compuesto de partículas biológicas densamente formadas. Los gases que se producen bajo condiciones anaerobias (en especial el metano y dióxido de carbono) sirven para mezclar los contenidos del reactor a medida que ascienden hacia la superficie. El gas que asciende ayuda a formar y a mantener los gránulos, mientras que el material, que se mantiene a flote gracias a los gases, choca contra los tabiques degasificadores y se deposita de nuevo sobre la zona en reposo de sedimentación arriba del manto de lodos (Gómez 2010).

### **2.11.2 Lodos Activados**

Los lodos activados es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado aireador, los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación secundario, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o de aeración. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica contenida en el agua residual de manera que ésta les

sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc) los cuales tienen doble función: producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle (Molina y Villatoro 2006).

### **2.11.3 Lagunas Anaerobias**

Son estanques relativamente profundos de 2 a 5 metros, en donde los procesos de estabilización se llevan a cabo en ausencia de oxígeno libre y sin actividad fotosintética. La estabilización se lleva a cabo mediante descomposición y conversión anaerobia y productos finales de bióxido de carbono, metano, ácido orgánico, gases y tejido celular. Se emplean como primera unidad del sistema en casos donde la disponibilidad del terreno es ilimitada o para el tratamiento de aguas residuales con elevada carga orgánica. (Gómez 2010).

### **2.11.4 Lagunas Aerobias**

Se conoce como lagunas de alta producción de biomasa; utilizan el oxígeno producido por medio de la fotosíntesis, para realizar la descomposición. Donde la energía de la luz es absorbida por los cloroplastos de las células; y el que se tomó en la interface agua - aire sirve para mantener el mismo nivel de oxígeno disuelto en toda su profundidad. Las lagunas aeróbicas son poco profundas cerca de 0.5 m a 1.0 m, los tiempos de retención son relativamente cortos (2 a 6 días). En el estanque aeróbico la estabilización de la materia orgánica es llevada a cabo por la acción de las bacterias aeróbicas, con producción de protoplasma bacteriano, bióxido de carbono y agua como productos finales, las algas producidas toman el bióxido de carbono, el agua y los minerales inorgánicos lo emplean en la construcción de su protoplasma, eliminando a su vez oxígeno, el cual mantiene en equilibrio la aerobiosis del estanque (Molina y Villatoro 2006).

### **2.11.5 Patios de Secado de Lodos**

El método más común para secar lodos en sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales es el secado del lodo con aire en lechos de arena. Los lechos de secado de lodo son fáciles de manejar. Producen un alto contenido de sólidos, son de bajo costo y requieren un mínimo de atención en su operación. Los tipos de lechos de secado son: Arena Pavimento Medio artificial Con ayuda de vacío (Molina y Villatoro 2006).

## **2.12 Norma salvadoreña obligatoria NSO 13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales: Descargadas a un Cuerpo Receptor”**

Esta normativa se aplica en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales. Deberá observarse el cumplimiento de los

valores permisibles establecidos en esta norma, de forma que no se causen efectos negativos en el cuerpo receptor, tales como color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros (MARS 2010).

Aguas residuales de tipo especial: agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, están los valores específicos para Beneficiados de café (FUNDESYRAM. s.f.) (Cuadro A- 1).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del estudio**

El estudio se realizó en dos lugares, 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.

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.

## **3.2 Metodología de campo**

### **3.2.1 Factor suelo**

#### **3.2.1.1 Densidad aparente: Cilindro de volumen conocido**

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

#### **3.2.1.2 Infiltración: Cilindro infiltrómetro**

##### **Procedimiento**

- 1- Se Introdujo el cilindro en el suelo, verificando que penetrará de 10 a 20 cm., esto se consiguió golpeando fuertemente los bordes del cilindro con un trozo de madera o con el martillo.
- 2- Se colocó el flotador con su soporte y el plástico en el fondo del anillo, para evitar que se alteren las condiciones del suelo al echar el agua
- 3- Se vertió agua al cilindro, de manera que quedará completamente lleno sin derramarse, evitando que el flotador quede presionado, luego se retiró lentamente el plástico
- 4- Se preparó el formulario de registro, 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)
- 5- Posteriormente se iniciaron las lecturas del nivel del agua dentro del cilindro, mediante la observación de la escala graduada
- 6- Se aplicó agua al cilindro periódicamente, y se anotó la lectura “antes” de llenar y “después” de llenar.
- 7- Se tuvo el estricto control de la hora que se llevó a cabo cada lectura, según lo anotando, la hora que se hizo cada lectura sin dejar que se vaciara el cilindro (figura A-3)

#### **3.2.2 Muestreo de suelo**

Se llevó a cabo un muestreo de suelos y se determinó por pruebas de laboratorio el tipo de suelo. De 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 (figura A-4).

### **3.2.2.1 Metodología para muestreo de suelo**

En cada punto de muestreo apoyándose de GPS se tomaron las coordenadas geográficas y posteriormente se ubicaron en el mapa (figura -5). 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 ATASI tres muestras ya que estas presentaban características 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 (Díaz y Hunter 2008).

### **3.2.3 Metodología de infiltración por permeámetro de Guelph**

Para el llenado del permeámetro se retiró el tapón presente en la parte superior de la tapa del reservorio, asegurándose que la válvula reguladora del flujo esté con su indicador hacia arriba para mantener conectados el reservorio interior y exterior.

Para la operación se utilizó una manguera que conecta el recipiente que contiene el agua y el permeámetro. Para rellenar se levantó el bidón directamente se aseguró que el punto para la salida del agua esté sellado mediante el tubo de aire inferior.

El equipo se instaló en el agujero de infiltración, bajando lentamente el permeámetro a través del trípode.

Para la recolección de datos se determinó la tasa de infiltración en el suelo y se utilizó el siguiente procedimiento: Se verifico la configuración del permeámetro, se levantó suavemente el tubo de aire superior hasta que el indicador de altura de agua en el pozo marcara la altura deseada. Ya que la velocidad de descenso del nivel de agua dentro del permeámetro fue muy lenta como para distinguir una diferencia de niveles en un intervalo de tiempo de 2 minutos aproximadamente, se condicionó el flujo para que saliera sólo a través del recipiente interior (menor diámetro). En seguida se inició la recolección de datos (figura A-6).

### **3.2.4 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.

### 3.3 Factor aguas residuales

#### 3.3.1 Metodología para muestreo de aguas residuales

Se organizaron y rotularon los recipientes (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  $DBO_{5,20}$  se utilizaron recipientes proporcionados por el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Agronómicas, para DQO y sólidos suspendidos totales botellas PET.

Cuando se llegó al punto de muestreo, 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 (figura A-7).

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

#### 3.4.1 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  $105^{\circ}C$  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 (Landaverde y Flores s.f).

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

#### 3.4.2 Capacidad de campo: Método de la olla de presión

Se basa 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 (figura A-8).

1. Se agregó agua en exceso a las muestras para saturarlas, esto se llevó alrededor de 5 horas.
2. Las muestras se colocaron en los anillos de hule sobre el plato de cerámica poroso. Haciendo muestras por triplicado para obtener resultados confiables.

