Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

2014

Aproximación a la huella hídrica del cultivo de café en el municipio de Anolaima y determinación de la presión generada por la demanda hídrica y descarga de aguas mieles

Angela Mayerly Forero Peña
Universidad de La Salle, Bogotá

Erika Patricia Pastor Silva
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Part of the Environmental Engineering Commons

Citación recomendada

Forero Peña, A. M., & Pastor Silva, E. P. (2014). Aproximación a la huella hídrica del cultivo de café en el municipio de Anolaima y determinación de la presión generada por la demanda hídrica y descarga de aguas mieles. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/912

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

APROXIMACIÓN A LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA Y DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN GENERADA POR LA DEMANDA HÍDRICA Y DESCARGA DE AGUAS MIELES.

ANGELA MAYERLY FORERO PEÑA
ERIKA PATRICIA PASTOR SILVA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTA
2014

APROXIMACIÓN A LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA Y DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN GENERADA POR LA DEMANDA HÍDRICA Y DESCARGA DE AGUAS MIELES.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

DIRECTOR:

ING. JULIO CESAR RAMIREZ RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTA
2014

Nota de aceptación

Firma director:

Firma del Jurado:

Firma del Jurado:

Bogotá, Julio de 2014

AGRADECIMIENTOS

El aprendizaje es un largo proceso que exige disciplina y constancia, es por ello que deseo dar un gran agradecimiento a todos y cada uno de los docentes que he tenido la oportunidad de conocer y aprender de sus experiencias académicas y laborales, sobre todo al profesor Julio Cesar Ramírez el cual ha estado a lo largo de mi proceso de formación universitaria y ha significado un apoyo constante.

Ángela Forero

Gracias a Dios por iluminar cada paso de mi vida , a mis padres por su amor , entrega , sacrificios y por brindarme las herramientas necesarias para la consecución de este logro , enmarcada en un ánimo de lucha y superación. Finalmente agradezco a cada una de las personas que colaboraron en la realización de presente documento; al Ingeniero Julio Cesar Ramírez por su colaboración y a cada uno de los docentes por los conocimientos brindados en estos años.

Erika Pastor

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 12
1 RESUMEN 14
2 OBJETIVOS 15
2.1 Objetivo general 15
2.2 Objetivo especifico 15
3 MARCO TEORICO 16
3.1 Huella Hídrica Verde (HHV) 16
3.2 Huella Hídrica Azul (HHA) 16
3.3 Huella Hídrica Gris (HHG) 16
3.4 Datos requeridos CROPWAT 8.0 17
3.4.1 Características climatológicas 17
3.4.2 Características del cultivo 17
3.4.3 Características del suelo: 19
4 METODOLOGIA 20
4.1 Fase 1: Diagnóstico producción de café en Anolaima 21
4.2 Fase 2: Evaluación Huella Hídrica Cultivo de Café 22
4.3 Fase 3: Análisis presión sobre el recurso agua del municipio 22
5 ÁREA DE ESTUDIO Y CULTIVO 23
5.1 Cultivo de café: 23
5.2 Área de estudio 23
6 PRODUCION DE CAFÉ FINCA LA UNION 25
6.1 Proceso productivo 26
6.2 Rendimiento del cultivo 27
7 BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ 28
8 PRODUCCIÓN DE CAFÉ MUNICIPIO DE ANOLAIMA 29
9 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA 32
9.1.1 Estimación Huella Hídrica verde (HHV): 32
9.2 Estimación Huella Hídrica Azul (HHA): 35
9.2.1 Huella Hídrica Azul Teórica (HHAt) 35
9.2.2 Huella Hídrica Azul experimental (HHAe) 37
9.3 Estimación Huella Hídrica Gris 41
9.3.1 Calculo de Huella Hídrica Gris Fase de Cultivo 42

9.3.2 Fracción de lixiviación fase Cultivo 42
9.3.3 Aplicación Estimada de Agroquímicos 42
9.3.4 Cantidad de Agroquímicos Aplicada en Anolaima 43
9.3.5 Concentración Máxima Aceptable. 43
9.3.6 Concentración Natural del Contaminante 43
9.4 Cálculo de la Huella Hídrica Gris Fase de beneficio húmedo 47
9.4.1 Concentración máxima aceptable 48
10 HUELLAS HIDRICAS TOTALES 50
11 INDICADORES DE PRESIÓN. 52
11.1.1 Indicador de Consumos 55
12 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 56
CONCLUSIONES 63
RECOMENDACIONES 64
ANEXOS 67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de cultivos agrícolas (K_c) 18
Tabla 2: Factor de Respuesta de Rendimiento según la edad de los cultivos de café 19
Tabla 3: Contenido humedad según tipo de suelo 20
Tabla 4: Fase 1 metodología 21
Tabla 5 : Fase 2 metodología 22
Tabla 6: fase 3 Metodología 22
Tabla 7: Estructura de la finca 24
Tabla 8: Producción promedio café, finca La Unión 25
Tabla 9: Producción Café, finca La Unión 25
Tabla 10: Proceso productivo finca La Unión 26
Tabla 11 : Relación pulpa – café Pergamino 27
Tabla 12: Relación Café pergamino – Café seco 28
Tabla 13: Rendimiento Cultivo de café 28
Tabla 14: Datos relativos al beneficio húmedo del Café 29
Tabla 15: cantidad agua (L) año productivo 29
Tabla 16: Producción de Café por parámetro 30
Tabla 17: Producción Café, municipio de Anolaima 31
Tabla 18 : Huella Hídrica Verde finca La Unión 33
Tabla 19: Huella Hídrica Verde y consumo de agua de las Veredas de Anolaima. 33
Tabla 20: Huella Hídrica Verde y consumo de agua municipio Anolaima 34
Tabla 21: Huella Hídrica Azul teórica Finca la Unión. 35
Tabla 22: Huella Hídrica Azul teórica y consumo total de agua de las veredas Anolaima. 36