3. Se introdujo a la olla de presión, y luego se tapó y se aplicó presión de 1/3 de atmósferas hasta que el agua dejó de escurrir por el drenaje del sistema, lo que normalmente sucede en 16 a 24 hrs.
4. Se quitó la presión y se obstruyó la salida de los tubos de cada plato para evitar movimientos de agua hacia las muestras.
5. Se colocaron las muestras de suelo en cajas de aluminio debidamente identificadas, para determinar el porcentaje de humedad por el método gravimétrico por medio del horno de convección realizándose en laboratorio (Calderón 2013).

#### **3.4.3 Punto de Marchitez Permanente: Método de la olla de presión**

La variación de este método para determinar el punto de marchitez permanente es que extrae el agua de las muestras a una presión de 15 atmósferas y determina el peso del agua posteriormente. El resto de la metodología permaneció constante (Calderón 2013).

#### **3.4.4 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.).

#### **Cálculo y análisis de los datos**

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

Descripción:

HP%CC= Humedad gravimétrica a capacidad de campo

PF a CC= Masa del suelo húmedo a capacidad de campo

PSS= masa de suelo seco

#### **3.4.5 Metodología para textura del suelo por Bouyoucos**

Se realizaron análisis para conocer el tipo de suelo: 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, con agua destilada se llevó el nivel del agua hasta la marca inferior del cilindro con el hidrómetro dentro, se agito vigorosamente y se sumergió el hidrómetro a los 40 segundos tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, dejamos el recipiente quieto que no se perturbe la solución y pasados 4 minutos, 1 hora y 2 horas se vuelven a tomar las lecturas (Medina *et al.* 2007) (figura A-9).

### **3.5 Metodología de Gabinete**

Los datos se obtuvieron por medio de los programas ClimWat y CropWat estos datos son detallados más adelante, además de registros o archivos de cada cooperativa de los cuales se obtuvo el consumo de agua en el beneficiado húmedo de café así como las cantidades de agua que van hacia los tratamientos y la que posteriormente se dirige al cuerpo receptor, los programas mencionados son los empleados en la metodología propuesta por la Wáter Footprint Network 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.

El caudal del beneficiado húmedo del café, se determinó por medio del análisis de la información de registros existentes del consumo de agua en cada uno de los beneficios; también fue necesario conocer rangos permitidos que solicita la Norma Salvadoreña Obligatoria para los parámetros DBO<sub>5,20</sub>, DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. Debido a que las cooperativas no contaban con los datos antes mencionados se prosiguió a realizar el muestreo de aguas residuales para posteriormente ser llevados a laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Facultad de Química y Farmacia.

Ya que los programas ClimWat y CropWat no brindan el resultado de la Huella Hídrica como tal, se elaboró una hoja de cálculo en el programa Excel el cual además de facilitar la entrada de los valores cumple la función de guía para obtener cada una de las Huellas.

#### **3.5.1 Factor clima**

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

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

#### **3.5.2 Factor cultivo**

Etapa fenológica: esta información se obtuvo de 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.

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.

### **3.6 Metodología estadística**

El estudio es de tipo exploratorio descriptivo donde se realizó una comparación entre Huella Hídrica ( $m^3/qq$ ) de la Cooperativa San Isidro Atáisi y Cooperativa Los Pinos se presentan un conjunto de datos como parámetros estadísticos tales como: mínimos, máximos, promedios, frecuencias, de manera que describan en forma precisa las Huella Hídrica verde, Huella Hídrica azul y Huella Hídrica gris para una interpretación mediante comparaciones.

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 barras.

Datos como fenología del cultivo, labores culturales, altitud, maquinaria, tratamientos de aguas residuales son factores que inciden en el valor de la Huella Hídrica, por ser cualitativos no se incluyen en el cálculo de la Huella Hídrica, pero inciden directamente en los resultados de esta.

#### **3.6.1 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 Water Footprint Network, viéndose afectadas por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta cada cooperativa.

##### **3.6.1.1 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.

$$ET_{av} = \min(CWR, Pe) + d(1)$$

Descripción:

ET<sub>av</sub>= Evapotranspiración agua verde total (mm)

CWR= Requerimiento hídrico del cultivo (mm)\*

Pe= Precipitación efectiva (mm)\*

d= Déficit (mm)\*

$$Hv\ Territorial = ET\ av\ (mm) \times 10 = \frac{m^3}{ha} \quad (2)$$

Descripción:

Hv Territorial= Agua verde (m<sup>3</sup>/ha)

10 es un factor de conversión para obtener las unidades m<sup>3</sup>/ha.

\* Datos que se obtendrán del programa CropWat

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

### 3.6.1.2 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 para cada tipo de beneficiado, siendo los siguientes:

15% para beneficiado ecológico

30% para beneficiado húmedo tradicional

Agua de entrada al proceso = consumo de agua por hectárea

Flujo del efluente= Agua azul/ consumo de agua por hectárea

$$H_{azul} = \frac{Agua\ azul}{Produccion\ por\ ha} \quad (4)$$

### 3.6.1.3 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.

$$H_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times Cefl - Afl \times Cact}{Cmax - Cnat} \quad (5)$$

Descripción:

Efl = Flujo efluente (v/t)\*

Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (m/v)\*\*

Afl = Flujo afluente (v/t)\*

$C_{act}$  = Concentración real del agua de entrada (m/v)\*\* el de esta valor es 1mg/l ya que es agua de pozo y esta se considera potable por lo tanto su valor es muy cercano a cero.

$C_{max}$  = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (m/v)\*\*

$C_{nat}$  = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (m/v)\*\*  
concentración natural del efluente es tomada de una investigación del MARN 2011.

El agua gris se obtiene mediante la fórmula que se presenta para HH gris, el resultado como tal para HH gris se divide entre el rendimiento

\*Datos obtenidos de registros de cooperativas.

\*\* Datos obtenidos de análisis de laboratorio.

\*\*\* Dato obtenido de NSO para aguas residuales.

### Huella Hídrica gris difusa

$$H_{gris\ difusa} = \frac{L}{C_{max}-C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max}-C_{nat}} \quad (6)$$

L=Carga contaminante [masa/tiempo]

$C_{max}$  = Estándar de calidad ambiental del cuerpo receptor, [masa /volumen]

$C_{nat}$  = Concentración natural del contaminante [masa/volumen]

$\alpha$  = Fracción de escorrentía-Lixiviación [-]

Apl = Tasa de aplicación [masa/tiempo]

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 6 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 (m<sup>3</sup>/qq).

#### 3.6.1.4 Huella Hídrica

$$HH = H_{verde} + H_{azul} + H_{gris\ puntual} + H_{gris\ difusa} \quad (7)$$

Descripción:

HH= Huella Hídrica

H verde= Huella Hídrica verde (3)

H azul= Huella Hídrica azul (4)

H gris puntual= Huella Hídrica gris puntual (5)

H gris difusa= Huella Hídrica gris difusa (6)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de las Cooperativas

**La Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria (ACPA ATASI)** nace 1980 luego de la reforma agraria, es integrada por pequeños productores y productoras que se dedican al cultivo y comercialización del café de altura producido dentro del corredor Biológico con variedades de café Bourbon, café Pacas, café Pacamara entre otros cultivados en el Parque Nacional Complejo los Volcanes. En menor proporción se cultiva caña de azúcar, ambos están certificados por Rainforest Alliance. La organización cuenta de 482 personas miembros de la cooperativa, de estos 386 hombres y 96 mujeres. Exportando su producto a diferentes partes del mundo como Estados Unidos, Alemania, Japón e Italia, cuentan con una producción promedio de 4 qq/ha y un área de producción de 435.69 ha.

**La Asociación cooperativa los pinos** nace el 03 de marzo del 1980 a partir de la reforma agraria, obteniendo su personalidad jurídica el 03 de junio del mismo año. Los integrantes de la asociación están organizados en torno a la actividad de producción de café uva con variedades de café bourbon, café pacas, y nuevas variedades actividad que se ha logrado ampliar hasta el beneficiado húmedo. La Cooperativa ha diversificado sus actividades e ingresos, siendo una alternativa los servicios de turismo, la Cooperativa está integrada por mujeres y hombres, provenientes del cantón Los Pinos y cantón Montebello con un

promedio de 250 familias, a través de esfuerzos propios ha inscrito una marca para exportar directamente su café, dicha marca es denominada "VISTALAGO"; por medio de la cual se ha logrado exportar hasta un 87% de su producción en oro, hacia Estados Unidos y algunos países de Europa (Reino Unido, Francia, España, Italia, Alemania), y últimamente hacia Japón, cuentan con una producción promedio de 3.93 qq/ha y un área de producción de 287 ha.

## 4.2 Factores tecnológicos de la producción de café

### 4.2.1 Factor clima

Para ambas Cooperativas San Isidro Atáisi y Los pinos presentan temperaturas máximas de 30.6 ° C y mínima de 17.8 ° C, humedad relativa de 60%, velocidad del viento de 144 Km/día con una precipitación de 1833 mm al año. Los datos presentados fueron tomados del programa ClimWat dado que para los Cooperativas la estación más cercana se encuentra en Santa Ana El Palmar (cuadro A-2).

### 4.2.2 Factor cultivo y suelo

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 como densidad aparente, Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) e Infiltración (cuadro 5).

#### Cuadro 5 Resultados de propiedades del suelo

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

Fuente: elaboración propia

La Cooperativa San Isidro Atáisi con suelo FA presenta una densidad de 1.47 g/cm<sup>3</sup>; con respecto a CC el resultado es de 16 %w; para PMP el resultado es de 7 %w; y la velocidad de infiltración 22.86 mm/h.

La Cooperativa Los Pinos con suelo FC presenta una densidad de 1.36 g/cm<sup>3</sup>; con respecto a CC el resultado es de 25 %w; para PMP el resultado es de 14 %w; y la velocidad de

infiltración 8.89 mm/h. En ambos casos los resultados son consistentes relacionándolos con los rangos de propiedades físicas del suelo según textura presentados por Avidan (1990) (cuadro A-3).

**Cuadro 6 Factores Tecnológicos en el área de producción**

<b>Factores tecnológicos en el área de producción</b>	
<b>Cooperativa San Isidro Atáisi</b>	<b>Cooperativa Los Pinos</b>
Control de malezas	Control de malezas
Control de plagas y enfermedades	Control de plagas y enfermedades
Poda de descope	Poda de descope, poda de sombra
Conservación de suelos (materia orgánica)	Conservación de suelos (materia orgánica, ahoyado, barreras vivas)

Fuente: elaboración propia

Los factores tecnológicos que desarrollan las cooperativas no varían mucho entre ellas a excepción de la cooperativa los pinos que adicional realizan la poda de sombra y para la conservación de suelo hacen ahoyado y barreras vivas, en ninguna de las Cooperativas realizan riego (cuadro 6).

#### 4.2.3 Resultados de Huella Hídrica Verde

**Cuadro 7 Precipitación por Cooperativa**

<b>Cooperativa</b>	<b>Precipitación total</b>	<b>Precipitación efectiva</b>
Atáisi	1833	1082
Los Pinos	1833	1451

Fuente: elaboración propia

Para la Cooperativa San Isidro Atáisi la precipitación total es de 1833 y la precipitación efectiva es de 1082 teniendo una eficiencia de la precipitación de un 60%.

Para la Cooperativa Los Pinos la precipitación total es de 1833 y la precipitación efectiva es de 1451 teniendo una eficiencia de la precipitación de un 80% (cuadro 7).

**Cuadro 8 Evapotranspiración del cultivo por Cooperativa**

<b>Cooperativa</b>	<b>Evapotranspiración</b>
Atáisi	1847 mm
Los pinos	1847 mm

Fuente: elaboración propia

La Evapotranspiración para ambas Cooperativas es de 1847mm al año, ya que se ve afectada principalmente por variables climáticas; dado que se tienen los mismos datos para ambas cooperativas el resultado de evapotranspiración es el igual (cuadro 8).

### Cooperativa San Isidro Atáisi

#### Cuadro 9 Cálculo de Huella Hídrica verde Cooperativa San Isidro Atáisi

Concepto	Total
Hv Territorial (m <sup>3</sup> /ha)	11,048
Rendimiento (qq/ha)	4

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{verde} = 2,762 \frac{m^3}{qq\ de\ café\ oro}$$

La Cooperativa San Isidro Atáisi, obtuvo como resultado de Hv territorial 11,048 m<sup>3</sup>/ha y un rendimiento de 4 qq/ha, obteniéndose así para Hv 2,762 m<sup>3</sup>/qq de café oro.

### Cooperativa Los Pinos

#### Cuadro 10 Cálculo de Huella Hídrica verde en Cooperativa Los Pinos

Hv Territorial (m <sup>3</sup> /ha)	14,734
Rendimiento (qq/ha)	3.93

Fuente: elaboración propia

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

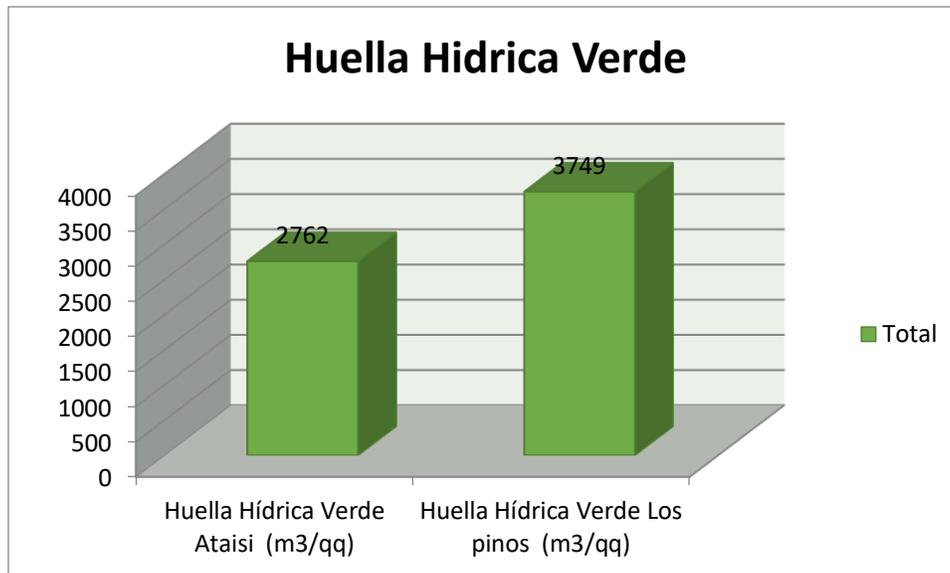
$$H_{verde} = 3749 \frac{m^3}{qq\ de\ café\ oro}$$

La Cooperativa Los pinos, obtuvo como resultado de Hv territorial 14,734 m<sup>3</sup>/ha y un rendimiento de 3.93 qq/ha, obteniéndose así para Hv 3,749 m<sup>3</sup>/qq de café oro.