Tabla 23: Huella Hídrica Azul teórica y consumo de agua municipio Anolaima 37
Tabla 24: Huella Hídrica Azul experimental Finca La Unión. 38
Tabla 25: Frecuencia de riego en el municipio de Anolaima. 38
Tabla 26: Caudales concedidos en predios pertenecientes a Anolaima. 39
Tabla 27: Huella Hídrica Azul experimental y consumo total de agua de las veredas Anolaima.... 40
Tabla 28: Huella Hídrica Azul experimental y Consumo de agua en Anolaima. 41
Tabla 29: Cálculo de la aplicación Estimada de Agroquímicos 42
Tabla 30: Cantidad de fertilizantes empleados en el municipio de Anolaima. 43
Tabla 31: Concentraciones máximas aceptables para la destinación a usos pecuarios. 43
Tabla 32: Concentración inicial de sustancias de interés en la fuente de abastecimiento de Agua. 44
Tabla 33: Huella Hídrica Gris de la Finca La Unión por aplicación de fertilizantes. 44
Tabla 34: Resultados de la Huella Hídrica Gris Veredal y agua consumida en un año productivo. 45
Tabla 35: Huella Hídrica Gris fase de cultivo y consumo total de agua de las veredas Anolaima. .. 46
Tabla 36: Concentraciones máximas aceptable DQO para usos pecuarios. 48
Tabla 37: Valor de remoción de los contaminantes según la normatividad colombiana. 48
Tabla 38: Huella Hídrica Gris en el beneficio húmedo del café en la finca La Unión. 48
Tabla 39: Huella Hídrica Gris Beneficio Húmedo en Anolaima. 49
Tabla 40: cálculo del volumen de agua necesario para la dilución de la DQO. 49
Tabla 41: Huella Hídrica Total de la finca La Unión. 50
Tabla 42: Huella hídrica total veredal. 50
Tabla 43: Huella hídrica municipio de Anolaima 51
Tabla 44: Indicadores de presión propuestos para determinar el grado de presión en la cuenca del rio Bahamón. 52
Tabla 45: Escala de Grado de Presión. 54
Tabla 46: Principales características de la cuenca del río Bahamón. 54
Tabla 47: Resultado de la aplicación de los indicadores de presión. 54
Tabla 48: Dotación según el nivel de complejidad de la población. 55
Tabla 49: Corrección dotaciones por temperatura. 55
Tabla 50: Resultado de indicador de consumo de Agua. 55
Tabla 51: Evapotranspiración potencial, municipio de Anolaima 73
Tabla 52: Requerimientos hídricos del cultivo de café en etapa productiva 74

LISTAS DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Curva generalizada del coeficiente del cultivo 18
Ilustración 2: esquema contenido de humedad del suelo 20
Ilustración 3: Metodología 21
Ilustración 4: Plantas de café. 23
Ilustración 5: Aerofoto área de estudio 24
Ilustración 6: Pulpa y Granos de café desulpados 27
Ilustración 7: Café seco, para comercialización 28

INTRODUCCION

El cálculo del indicador Huella Hídrica ha sido conocido mundialmente como una metodología de cuantificación de los consumos de agua en los procesos productivos. La determinación de este indicador ofrece una noción de los impactos ambientales que las actividades productivas están ejerciendo sobre los recursos hídricos.

La agricultura es una de las actividades predominantes de nuestro país y de acuerdo a la FAO, es una de las actividades de mayor consumo de agua dulce del planeta. En Colombia el recurso hídrico es abundante, por lo cual nuestro país está ubicado en el séptimo puesto en el ranking mundial en disponibilidad de recursos hídricos, a pesar de ser el más pequeño cuenta con el 13% de la oferta hídrica de América del Sur , la cual está estimada en 17.000 km3/año , pero en condiciones de estiaje se presentan dificultades en cuanto a la disponibilidad espacial y temporal de aguas superficiales (MADT, 2010) problema que se presenta debido al uso desmesurado de este recurso para riego y por las acciones antropogénicas destacando la deforestación, el cambio en usos del suelo y la contaminación de fuentes de abastecimiento.

Teniendo en cuenta que la huella hídrica más representativa es proveniente de las actividades agrícolas , cabe examinar el caso Colombiano, donde en términos de área cultivada, el café es definido como el cultivo con mayor área sembrada, representando aproximadamente 3,2 millones de hectáreas según estudios realizados por la Federación Nacional De Cafeteros. Esta área cultivada se encuentra distribuida en 564 municipios de 16 departamentos donde se puede destacar que el departamento de Cundinamarca tiene el 37% de su suelo dedicado a esta actividad agrícola; convirtiéndose la caficultura como una de las más representativas para la economía colombiana

En el año 2012, World Widlife fund (WWF) público un documento titulado *Una Mirada a La Agricultura De Colombia Desde su Huella Hídrica* , donde se encontró que la Huella Hídrica Verde (HHV) representa el 88% de la Huella Hídrica Total (HHT), lo que significa aproximadamente 34,242 m3/año, destacando que los cultivos de café, plátano, maíz y caña de azúcar, sumaron más del 50 % de esta huella. Respecto a la Huella Hídrica Azul tuvo una representatividad del 7% lo cual representa 2.804 m3/año y en último lugar la Huella Hídrica Gris con un porcentaje de 5% con un volumen de 2.098 m3/año. Finalmente el documento plantea la necesidad de emprender estudios que analicen con mayor detalle productos con alto grado de productividad y elevado consumo de agua como el cultivo de café, por su contribución potencial en la contaminación del recurso agua y uso insostenible

Hasta el momento, no se han realizado estudios locales de la huella hídrica de café en Colombia, por lo cual el presente trabajo busca evaluar la Huella Hídrica del cultivo de café , en la etapa de producción y beneficio húmedo en el municipio de Anolaima ;y así determinar la presión generada por esta actividad en cuanto a demanda de agua y descarga de aguas mieles , para esto se tomó como piloto de análisis la finca la Unión ubicada en el municipio de Anolaima , con el fin de establecer con base a dichos análisis un comportamiento próximo a nivel regional.

Para el desarrollo del trabajo se estableció una metodología conformada por 3 fases enfocadas en: realizar un análisis productivo, evaluar la huella hídrica total calculando cada una de sus componentes (huella hídrica verde, azul, gris) y finalmente definir el grado de presión generado por esta actividad económica, sobre la fuente de abastecimiento

que es el río Bahamón. Gracias a esto se identificó que la presión generada por esta actividad sobre el recurso hídrico es muy fuerte (119%) siendo la huella hídrica verde y gris las más representativas.

1 RESUMEN

The water footprint is an indicator to quantify the amount of water that is used to carry out any production process or to satisfy any need. This indicator also allows to estimate the average amount of water that people consume directly and indirectly.

The direct use would be those uses that are related to the obvious and immediate use, for example cooking, cleaning or washing.

There are also indirect ways of water consumption resources, which are equally or more important than direct ways, for instance the amount of water that is required through the entire production process to produce a cup of coffee (140 liters per cup- WFN, 2008 Network) considering every stages involving water consumption.

This project involves the quantification of water footprint indicator in some Coffee crops located in Anolaima which is a small town in the Departamento of Cundinamarca.

For this purpose was necessary to take the farm “La Unión" as an analysis pilot to determinate some variables such as: yield production, high of crops, planting date and so on.

The information collected from the water footprint in the farm La Union was taken as a benchmark for an approximation to the total water footprint of coffee plantations in the “municipio de Anolaima" in the productive phase and wet mill.

It was considered the whole area cultivated and coffee production reported by the Municipal Committee of Coffee located in Anolaima.

Determining the water footprint requires to find out its 3 components: the green, blue and gray water footprint.

The gray water footprint requires to calculate 4 important variables in the production stage: the first one is the amount of fertilizer used on the coffee crops, the second one is the fraction of leaching which depends on the kind of soil and type of fertilizer, the third one is the natural concentration of some chemicals and the fourth one is the legal concentration of fertilizer in water based on the national law.

The blue water footprint was calculated by finding the effective rainfall, irrigation needs by crops, reference potential evapotranspiration, most of information was taken from the weather station called La Florida.