**Cuadro 11 Resultado de Huella Hídrica verde**

Concepto	Total
Huella Hídrica Verde Atáisi (m <sup>3</sup> /qq de café oro)	2762
Huella Hídrica Verde Los pinos (m <sup>3</sup> /qq de café oro)	3749

Fuente: elaboración propia

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

El valor de Huella Hídrica verde en Cooperativa San Isidro Atáisi fue de 2762 m<sup>3</sup>/qq de café oro y para la Cooperativa Los Pinos fue de 3749 m<sup>3</sup>/ qq de café oro.

En la Cooperativa San Isidro Atáisi la Huella Hídrica verde es menor que en la Cooperativa Los Pinos esto se ve influenciado por factores naturales como precipitación y clima. Los factores tecnológicos a nivel de producción si contribuyen a mejorar las características del suelo, la 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 10,369 m<sup>3</sup>/ha pero para conocer la Huella Hídrica verde fue necesario dividirlo entre el rendimiento que es de 6.8 qq de café oro/ha, obteniendo así 1,524.85 m<sup>3</sup>/qq de Huella Hídrica verde, 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.

### **4.3 Factores tecnológicos del procesamiento de café oro**

#### **4.3.1 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 cascaneo inferiores al 2%.(figura A- 10).

Originalmente consta de dos despulpadoras cónicas verticales, para mejor la eficiencia se adiciono un despulpador más, que despulpan el café uva maduro sin usar agua; Un DELVA 5000, que es un desmucilagador elevador lavador vertical de café que desprende el mucílago del grano despulpado y lo lava, para entregarlo listo para el secado; una criba circular de varillas, que clasifica el café que va a ser procesado en el DELVA; un cepillo limpiador; un sinfín mezclador de pulpa y mucílago; y una estructura rígida, diseñada para soportar los anteriores equipos y pensada para obtener el mínimo espacio.

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. (figura A- 11).

#### **4.3.2 Consumo de agua total en los procesos de beneficiado húmedo**

Los factores tecnológicos del procesamiento, la Cooperativa Atáisi con beneficiado ecológico consume 15 gl/qq café oro, para la Cooperativa Los Pinos con beneficiado húmedo tradicional consume 80 gl/qq de café oro (Cuadro 9), el agua proviene de pozo en ambos casos. Según Valencia et.al 2015 el gasto del agua en el beneficiado ecológico es de 60.03 gl/qq de café oro, para beneficiado tradicional 480.32 gl/qq de café oro, en ambos casos el consumo de agua de las cooperativas es inferior a lo citado, este resultado es debido a la reutilización de agua de lavado por parte de las Cooperativas.

**Cuadro 12 Consumo de agua del Beneficiado Húmedo por Cooperativa**

Cooperativa Atáisi	Cooperativa Los Pinos
15 gl	80 gl

Fuente: elaboración propia

**4.3.3 Resultados Huella Hídrica azul****Cuadro 13 Datos para cálculo de Huella Hídrica azul en Cooperativa San Isidro Atáisi**

Concepto	Total
Agua azul (m <sup>3</sup> )=	0.009

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{\text{azul}} = 0.002_{\text{qq de cafe oro}}^{\text{m}^3}$$

**Cooperativa Los Pinos****Cuadro 14 Datos para cálculo de Huella Hídrica azul Cooperativa Los Pinos**

Concepto	Total
Agua azul (m <sup>3</sup> )=	0.091

Fuente: elaboración propia

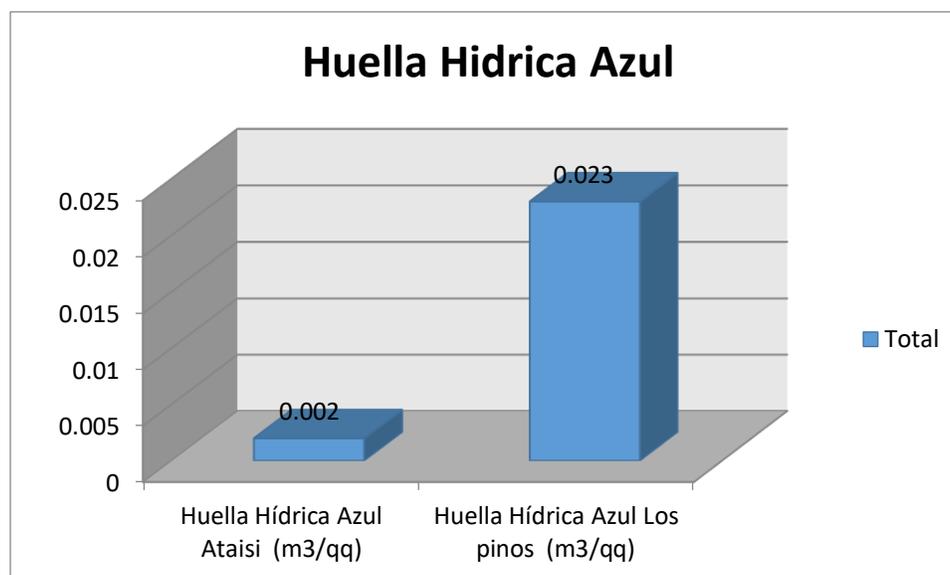
$$H_{\text{azul}} = \frac{\text{Agua azul}}{\text{Produccion por ha}}$$

$$H_{\text{azul}} = 0.023_{\text{qq de cafe oro}}^{\text{m}^3}$$

**Cuadro 15 Resultados de Huella Hídrica azul**

Concepto	Total
Huella Hídrica azul Atáisi (m <sup>3</sup> /qq)	0.002
Huella Hídrica azul Los pinos (m <sup>3</sup> /qq)	0.023

Fuente: elaboración propia



**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.

#### 4.4 Caracterización de los tratamientos de aguas residuales

##### 4.4.1 Resultados de análisis de aguas residuales

**Cuadro 16 Resultados análisis de laboratorio de aguas residuales**

Cooperativa	DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	Solidos Sedimentables (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	DQO (mg/l)	Solidos Suspendedos Totales	Solidos Totales
San Isidro Atáisi	459.0	20.0	53.8	1250.0	3564.0	5124.0
Los Pinos	466.2	7.5	43.0	12600	3006.0	4996.0

Fuente: elaboración propia

Según la norma Salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.4901:09 para DBO<sub>5,20</sub> lo máximo permitido es 300 mg/l lo que nos indica que ninguna Cooperativa cumple con el parámetro, para Solidos Sedimentables lo máximo permitido es de 15 mg/l lo que nos indica que la Cooperativa son Isidro Atáisi no cumple con dicho parámetro y la Cooperativa Los Pinos si cumple,(figura A- 12 y cuadro A-4) para el parámetro de aceites y grasas lo máximo permitido es de 30mg/l esto nos indica que ninguna Cooperativa cumple, para Demanda Química de Oxígeno (DQO) lo máximo permitido es de 2500 mg/l indicando que las dos Cooperativas cumplen con la normativa, con respecto a los Solidos Suspendidos Totales lo máximo permitido es 1000 mg/l lo que nos indica que ninguna Cooperativa cumple con la normativa, y por último los Solidos Totales no está normado.(figura A-13 y cuadro A-5).

#### 4.4.2 Resultados Huella Hídrica gris puntual Cooperativa San Isidro Atáisi

**Cuadro 17 Datos para calculo Huella Hídrica gris en aguas residuales Cooperativa San Isidro Atáisi**

Concepto	Valores
Efl = Flujo efluente (m <sup>3</sup> /s)=	0.009
Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (vertido)(mg/l)=	459
Afl = Flujo afluente(m <sup>3</sup> /s)=	0.110
Cact = Concentración real del agua de entrada (mg/l)=	1
Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (NSO)(mg/l)=	2000
Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (rio)(mg/l)=	2
Agua Gris (m <sup>3</sup> /s)	0.0019

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{gp} = 0.0005_{qq}^{m^3} \text{ de cafe oro}$$

## Cooperativa Los Pinos

### Cuadro 18 Datos para calculo Huella Hídrica gris de Cooperativa Los Pinos

Concepto	Total
Efl = Flujo efluente (m <sup>3</sup> /s)=	0.091
Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (vertido)(mg/l)=	466.2
Afl = Flujo afluente(m <sup>3</sup> /s)=	0.606
Cact = Concentración real del agua de entrada (mg/l)=	1
Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (NSO)(mg/l)=	2000
Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (rio)(mg/l)=	4
Agua Gris (m <sup>3</sup> /s)	0.0209

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{gris} = 0.005_{qq \text{ de cafe oro}}^{m^3}$$

Ambas cooperativas cuentan con un tratamiento de aguas que consiste en un tratamiento primario físico con sedimentadores.

Como resultado de Huella Hídrica gris puntal para la Cooperativa San Isidro Atáisi 0.0005 m<sup>3</sup>/qq de café oro y para la Cooperativa Los Pinos 0.005 m<sup>3</sup>/qq de café oro.

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 rio Ceniza presenta una concentración natural (DBO<sub>5,20</sub>) de 2 mg/l, el caudal es inferior frente al rio Guajoyo con concentración natural (DBO<sub>5,20</sub>) de 4 mg/l, teniendo el rio Ceniza concentración inferior al rio Guajoyo. Ambos factores influyen en resultados de la huella Hídrica gris puntal, 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.

#### 4.4.3 Resultado Huella Hídrica gris difusa Cooperativa San Isidro Atáisi

Para llevar a cabo el cálculo de Huella Hídrica gris difusa se necesitó conocer los fertilizantes y cantidades de aplicación por ha (cuadro A-6).

#### Cuadro 19 Datos para calculo Huella Hídrica gris

Concepto	Valor
Lixiviación	3,960.42
Cmax (kg/m <sup>3</sup> )	0.01
Cnat (kg/m <sup>3</sup> )	0

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{gris\ difusa} = 5 \frac{m^3}{kg}$$

Hgris difusa=227.25 m<sup>3</sup>/qq de café oro

#### Cooperativa Los Pinos

#### Cuadro 20 Datos para calculo Huella Hídrica gris

Concepto	Valor
Lixiviación	8,504.67
Cmax (kg/m <sup>3</sup> )	0.01
Cnat (kg/m <sup>3</sup> )	0

Fuente: elaboración propia

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

$$H_{gris\ difusa} = 16.30 \frac{m^3}{kg}$$

Hgris difusa= 740.83 m<sup>3</sup>/qq de café oro

Los resultados obtenidos para Huella Hídrica gris difusa para Cooperativa San Isidro Atáisi fue de 227.25 m<sup>3</sup>/qq de café oro y para la Cooperativa Los Pinos de 740.83 m<sup>3</sup>/qq de café oro.

Se puede observar una diferencia bastante significativa entre ambas Cooperativas esto es debido 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 obtenidos 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 oro frente a 227.25 m<sup>3</sup>/qq de café oro en la Cooperativa San Isidro Atáisi y 740.83 para la Cooperativa Los Pinos, es aquí donde se puede observar como el rendimiento del café incide en el resultado de Hg difusa.

#### Cuadro 21 Resultados Huella Hídrica gris

Concepto	Total
Huella Hídrica Gris Atáisi (m <sup>3</sup> /qq)	227.25
Huella Hídrica Gris Los pinos (m <sup>3</sup> /qq)	740.83

Fuente: elaboración propia

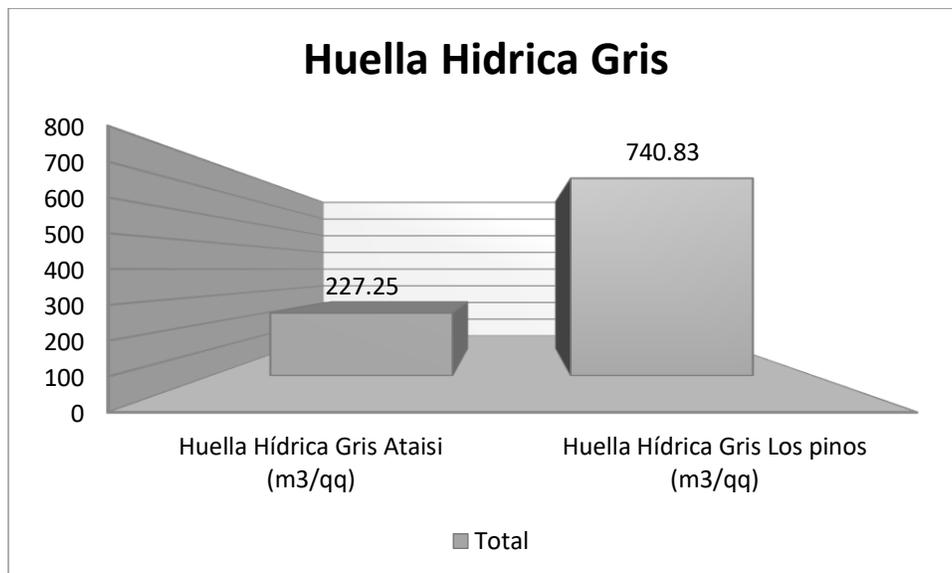


Figura 3 Grafico de resultados Huella Hídrica gris

## 4.5 Huella Hídrica

### Cooperativa San Isidro Atáisi

**Cuadro 22 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

Fuente: elaboración propia

### Cooperativa Los Pinos

**Cuadro 23 Resultado Huella Hídrica Cooperativa Los Pinos**

Concepto	Total	%
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

Fuente: elaboración propia

Los cuadros 22 y 23 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 Rinderos 2014 con 94.81% para Hv, 0.378 Ha y 4.82 Hg.

## 5. 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.

Generar una base de datos históricos de las estaciones meteorológicas propias de cada Cooperativa.

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

**AEC (Centro Nacional de Información de la Calidad España).** 2010 Huella hídrica (en línea) España. 8 p. consultado 29 ago. 2016. Disponible en [http://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=935d5e6d-b631-44ad-a6e3-c8861d0813d2&groupId=10128](http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=935d5e6d-b631-44ad-a6e3-c8861d0813d2&groupId=10128)

**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.

**Alvarado, A. (1994).** Cultivo y beneficiado del café. Ed.rev. Bogotá, Colombia. 35 p.

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

**ANACAFE (Asociación Salvadoreña Nacional del Café) s.f.** . Fertilización del cafeto (en línea) San Salvador, El Salvador. 58 p. consultado 2 mar 2017. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Fertilizacion\\_del\\_cafeto](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Fertilizacion_del_cafeto)

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

**Arango. B.** El beneficio ecológico del café en Colombia. 2003 (en línea). Bogotá, Colombia. 65 p. Consultado 18 mar. 2017. Disponible en <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/viewFile/2370/1671>

Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002. Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua.