The water footprint green was found by calculating the effective rainfall; this information was provided by the nearest weather station located in Anolaima.

Finally it was applied some pressure indicators based on water supply watershed. These indicators provide useful information to analyze if the water needs from the coffee crops are high or low. This document will also recommend some strategies to handle a possible shortage in the future.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la Huella Hídrica del cultivo de café en la etapa de producción, en el municipio de Anolaima y determinar la presión generada por esta actividad en cuanto a demanda de agua y descarga de aguas mieles.

2.2 Objetivo especifico

- Elaborar un diagnóstico del proceso productivo en la finca la Unión (necesidades de agua y generación de vertimientos del proceso) que sirva como referente para un análisis regional.
- Determinar la huella hídrica del cultivo de café mediante de sus tres componentes básicos: cálculo de la huella hídrica verde, azul y gris.
- Determinar los efectos generados por el consumo de agua y la descarga de aguas mieles del proceso productivo del café en el municipio y establecer los efectos de esta actividad sobre el recurso hídrico.
- Analizar la presión ejercida sobre la cuenca de abastecimiento de los cultivos de café por medio de la aplicación de indicadores propuestos.

3 MARCO TEORICO

A continuación se definen las variables de interés para cada una de las componentes de la Huella Hídrica mostrando su fuente de cálculo, connotación y significado para efectos del presente trabajo.

3.1 Huella Hídrica Verde (HHV)

Representa el volumen de agua lluvia que es consumido por la vegetación y que por ende es aprovechado por los cultivos para su desarrollo, por lo anterior no debe tomarse en cuenta el agua que se infiltra y la que se convierte en escorrentía. Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde fue necesario considerar las siguientes variables:

- **Precipitación Efectiva(P_{ef}):**

Volumen de agua proveniente de las precipitaciones que no se pierde por escorrentía superficial ni por percolación, queda acumulada y disponible para la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos. Se tuvo en cuenta la metodología empleada por la FAO la cual definen la precipitación efectiva como un efecto combinado entre la precipitación confiable y las pérdidas de agua por los fenómenos de percolación y escorrentía. Para el presente trabajo, se calculó mediante la fórmula del AGLW (Servicio de Recursos, Fomento, Aprovechamiento de Aguas de la FAO) para lo cual se utilizó la información ofrecida por la estación meteorológica La Florida.

3.2 Huella Hídrica Azul (HHA)

Corresponde a la cantidad de agua requerida por parte de los cultivos para la satisfacción de sus necesidades. Se planteó el cálculo de la Huella Hídrica Azul teórica (HHAt), la cual sigue una metodología propuesta por la FAO para definir las necesidades de agua de riego para los cultivos y una Huella Hídrica Azul experimental (HHAe) basada en los datos de las concesiones de agua otorgadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, al municipio de Anolaima. Se han planteado ambas metodologías para analizar los requerimientos teóricos de agua y la cantidad real de agua proveniente de irrigación. A continuación se definen las variables de interés para la HHAt.

- **Requerimiento Hídrico de los Cultivos**

Hace referencia a la cantidad de agua que debería ser suministrada a la planta para que compense las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración. Numéricamente esta cantidad correspondería a la evapotranspiración del cultivo de café. Esa cantidad de agua debe quedar disponible para compensar las pérdidas de agua y así los cultivos puedan desarrollarse plenamente. Para la huella hídrica azul teórica, su fuente de cálculo es el programa CROPWAT 8.0 elaborado por la FAO y para la huella hídrica azul se tomaron en cuenta datos recolectados en campo y los datos de las concesiones otorgadas por la CAR.

- **Evapotranspiración potencial de Referencia**

Corresponde a la sumatoria de las pérdidas de agua debido al proceso de transpiración de la planta junto con las que ocurre en el suelo de una superficie cultivada.

3.3 Huella Hídrica Gris (HHG)

Se define como el volumen de agua teórico necesario para la dilución de los contaminantes generados en un proceso, para que sus concentraciones se encuentren bajo un requerimiento específico (Por ejemplo la normatividad ambiental). Esta cantidad de agua no es reincorporada en el proceso si no que es descartada del proceso productivo. A continuación se exponen las variables asociadas al cálculo de la HHG en la fase de aplicación de fertilizantes y las del beneficio húmedo.

- **Aplicación de Fertilizantes Químicos.**

Consiste en el cálculo de la cantidad de fertilizantes empleados en los cultivos de café, teniendo en cuenta la frecuencia de aplicación, cantidad y su composición química. El Comité de Cafeteros sugiere fertilizantes que contengan Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Manganeso.

- **Fracción de Lixiviación (FL)**

Cantidad o fracción porcentual de las sustancias químicas aplicadas a los cultivos que se infiltran o percolan hasta llegar a los cuerpos de agua subterráneos.

- **Concentración Natural de Contaminantes**

Cantidad de contaminantes por unidad de volumen encontrada en el cuerpo de agua de abastecimiento de análisis. Este dato es empleado para tener en cuenta solo los fertilizantes que se infiltran por la actividad referida.

- **Concentración Legal del Contaminante de Interés**

Corresponde a la concentración máxima de los contaminantes según la normatividad de aguas que aplique. Dicha concentración no podrá ser excedida según lo reglamentado por la norma de acuerdo al uso que se le desee dar.

3.4 Datos requeridos CROPWAT 8.0

CROPWAT 8.0 es un software diseñado por la FAO para estimar la cantidad de agua necesaria para riego de un cultivo específico, mediante la determinación de la Evapotranspiración potencial (Et_o) calculada con las fórmulas de Penman-Monteith. Para estos cálculos es necesario suministrarle al software una serie de datos climatológicos, del cultivo y suelo. A continuación se definen cada una de las variables necesarias para el cálculo de la Huella Hídrica mediante el empleo del programa.

3.4.1 Características climatológicas

Para el estudio se tomaron los datos de temperatura máxima y mínima, humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día), insolación (h), precipitación (mm); datos suministrados por la estación meteorológica La Florida. Ver anexo 1

3.4.2 Características del cultivo

Con el fin de conocer los requerimientos hídricos del cultivo de café, para estimar su Huella Hídrica Azul, fue necesario conocer ciertas características, que se presentan a continuación:

a) ***Fecha de siembra:*** Este dato en conjunto con la duración de las etapas de crecimiento, le permite al software calcular la fecha de cosecha. (FAO, 2010b). En el caso de cultivos perennes el dato de la fecha de siembra se reemplaza por el momento en que vuelve a comenzar el ciclo del árbol (Allen *et al.*, 1998)

b) ***Coeficiente del cultivo (K_c): Es*** la relación que existe entre la Evapotranspiración real (ETc) de un cultivo específico y la evapotranspiración potencial (Et_o) en las mismas condiciones climatológicas, por lo tanto es un número adimensional**.** Este coeficiente depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo. Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha. La ilustración 1, presenta en forma generalizada, la curva del coeficiente del cultivo, poco después de la plantación de cultivos anuales o poco después de la aparición de las hojas nuevas en el caso de los cultivos perennes, (FAO, 2006)

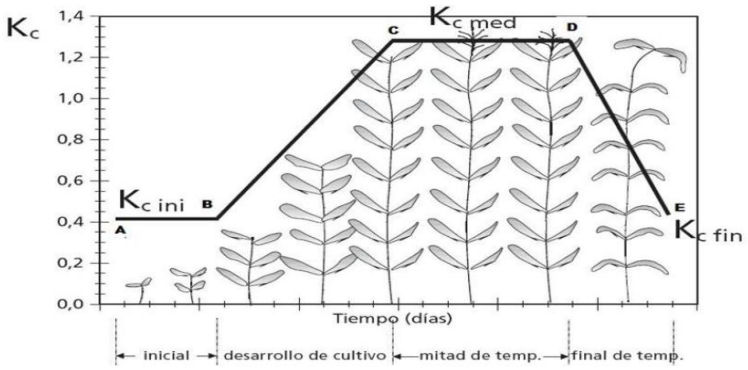


Ilustración 1: Curva generalizada del coeficiente del cultivo

Fuente: Estudios FAO, Estudio 56: Riego y drenaje

En la Tabla 1 se integran los valores típicos de Kc de diferentes tipos de cultivos teniendo en cuenta los efectos de la transpiración y la evaporación en el tiempo.

Tabla 1: Coeficientes de cultivos agrícolas (K_c)

Cultivo	Coeficiente de cultivo		
	Kc inicial	**Kc medio**	**Kc final**
Banano	0,5	1,10	1,00
Naranja	0,85	0,85	0,85
Café	0,90	0,95	0,95

Fuente: Estudios FAO, Estudio 56: riesgo y Drenaje, adaptado por las autoras.

c) Etapas de crecimiento : Desde el desarrollo de la flor hasta la maduración del fruto trascurren en promedio de 220 a 240 días dependiendo de la región, pasando por diferentes estados así:

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

d) Profundidad radicular : Es la distancia a la cual las raíces de un cultivo específico penetran un suelo para aprovechar las reservas de agua presentes .La profundad radicular del cultivo de café se clasifica así:

- *Profundidad radicular en la etapa inicial*: Representa la profundidad efectiva del suelo a partir de la cual las plántulas son capaces de extraer agua, normalmente corresponde a raíces entre 0,25 y 0,6 metros.
- *Profundidad radicular máxima:* Corresponde a la profundidad máxima que presentan las raíces de las especies cuando son cultivadas, es decir, cuando su desarrollo esta manejado por el hombre, esto impide que las raíces crezcan hasta encontrar agua.
  El sistema radicular del cultivo de café está desprovista de pelos radiculares por lo cual la raíz es extremadamente exigente en la buena aireación del suelo. De acuerdo a estudios realizados por FAO, la profundidad radicular máxima del cultivo de café está entre los 90 - 120 cm.

e) ***Fracción agotamiento crítico (p):*** La fracción de agotamiento hídrico (p) corresponde a la fracción promedio del Agua Total Disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de que el cultivo presente estrés hídrico. De acuerdo a la FAO, la fracción de agotamiento crítico del cultivo es de 0,40 para evapotranspiraciones (ET) ≅ de 5mm dia^{-1}. El valor (p) puede ser ajustado para otros valores de evapotranspiración. Mediante la siguiente expresión:

$$P_{ajustado} = P_{5mm} + 0{,}04\ (5 - ET)$$

f) ***Factor respuesta rendimiento (ky):*** Este factor describe como la productividad del cultivo va disminuyendo según disminuye la ET como resultado a la falta de agua. Esta reducción relativa de la productividad es más pequeña durante las etapas de desarrollo y maduración, aumentando en las etapas de floración y formación del fruto (Allen *et al.*, 1998).

Tabla 2: Factor de Respuesta de Rendimiento según la edad de los cultivos de café

Año	K_y
2	0,2
3	0,4
4	0,6
5	0,8
6	1,0

Fuente: Coffee yield response factor as related to the water deficit
http://www.scielo.br/pdf/brag/v62n1/18510.pdf

3.4.3 Características del suelo:

Con esta información se busca establecer características del suelo con el fin de determinar la disponibilidad de agua para el desarrollo del cultivo y demás factores relacionados con el suelo que pueda afectar el crecimiento óptimo de las plantas

- ***Humedad del suelo:*** Se define como la cantidad de agua contenida en un volumen de tierra. Este indicador es de vital importancia para el desarrollo de las actividades agrícolas ya que da cuenta de la cantidad de agua disponible. Entre los factores influyentes en el contenido de humedad del suelo se encuentra el clima, propiedades del suelo, topografía y la cobertura del suelo. Los límites para la humedad aprovechable son los contenidos de

humedad a Capacidad de Campo (C. de C.) y a Punto de Marchitez Permanente (P.M.P.) y se expresan en contenido gravimétrico (a menos que se indique lo contrario).

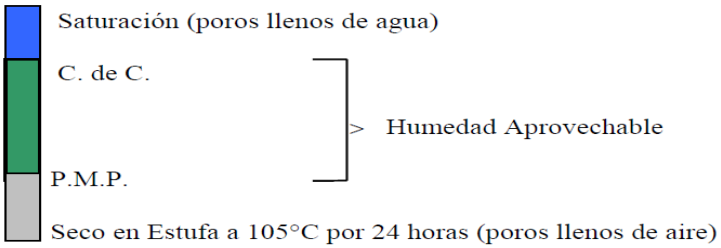


Ilustración 2: esquema contenido de humedad del suelo

Fuente: Manual de estudio y ejercicios

Es importante destacar que dependiendo del tipo de suelo de la zona de estudio ya se han establecido unos porcentajes aproximados de C.C y P.M.P para el suelo, como se muestra en la tabla 3

Tabla 3: Contenido humedad según tipo de suelo

Textura	C. de C. (%)	P.M.P. (%)
Arcilla	23-46	13-29
Franco arcillosa	18-23	9-10
Franca	12-18	4-11
Franco arenosa	8-13	4-6
Arena	5-7	1-3

Fuente: Manual de estudio y ejercicios

- ***Tasa máxima de infiltración:*** Representa la lámina de agua que puede infiltrar en el suelo en un período de 24 horas, se calcula en función del tipo de suelo, la pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego.