**BCR (Banco Central de Reserva de El Salvador).** 2014 Informe económico anual. (en línea). San Salvador, El Salvador. 26 p. Consultado 13 abr. 2017. Disponible en <http://www.bcr.gob.sv/bcrsite/uploaded/content/category/844391174.pdf>

**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)

**Camarero F, 2011.** Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. (en línea). Madrid, España. 425 p. Consultado 25 may. 2017. Disponible en <http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>

**Campos E. 2010. Café orgánico.** In IV seminario de resultados y avances 2010. Nva. Ed. ICAFE, San Jose 86-91 p.

**Carvajal, J. 2007. Cafeto-cultivo y fertilización.** Instituto internacional de la potasa. Ed. Rev. Berna 141p.

**Casals C; Guevara R; Nuñez G. 2009.** Café propiedades y cualidades. Ed. Corr. Facultad de Medicina Universidad de Sain George, Granada. 45 p

**Castro et al. 2004.** Centroamérica La Crisis Cafetalera: Efectos y Estrategias para Hacerle Frente. CR. 128 p

**CE (Comisión Europea) 2003.** El agua es la vida: La Directiva marco sobre aguas contribuye a proteger los recursos de Europa. (en línea) Madrid, España 23 p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en [file:///C:/Users/alejandra/Downloads/KH3109164ESC\\_002.pdf](file:///C:/Users/alejandra/Downloads/KH3109164ESC_002.pdf)

**CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café Colombia) 2006.** Buenas prácticas agrícolas para el café. (en línea). Medellín, Colombia. 56 p. Consultado 02 feb. 2017. Disponible en <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0349.pdf>

**CCS (Consejo Salvadoreño del café) 2013.** Cultivo de café en El Salvador. (En línea). San Salvador, El Salvador. 26 p. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en [http://www.consejocafe.org/nuevo\\_sitio/index.php?option=com\\_phocadownload&view=categories&Itemid=56](http://www.consejocafe.org/nuevo_sitio/index.php?option=com_phocadownload&view=categories&Itemid=56)

**Cisneros, E. Rey, R., Zamora, E., González, F. (2006).** Influencia del manejo del riego en el rendimiento del cafeto. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 15(2), 42-47.

**CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología EL Salvador). 1996.** Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. NSO 13. 49.01:09. Ed. rev. San Salvador, El Salvador. Oct. 16 p.

**CONAMA** congreso nacional de medio ambiente 2014. HUELLA HÍDRICA: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación.(en línea). México. Disponible en <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896712004.pdf>

**Díaz R., Hunter A. 2008.** Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. (en línea). Costa Rica. 70 p. Consultado 25 feb. 2017. Disponible en [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3115/Metodologias\\_de\\_muestreo\\_de\\_suelos.pdf?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3115/Metodologias_de_muestreo_de_suelos.pdf?sequence=1)

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2002.** El agua y la agricultura. (en línea). Consultado 30 de ago. 2016 disponible en <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>

**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)

**Feijoo K. 2005** Clima y sector agropecuario colombiano adaptación para la sostenibilidad productiva que es la Huella Hídrica Colombia. (en línea). Bogotá, Colombia. 75 p. Consultado el 4 de abr. 2017. Disponible en <http://www.aclimatecolombia.org/huella-hidrica/>

**FEWS NET (Famne Earl Warning System Network) 2016** America Central Informe Especial. El impacto de la roya de café en el sector cafetalero de América Central. (en línea). Costa Rica. 54 p. Consultado el 13 mar. 2018. Disponible en <http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/AMERICA%20CENTRAL%20Informe%20Especial%20-%20sector%20cafetalero%20-%202016.pdf>

**FUNDESYRAM. s.f. Recolección y beneficiado húmedo del café.** (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 10 abr 2017. Disponible en <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3553>

**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>

Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999. Ingeniería ambiental Madrid España. 92 p.

**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.

**Góchez Staben, J.E., 1994** Contaminación de las aguas por los desechos líquidos de beneficios de café, Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

**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>

**ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2011.** Guía Técnica para el Cultivo del Café (en línea). 1a ed. Heredia Costa Rica. ICAFE-CICAFE. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

**INIA (Instituto de investigaciones agropecuarias). 2013.** Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos (en línea). Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/intihuasi/actas/NR38988.pdf>

**Lema Londoño, F. 1998.** Taller práctico de beneficio ecológico de café húmedo y seco. Serviagro S. de R.L, Tegucigalpa, Honduras. 40 p.

**Marín, C. 2005.** Manual de café orgánico. Ed. Rev. San José, Costa Rica. 120 p.

**MARS (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales).** 2010 Dirección General del Observatorio Ambiental informe de calidad de los ríos de El Salvador (en línea) San Salvador, El Salvador. informe N 1 consultado el 15 de feb. 2018 disponible en [http://informe\\_calidad\\_agua\\_marn-201020\(1\).pdf](http://informe_calidad_agua_marn-201020(1).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 la 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>

**Molina A. Villatoro R. 2006.** Propuesta de tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café. El Salvador. (en línea). Tesis Ing. Civil. Universidad de El Salvador Consultado 5 abr. 2017. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/4524/1/Propuesta%20de%20tratamientos%20de%20aguas%20residuales%20en%20beneficios%20h%C3%BAmedos%20de%20café%20C3%A9.pdf>

Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Ed. Rev. Cenicafe Cali Colombia. 124 p.

**Monroig F. 2007** el almacenamiento del café. San Jose, Costa Rica. Ed. rev. 29 p.

**Network, W. F. 2008.** Water footprint. (en línea). E.E.U.U. 228 p. consultado 17 de mar 2017. Disponible en [http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)

**Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua.** 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=lsBUyDg5SxABgos0lpxFT8zDXonF66Hcn-ZhWrlEK4OXxvxDCeKpzx3FFbiW1zeIBed9PxI90E1e5IOz\\_f0yPpufwP7ccDNylOccJfMV04onR-XIANWBAnd5KFRONFsv](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf)

**ONU (Organización de las naciones unidas México E.E.U.U)** 2005. El agua fuente de vida Nueva York, N.Y. EE. UU (en línea PDF) consultado 10 de abr. 2017. Disponible en <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>

**Paredes Días J. s.f.** importancia del agua. (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.htm>

**Pelupessy, W. 2003.** El mercado mundial del café: el caso de El Salvador. Nva. Ed. Maestría en Política Económica para Centroamérica y el Caribe.

**Pineda F; Fernández C; Osegueda F. 2017** Beneficiado y calidad del café. (en línea). 29 p. Consultado el 27 may. 2017. Disponible en <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/Tec-Guia-Beneficiado.pdf>

**PROCAFE sf.** (Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café). Recolección y beneficio húmedo del café. (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 31 ago. 2016. Disponible en <http://www.procafe.com.sv/menu/ArchivosPDF/HojaRecoleccionYBeneficiado.pdf>

**PROCAFE** (Fundación Salvadoreña para la Investigaciones del Café). 2009. La caficultura la mayor reserva forestal de El Salvador: Una barrera para el cambio climático. Santa Tecla, SV. 14 p.