4 METODOLOGIA

Para el desarrollo del proyecto, se estableció una metodología de carácter cuantitativa y cualitativa ya que se requiere de la recolección de datos de carácter numérico que permita describir las cualidades del fenómeno generado por el cultivo de café en el municipio de Anolaima, para finalmente generar una teoría sobre el comportamiento. Con base a esto, el proyecto se desarrolló en tres fases:

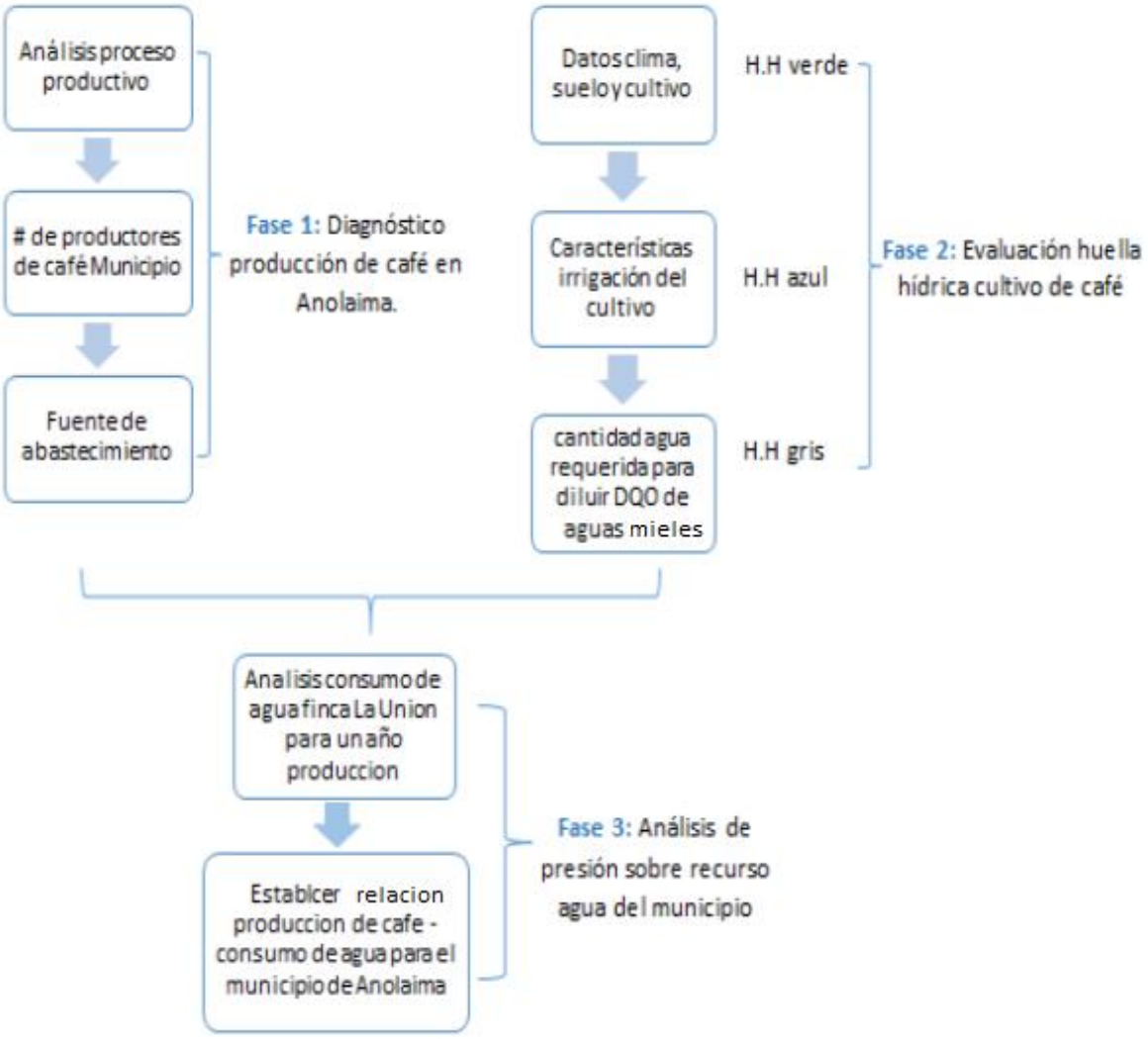


Ilustración 3: Metodología

4.1 Fase 1: Diagnóstico producción de café en Anolaima

Esta fase permite hacer una aproximación sobre la producción de café en el municipio de Anolaima por lo cual esta fase contará con tres etapas, así:

Tabla 4: Fase 1 metodología

	Importancia	**Mecanismos**	**Fuente**
Análisis proceso productivo **(finca la Unión)**	Tecnificación del proceso Requerimientos hídricos Vertimientos	Visitas de campo Análisis de las operaciones unitarias Información secundaria (CENICAFE)	Las Autoras CENICAFE

Producción café en el municipio	Influencia actividad económica Demanda de recursos hídricos	Encuestas Visitas de Campo Análisis de Información secundaria	Las Autoras Comité Cafetero del municipio
Fuente de abastecimiento	Presión sobre el recurso hídrico	Análisis de información de acueducto y concesiones CAR EOT	Acueducto ACUAVER y Mesitas de Caballero Oficina provincial de Tequendama CAR

Fuente: Las Autoras.

4.2 Fase 2: Evaluación Huella Hídrica Cultivo de Café

Esta fase requiere de la recolección de varios datos que ayudaran en el cálculo de cada uno de los componentes de la Huella Hídrica:

Tabla 5 : Fase 2 metodología

	Información	**Mecanismo**	**Fuente**
Huella Hídrica Verde (HHV) [m3 /ton]	Meteorológica Suelo Cultivo	Estación La Florida Análisis de datos CENICAFE, EOT del municipio	IDEAM CENICAFE
Huella Hídrica Azul (HHA) [m3/ton]	frecuencia, cantidad y tiempo de irrigación que necesita el cultivo	diseño formato recolección de información Información secundaria CENICAFE	Las Autoras CENICAFE
Huella Hídrica Gris (HHG) [m3/ton]	DQO (25.000 ppm y 110.000 ppm) Calculo de la cantidad de Fertilizantes.	Análisis de las Autoras	CENICAFE Las Autoras

Fuente: Las Autoras.

4.3 Fase 3: Análisis presión sobre el recurso agua del municipio

La evaluación de la Huella Hídrica de un proceso productivo en este caso de la producción de café permite identificar relaciones causa –efecto a nivel socio ambiental, que ayuda en la toma de decisiones para la gestión adecuada de los recursos naturales y el desarrollo de sistemas productivos más sostenibles:

Tabla 6: fase 3 Metodología

	Importancia	Mecanismos	Fuente
Análisis consumo de agua finca la Unión	Establecer relación área cultivada, kilos de café cerezo producidos y cantidad de agua utilizada	Seguimiento proceso productivo finca la unión. Datos Comité Cafetero	Comité Cafetero
Establecer relación producción de Café –Consumo de agua	Luminosidad Variedad Densidad Tipo caficultura	Datos Comité Cafetero Análisis producción finca La Unión	Comité Cafetero

Fuente: Las Autoras.

5 ÁREA DE ESTUDIO Y CULTIVO

La determinación de la Huella Hídrica a nivel agrícola, requiere de la definición de un área de estudio y un tipo de cultivo con el fin de establecer el consumo de agua por la generación de un bien específico. A continuación se presentan las definiciones de área y cultivo correspondientes.

5.1 Cultivo de café:

El cultivo de café, es uno de los más representativos del país. Del área sembrada, el 75% se encuentra localizado en los departamentos de Caldas, Antioquia, Tolima y Cundinamarca. Según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en colaboración con Gobernación de Cundinamarca, el Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola y Asohofrucol (2006) el 37 % del suelo del Departamento de Cundinamarca se encuentra ocupado por este tipo de cultivo.

En cuanto a los procesos productivos que involucran agua, tradicionalmente el café ha sido beneficiado por vía húmeda, utilizando grandes cantidades de agua que se encuentran alrededor de los 40 Litros por kilogramo de café, lo cual genera aguas residuales (aguas mieles) con un alto nivel de DQO.

Ilustración 4: Plantas de café.

5.2 Área de estudio

El municipio de Anolaima, debido a su ubicación geográfica y relieve presenta diversos pisos términos: cálido, templado, frío, destacando que la mayor parte del municipio es de clima cálido. La base principal de su economía corresponde a las actividades de carácter agrícola y pecuario. Aproximadamente el 30% del territorio cuenta con cultivos permanentes como: café, plátano, caña de azúcar, cítricos, guayaba, mango entre otros; lo que le ha dado el reconocimiento de Capital frutera de Colombia.

Anolaima, cuentan con las condiciones de clima, suelo y relieve requeridas para el desarrollo óptimo del cultivo de café , por lo cual el municipio forma parte del Ecotopo cafetero 3A (Cordillera Oriental – Vertiente Occidente), lo que hace que sea parte de la planificación regional en aspectos como la evaluación de cosechas, experimentación, ejecución de proyectos y la asignación de recursos para la actividad cafetera y su población vinculada. La investigación realizada se llevó a cabo en la finca la Unión, ubicada en la vereda Mesitas de Caballero perteneciente al municipio de Anolaima; esta delimitación se realizó por la necesidad de contar con datos de una zona de estudio específica que permita establecer un comportamiento próximo al nivel regional. La finca L a Unión tiene una extensión de aproximadamente 3 hectáreas, de las cuales 1 Ha se encuentra cultivada con café variedad Castillo, en la tabla 7, se presenta información de la finca de acuerdo a datos suministrados por el Comité Cafetero del municipio.

Tabla 7: Estructura de la finca

Finca la unión	
Ecotopo	314 A
Aerofoto	00001
Código SICA	2504001463
Número de arboles	3300
Área café	1 Ha
Forma cultivo	Cuadrado
Luminosidad	Sol Semisombra Sombra
Tipo cultivo	Tecnificado joven

Fuente: *Comité Cafetero municipio de Anolaima.*

Ilustración 5: Aerofoto área de estudio

Fuente: *Comité Cafetero municipio de Anolaima.*

6 PRODUCION DE CAFÉ FINCA LA UNION

La finca cuenta con 1 Ha cultivada con café variedad castillo, distribuido en tres lotes de 0,4, 0,3 y 0,3 Ha a condiciones de sol, semisombra y sombra respectivamente .Para estimar la generación de café en el área de estudio, se escogieron 6 plantas al azar en cada uno de los lotes, a las cuales se le monitoreo la producción en la temporada de cosecha para así estimar la cantidad de café producida. La Tabla 8 presenta los datos recolectados en campo.

Tabla 8: Producción promedio café, finca La Unión

	Producción café cerezo (Lb)		
Planta	**Sol**	**Semisombra**	**Sombra**
1	3,1	2	1
2	3,2	1,6	0,9
3	3	1,8	0,9
4	3	1,9	1,2
5	3,1	1,3	1
6	2,9	1,3	0,8
Promedio	3,1	1,7	1,0

Fuente: *Las Autoras*

De acuerdo a esta información se estableció, que la producción promedio de una planta de café variedad castillo, a condiciones de sol es de aproximadamente es de 3.1 lb, 1,7 y 1 lb para condiciones de semisombra y sombra respectivamente, lo que representa reducciones significativas en la producción que van desde el 45,16 y 67,74 % en comparación con la producción bajo condiciones de sol.

Con la información recolectada y la suministrada por el Comité Cafetero del municipio acerca de la estructura de la finca La Unión (Tabla 7) y el comportamiento del cultivo de café, se determinó la producción total de café cerezo de la finca en estudio, así:

Tabla 9: Producción Café, finca La Unión

Producción promedio (Lb)	**Total plantas**	**Lb**	**Kg**
3,1	1000	3050,00	1525,00
1,7	1300	2145,00	1072,50
1,0	1000	966,67	483,33
	Total	6161,67	3080,83

Fuente: *Las Autoras*

De acuerdo con la información de la tabla 9 , en finca La unión se produce alrededor de 3080,83 kg de café cerezo para la temporada de cosecha. Es importante destacar que el cultivo de café presenta dos temporadas en la que es posible realizar la recolección de café. La primera recolección (mayor volumen) se presenta en los meses de Abril – Junio y la segunda llamada mitaca donde se presenta una reducción del 30 % con respeto a la primera cosecha, por lo cual se estableció que la producción de café en la finca La Unión para un año productivo es de 4929,33 kg de café cerezo.

6.1 Proceso productivo

En la finca La Unión , el proceso productivo del café es tradicional no tecnificado y su beneficio se hace por medio de vía húmeda. A continuación se describen cada una de las operaciones unitarias desarrolladas a través de sus etapas:

Tabla 10: Proceso productivo finca La Unión

Etapa	Ilustración
1. **Recolección**: En esta etapa se cosechan únicamente los granos que alcanzan el estado de madurez completa, normalmente de color rojo o amarillo, ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café. Todo este proceso se desarrolla de forma manual	
2. **Despulpe:** En esta fase se le retira la pulpa a los granos de café recolectados por medios mecánicos	
3. **Lavado :** Es el único proceso donde es indispensable o se requiere el uso de agua Se realiza cuando el café ha alcanzado el punto de fermentación adecuado	

4. **Secado:** Para hacer que disminuya la humedad hasta el nivel máximo del 12.5% se seca el café al sol.

6.2 Rendimiento del cultivo

Debido a las operaciones unitarias a las cuales el café cerezo se ve expuesto, se hace necesario determinar la cantidad de café seco que se produce, por lo cual se definieron los porcentajes de reducción mediante la recolección de datos en campo (Tabla 11); para esto fueron analizadas 25 lb de café cerezo tomadas del café previamente recolectado por el personal de la finca , las cuales fueron sometidas a proceso productivo normal establecido por la finca La Unión para así determinar las cantidades de pulpa y granos de café obtenidos. Este análisis conto con dos réplicas con el fin de verificar los datos.