**Puerta, G. 2008.** Riesgos para la calidad y la inocuidad del café en el secado. Avances técnicos. Ed. rev. Cenicafé, Cali, Colombia 371 p.

**Quinteros Gloria 2006.** Buenas prácticas agrícolas para el café. ICAFE (en línea) Guatemala 34 p. Consultado 27 may. 2017. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/359/1/avt0349.pdf>

**Ramírez, J. E. 2003.** Estudio de sistemas de poda de café por hileras y por lotes. Ed. Rev. Agronomía Costarricense, 20(2), 167-172.

**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%ADdrica%20cultivo%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf>

**SIB (Súper intendencia de bancos Guatemala).** 2011. Departamento de Análisis Económico y Estándares de Supervisión Área de Análisis Económico y Financiero. Sector cafetalero. (en línea). Guatemala. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <file:///C:/Users/alejandra/Downloads/Estudio%20del%20Sector%20Cafetalero,%20referido%20a%202011-09.pdf>

**SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales).** 2010. Informe de labores. Ed. rev. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Salvador, El Salvador. MARN. 82 p.

**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.

**Velásquez F; Jaramillo R; 2009.** Redistribución de lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetalera de Colombia. Ed. rev. Cali Colombia. 23 p. 2.18

**Valencia, G. 1998.** Manual de nutrición y fertilización del café. Ed. corr. INPOFOS, Quito, Ecuador. Informe 1998. 123 p.

**Valencia R.; Sans R; Ramírez C.** 2015 Beneficio de café en Colombia, Cantidades de agua por beneficiado consultado 10 feb. 2018 (en línea), Colombia. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>

**Vayssière, P; Barat, H; Cambrony H; Navellier, P; & Rabéchault. 2007.** *Cafetos y Cafés en el Mundo.* G.-P.E.E.U. U Ed. rev. Maisonneuve & Larose pag. 104

**Vázquez, R; Buenfil, M.** 2012. Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades. Ed. rev. Aqua-LAC, 4(1), 41-48.

**Zamora, Q. 1998.** Manual de Recomendaciones para el cultivo del Café. En Serie de Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos (IICA). Ed. act. Instituto del Café de Costa Rica. 105 p

**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)

## 8. ANEXOS

**Figura A- 1 Proceso de beneficiado húmedo de café**



Figura A- 2 Proceso de beneficiado ecológico de café



Cuadro A- 1 Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales por la norma NSO 13.49.01:09

Tabla 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspensionados totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
<b>I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL</b>					
1. Producción agropecuaria <sup>1)</sup>	800	300	15	150	50
2. Matanza de ganado y preparación y conservación de carnes	400	200	15	125	50
3. Procesamiento de camarón, mariscos en forma congelada	750	250	15	350	130
4. Enlatados de mariscos y fabricación de sus harinas	300	150	15	100	50
5. Productos avícolas	800	300	15	150	50
6. Porcicultura	1800 <sup>2)</sup>	300	15	150	50
7. Procesamiento del atún y sus derivados	1800	600	15	350	50
<b>II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL</b>					
1. Productos de molinería	400	200	15	200	50
2. Beneficiado de café	2500 <sup>2)</sup>	2000 <sup>2)</sup>	40	1000	30
3. Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100
4. Fabricas y refineras de azúcar	600	400	30	150	30
5. Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	15	150	100
6. Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	15	100	50

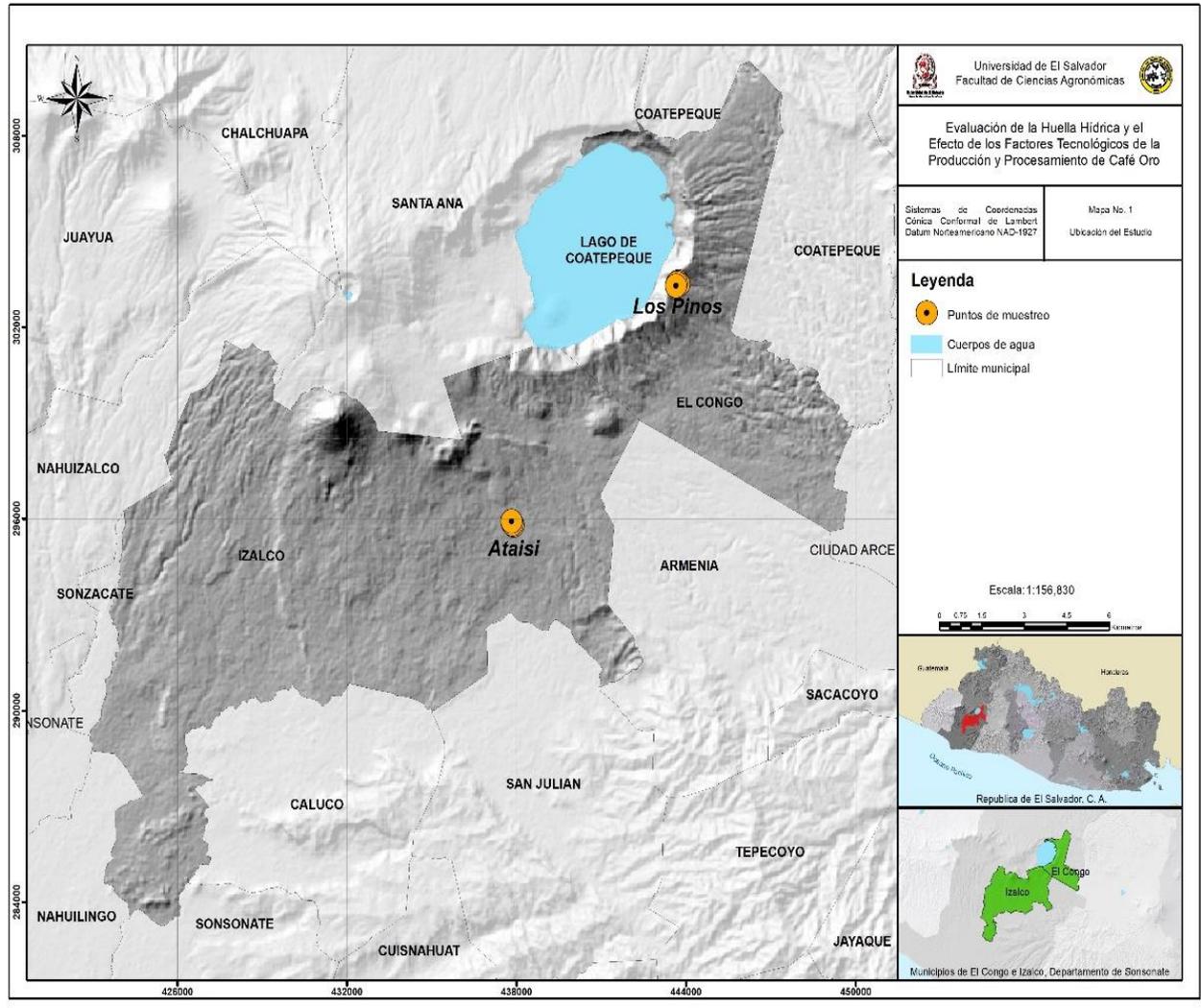
**Figura A- 3 Infiltración con cilindro infiltometro**