Ilustración 6: Pulpa y Granos de café despulpados

A continuación se presenta la relación pulpa – café pergamino obtenido mediante el análisis del proceso de despulpado en la finca La Unión:

Tabla 11 : Relación pulpa – café Pergamino

Lb café cerezo	Lb pulpa	Lb granos de café
25	9,5	15,5
25	9,3	15,7
25	9,5	15,5
Promedio	9,43	15,57

Fuente: Las Autoras

Con la información anterior se identificó que del procesamiento de 25 lb de café cerezo el 38 % se convierte en residuos (pulpa) y el solo el 62. % son granos recubiertos de pergamino mucilagoso, los cuales pasan a la etapa de fermentación, lavado y secado; etapas en las cuales sigue presentándose pérdidas significativas de peso por la remoción del mucilago y la disminución de la humedad del grano como se muestra a continuación:

Tabla 12: Relación Café pergamino – Café seco

Lb granos de café	Lb café seco
15,5	5
15,7	4,8
15,5	5

Fuente: Las Autoras

Finalmente se concluyó que de las 25 lb de café cerezo, que fueron sometidas al proceso de producción normal de la finca La Unión, presentaron una reducción del 80 % lo que indica que se obtienen 5 lb (20%) de café seco disponibles para comercialización.

Ilustración 7: Café seco, para comercialización

Debido a que la determinación de la Huella Hídrica requiere la definición de la variable rendimiento del cultivo, considerada como la cantidad de café seco producido en relación con la superficie en la que fue cosechado; los análisis anteriores permiten estimar esta variable. Por lo cual se estableció el siguiente cuadro de información

Tabla 13: Rendimiento Cultivo de café.

Número de arboles	3300
Superficie cultivo (Ha)	1
Kg total de café cerezo producido	4929,33
% de reducción	80%
Kg café seco	985,87
Rendimiento de Café Seco (Ton/ Ha)	0,98587

Fuente: *Las Autoras*

7 BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ

El beneficio del café es un método usual de transformación del café cerezo a café pergamino seco. Existen dos vías por las cuales se puede realizar este proceso que es por vía seca o vía húmeda, pero tradicionalmente el beneficio del café se ha realizado por vía húmeda ya que según expertos por este método se mejoran las condiciones de sabor y aroma del café. El principal inconveniente de este proceso radica en las grandes cantidades de agua que se requieren para el lavado de los granos

de café con el fin de remover el mucilago y demás impurezas que puedan afectar la calidad del mismo.

En el procesamiento del café por vía húmeda, se generan residuos líquidos altamente contaminantes por su valores de acidez, contenido de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor (Matuk,V., Puerta,G.,& Rodriguez,V , 1997).

Para determinar la cantidad de agua utilizada en la Finca La Unión durante el beneficio húmedo del café se realizaron 7 visitas de campo donde se analizó el proceso productivo y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 14: Datos relativos al beneficio húmedo del Café

Fecha	Café cerezo (Kg)	Café despulpado (kg)	Agua Lavado (L)	Relación Agua Café(L/kg)
02/04/2014	100	62	151,4	2,45
15/04/2014	104	64,48	158,456	2,39
08/05/2014	137,2	85,064	209,7208	2,40
14/05/2014	439	272,18	665,646	2,41
18/05/2014	135	83,7	204,39	2,399
29/05/2014	67	41,54	101,438	2,4
03/06/2014	52	32,24	78,728	2,484

Fuente: Las Autoras

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 14 , se establece que para el beneficio de 1 Kg de café despulpado se requieren 2,4 litros de agua. Con base en esto y con la información de la cantidad de café producida en un año en la finca en estudio se determinaron las cantidades de agua para el procesamiento de la totalidad de café recolectado:

Tabla 15: cantidad agua (L) año productivo

Temporada	%	Café cerezo (Kg)	Café despulpado(kg)	Café seco (kg)	Agua (L)
Abril-Junio	62,49	3080,33	1909,8046	616,066	4583,53104
Octubre-Noviembre	37,51	1849	1146,38	369,8	2751,312
Total	100	4929,33	3056,1846	985,866	7334,84304

Fuente: Las Autoras

8 PRODUCCIÓN DE CAFÉ MUNICIPIO DE ANOLAIMA

Los cultivos de café, tienen ligada su productividad a 4 parámetros que son: Luminosidad (sol, semisombra, sombra), variedad del café (Castillo, Colombia, Tabí, Caturra, Típica), tipo de caficultura (tecnificado Joven, tecnificado envejecido, tradicional) y la densidad.

Las condiciones de latitud y altitud actúan como limitantes de la disponibilidad hídrica y de energía térmica para el cultivo de café , el Comité Cafetero del municipio de Anolaima recomienda la estabilización de cultivos con densidades de 4400 a 5600 plantas/ha , con distancias de siembra de 1.50 x 1,50 o 1,30 X 1.30 por dos razones : a medida que aumenta la población, hay

un incremento de la competencia por los recursos necesarios para el crecimiento , afectando la producción ; y si se presentaran períodos secos muy prolongados , no son convenientes las densidades de siembra altas tanto para el café como para el sombrío, ya que se aumenta la cantidad de agua interceptada por la parte aérea de las plantas, disminuye la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo (CENICAFE,2004) limitando la producción.

El Centro De Investigación De Café, desarrolló en el año 2004 un estudio en el municipio de la Palestina (Caldas) con el fin de establecer el rendimiento de los cultivos de café de acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 16:

Tabla 16: Producción de Café por parámetro

Variedad	Luminosidad*	Tipo Caficultura*	Producción café Cerezo (Kg)
Castillo	S	TJ	1,08
	Sm	TJ	0,63
	SS	TJ	0,9
Colombia	S	TJ	1,2
	Sm	TJ	0,98
	SS	TJ	1,08
Tabi	S	TJ	1,8
	Sm	TJ	1,26
	SS	TJ	1,3
Caturra	S	TJ	0,9
	Sm	TJ	0,63
	SS	TJ	0,7
Típica	S	TJ	1,62
	Sm	TJ	1,08
	SS	TJ	1,3

**Para el parámetro luminosidad defínase S =sol, Sm = Sombra, SS= Semisombra, parámetro tipo de caficultura TJ= tecnificado Joven*

Fuente: CENICAFE. (2004). Adaptado por Las Autoras

Con la información anterior, se establece que los cultivos bajo sol presentan mayores niveles de producción, ya que la luminosidad juega un papel fundamental en el índice foliar de la planta lo que tiene implicación directas en la producción. Se identificó que el café variedad Tabi, presenta los mayores niveles de producción seguido del café variedad Típica y Colombia.

De acuerdo a información suministrada por el Comité Cafetero del municipio, basados en trabajos de campo y la experiencia de sus investigadores, han determinado que los cultivos desarrollados bajo tipo de caficultura tecnificado joven, presentan mayores rendimientos en comparación con los cultivos tecnificados envejecidos y tradicionales, ya que las dos últimas presenta reducciones del 10 y 15 % respectivamente en comparación con los cultivos tecnificados joven.