**Figura A- 4 Muestreo de suelos**



**Figura A- 5 Mapa de puntos de muestreo en Cooperativa San Isidro Ataisi y Cooperativa Los Pinos**



**Figura A- 6 Permeametro de Guelph**



**Figura A- 7 Muestreo de aguas residuales**



**Figura A- 8 Análisis de Capacidad de Campo**



**Figura A- 9 Análisis de textura de suelos por Boyoucos**



**Cuadro A- 2 Datos climáticos para Cooperativa San Isidro Ataisi y Los Pinos**

	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
Precipitación (mm/mes)*:	9				5				20				71				222				330				302				303				329				193				38				11			
Temperaturas*:	Mi	16	Mx	30	Mi	16	Mx	31	Mi	17	Mx	33	Mi	18	Mx	33	Mi	19	Mx	32	Mi	19	Mx	30	Mi	19	Mx	30	Mi	19	Mx	30	Mi	19	Mx	30	Mi	19	Mx	30	Mi	18	Mx	29	Mi	16	Mx	30
Humedad relativa*:	53				54				51				53				61				68				64				66				71				67				61				57			
Velocidad del viento*:	8.64				7.2				7.2				6.48				5.04				4.32				4.68				4.68				4.32				4.68				6.84				0			
Radiación solar*:	11.03				11.6				11.9				12				12				12				12				12				12				11.7				11.4				11.2			

Cuadro A- 3 Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo, según textura

Textura del Suelo	de Infiltración Básica °)	Poroso Total	Específico Aparente Pea	de Campo HCc	Marchitez Permanente HPm	% del volúmen	Capa de 1 metro
	[ mm/h ]	[ P% ]	[ g/cm3 ]	[ %w ]	[ %w ]	[ %v ]	[ m <sup>3</sup> /Ha/m ]
Arenosa	50 (25-250)	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	8 (6-10)	800 (700-1000)
Franco-Arenosa	25 (13-76)	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	12 (9-15)	1200 (500-1500)
Franca	14 (8-20)	46 (43-49)	1.42 (1.34-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	17 (14-20)	1700 (1400-1900)
Franco-Arcillosa	8.5 (2.5-15)	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	19 (16-22)	1900 (1700-2200)
Arcilloso-Arenosa	4 (3-5)	51 (49-53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	21 (18-23)	2100 (1800-2300)
Arcillosa	0.5 (0.1-1)	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	23 (20-25)	2300 (2000-2500)

\*) Los rangos de la velocidad de infiltración básica exceden los datos presentados, y varían con la estructura del suelo y su estabilidad.

Fuente Avidan 1999

**Figura A- 10 Beneficiado ecológico en Cooperativa San isidro Ataisi**



**Figura A- 11 Beneficiado húmedo tradicional en Cooperativa Los Pinos**



Figura A- 12 Análisis de aguas residuales DBO 5,20 Cooperativa San isidro Ataisi



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 28 de noviembre de 2017  
 Fecha de ingreso: 16 / Noviembre / 2017  
 Tipo de Muestra: Aguas Residuales  
 Análisis solicitado: DBO<sub>5</sub>  
 Usuario: Br. Ana Marlene Mineros

No.	Identificación muestra	DBO <sub>5</sub>	Sólidos Sedimentales
MXU 355	Agua residuales Cooperativa San Isidro Ataisi	459.0 mg/l	20.0 ml/l

Analista: Ing. Flor Hernández

Atentamente,

**"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"**

  
 Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza  
 Jefe del Departamento de Química Agrícola



Figura A- 13 Análisis de aguas residuales DBO 5,20 Cooperativa Los Pinos



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**Fecha de Emisión:** Ciudad Universitaria, 28 de noviembre de 2017  
**Fecha de ingreso:** 16 / Noviembre / 2017  
**Tipo de Muestra:** Aguas Residuales  
**Análisis solicitado:** DBO<sub>5</sub>  
**Usuario:** Br. Ana Marlene Mineros

No.	Identificación muestra	DBO <sub>5</sub>	Sólidos Sedimentales
MXU 355	Agua residuales Cooperativa los Pinos	466.2 mg/L	7.5 ml/L

**Analista:** Ing. Flor Hernández

Atentamente,

**“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”**

**Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza**  
Jefe del Departamento de Química Agrícola



**Cuadro A- 4 Análisis de aguas residuales Cooperativa San Isidro Ataisi para: Aceites y grasas, DQO, Sólidos suspendidos totales y sólidos totales**



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 39-17		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: LUISA ALEJANDRA AVILES. COLONIA 14 DE DICIEMBRE, 4ª AVENIDA NORTE 12-5. SONSONATE.					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL DE BENEFICIO DE CAFÉ					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: COOPERATIVA SAN ISIDRO ATAISI					
Fecha de elaboración del informe: JUEVES, 23 DE NOVIEMBRE DE 2017					
Fecha de recepción de muestra: 16 DE NOVIEMBRE DE 2017			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 22 DE NOVIEMBRE DE 2017		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Aceites y Grasas	Gravimétrico	39-17-02	COOPERATIVA SAN ISIDRO ATAISI, AGUAS RESIDUALES	53.8 mg/L	30 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			12550 mg/L	2500 mg/L
Sólidos Suspendidos totales	Cálculo			3564 mg/L	1000 mg/L
Sólidos Totales	Gravimétrico			5124 mg/L	NO NORMADO
<b>Observaciones:</b> - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: [quejas.sgc.fqa@gmail.com](mailto:quejas.sgc.fqa@gmail.com).

FECHA DE ENTREGA: 27 NOV 2017

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Riva Mirian Rivas de Lara  
Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

## Cuadro A- 5 Análisis de aguas residuales Cooperativa Los Pinos para: Aceites y grasas, DQO, Sólidos suspendidos totales y sólidos totales



F - 09



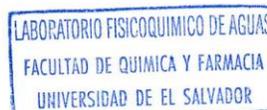
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**  
**LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO N° 39-17		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: LUISA ALEJANDRA AVILES. COLONIA 14 DE DICIEMBRE, 4ª AVENIDA NORTE 12-5. SONSONATE.					Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL DE BENEFICIO DE CAFÉ				N° DE MUESTRAS: 2	
Lugar de toma de muestra: COOPERATIVA LOS PINOS					
Fecha de elaboración del informe: JUEVES, 23 DE NOVIEMBRE DE 2017					
Fecha de recepción de muestra: 16 DE NOVIEMBRE DE 2017			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 22 DE NOVIEMBRE DE 2017		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Aceites y Grasas	Gravimétrico	39-17-01	COOPERATIVA LOS PINOS, AGUAS RESIDUALES	43.0 mg/L	30 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			12600 mg/L	2500 mg/L
Sólidos Suspendidos totales	Cálculo			3006 mg/L	1000 mg/L
Sólidos Totales	Gravimétrico			4996 mg/L	NO NORMADO
<b>Observaciones:</b> - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

- NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 27 NOV 2017



*Henry Alfredo Hernández Contreras*  
 Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
 Jefe del Laboratorio y Analista

*Rosa Mirian Rivas de Lara*  
 Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
 Analista

*María del Carmen Polio Martínez*  
 Lic. María del Carmen Polio Martínez  
 Analista

FIN DEL REPORTE

**Cuadro A- 6 Fertilizantes nitrogenados utilizados por Cooperativa en una ha**

<b>Cooperativa San Isidro Ataisi</b>		<b>Cooperativa Los Pinos</b>	
<b>Fertilizante</b>	<b>qq de N/ha</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>qq de N/ha</b>
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>