Con la anterior información se determinó la producción de café para las verederas pertenecientes al municipio de Anolaima , basados en el valor más representativo de los parámetros luminosidad, variedad del café, tipo de caficultura y densidad que se presenta en la tabla 17 , tomando como base los datos suministrados por el Comité Cafetero de la zona (ver anexo 2)

Tabla 17: Producción Café, municipio de Anolaima

Vereda	Área cultivada (ha)	Densidad cultivo ($\frac{plantas}{ha}$)	Prod. Café cerezo 1° cosecha ($\frac{Kg}{Planta}$)	Prod. Café mitaca ($\frac{Kg}{Planta}$)	Total café cerezo (Kg)	Total café seco (kg)	Rendimint. Cultivo ($\frac{Ton}{ha}$)
Balsillas	2,02	5128	0,63	0,38	10441,43	2088,29	1,03
Barrio San Antonio	2,73	3200	0,918	0,55	12831,44	2566,29	0,94
Barrio San Vicente	0,51	4444	0,63	0,38	2284,57	456,91	0,90
Cajón	2,82	4444	1,08	0,65	21655,43	4331,09	1,54
Calandaima	82,94	3267	0,98	0,59	424873,09	84974,62	1,02
Cayunda	13,18	3704	0,63	0,38	49209,27	9841,85	0,75
Centro	0,67	5128	0,567	0,34	3116,92	623,38	0,93
Chiniata	114,62	3922	1,13	0,68	812767,67	162553,53	1,42
Chiniata Baja	9,22	3460	1,17	0,70	59719,05	11943,81	1,30
Corama	12,48	3333	1,08	0,65	71877,61	14375,52	1,15
El Descanso	26,52	4444	1,3	0,78	245138,15	49027,63	1,85
El Platanal	51,87	3676	1,3	0,78	396602,17	79320,43	1,53
Ilo	2,3	3200	1,08	0,65	12718,08	2543,62	1,11
La Esmeralda	26,41	3333	1,3	0,78	183091,02	36618,20	1,39
La Laguna	32,8	2800	1,08	0,65	158699,52	31739,90	0,97
La María	103,25	2800	1,08	0,65	499564,80	99912,96	0,97
Limonal	1,62	4200	1,04	0,62	11321,86	2264,37	1,40
Luchima	1,85	4167	1,08	0,65	13321,07	2664,21	1,44
Matima	24,82	4444	0,9	0,54	158832,12	31766,42	1,28
Mesitas Del Caballero	23,7	4400	1,3	0,78	216902,40	43380,48	1,83
Milan	3,16	4762	1,08	0,65	26002,81	5200,56	1,65
Monte Largo	4,47	4444	0,7	0,42	22248,44	4449,69	1,00
Puente Tierra	2,69	3704	1,3	0,78	20724,62	4144,92	1,54
San Agustín	48,03	4444	1,08	0,65	368833,51	73766,70	1,54
San Cayetano	64,62	4444	0,98	0,59	450284,57	90056,91	1,39
San Isidro	21,53	5556	1,08	0,65	206704,54	41340,91	1,92
San Isidro Alto	39,08	5128	0,9	0,54	288579,23	57715,85	1,48
San Isidro Bajo	11,13	4444	1,08	0,65	85469,85	17093,97	1,54
San Jerónimo	29,79	4444	1,08	0,65	228764,32	45752,86	1,54
San Juanito	82,15	2000	1,08	0,65	283910,40	56782,08	0,69

Santa Bárbara	16,8	5128	0,9	0,54	124056,58	24811,32	1,48
Santo Domingo	174,26	4444	1,3	0,78	1610775,80	322155,16	1,85
Tocarema	1,99	3600	1,3	0,78	14901,12	2980,22	1,50

Fuente: *Las Autoras*

Con los datos que se muestran anteriormente , se determinó que el municipio de Anolaima produce 7.096.223,43 kg de café cerezo ,teniendo en cuenta el porcentaje de reducción (80%) que sufre el café por el proceso productivo que se le realiza ; se establece que el municipio genera 1´419.244,69 kg de café seco para comercialización.

9 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo de la Huella Hídrica la cual está representada por la sumatoria de cada una de las componentes como lo muestra la **Ecuación 1.** Para la finca La Unión, en el municipio de Anolaima y cada una de las veredas asociadas a este municipio. La finca La Unión, sirvió como piloto de análisis para alguno de los datos que se mostraran en el desarrollo del proyecto.

$$\boldsymbol{HH\ cultivo = HHVerde + HHAzul + HHGris}$$

Ecuación 1

9.1.1 Estimación Huella Hídrica verde (HHV):

Esta componente corresponde al cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación efectiva y el rendimiento del cultivo. [y, (ton/m^2)] (Hoekstra et al., 2009).

$$HHv = \frac{P_{ef}}{Y}$$

Dónde***:*** ***Ecuación 2***

$P_{pef} = Precipitación\ efectiva\ en\ metros\ \ (m)$
$Y = Rendimiento\ del\ cultivo\ (Ton/m^2)$

9.1.1.1 Precipitación efectiva (P_{Pef}):

Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total que no se pierde a través de escorrentía superficial ni infiltración, sino que queda disponible para el aprovechamiento de la planta (FAO, 2010b).

Para su cálculo se configuro el programa CROPWAR 8.0 para que implementara la formula AGLW en la cual se considera la estimación de la precipitación efectiva como un efecto combinado de la precipitación confiable (80% probabilidad de excedencia) con las pérdidas por escorrentía superficial y percolación profunda (FAO, 2010b).

El valor obtenido por parte del programa fue de 771, 3 mm o 0,7713 m (Ver anexo 3), dicho valor es constante para la huella hídrica verde de la finca La Unión, las veredas y el municipio ya que este valor es independiente de la producción y del rendimiento.

- **Huella Hídrica Verde en la finca La Unión**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la finca la Unión teniendo en cuenta las variables influyentes según la metodología propuesta por la FAO.

Tabla 18 : Huella Hídrica Verde finca La Unión

Precipitación Efectiva (m)	Rendimiento Cultivo (Ton/m^2)	Huella Hídrica Verde (m^3/Ton)	Volumen Total de Agua consumido en un año productivo(m^3)
0,7713	9,8587E-05	7823,547	7713

***Fuente**: Las Autoras*

Lo anterior indica, que para la producción de 985,87 Kg de café seco, se emplearon alrededor de 7713 m^3 de agua.

- **Huella Hídrica Verde Veredal**

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde de las veredas del municipio de Anolaima, se tomaron los datos de rendimiento presentados en la tabla 17, la cual se construyó a partir de la información suministrada por el Comité de Cafeteros.

Adicional a esto se propuso un sistema de calificación compuesto por 4 rangos basados en la identificación del mayor y menor consumo de agua y huella hídrica, permitiendo establecer las veredas con mayor Huella Hídrica y consumo de agua.

Intervalos (Vol. de agua m^3)	# veredas	Calificación Vol. de agua Y HH Verde	Intervalos (HH verde m^3/Ton)	# veredas
3934 - 33866	11	Bajo (B)	4017 – 5802	19
33867 - 674000	19	Medio (M)	5803 – 7588	6
674000 – 1009033	2	Moderado (Md)	7589 – 9374	6
1009034 – 1344067	1	Alto (A)	9375 – 11161	2

A continuación se presenta la tabla 19 donde se resumen los resultados asociados con la HHV por veredas.

Tabla 19: Huella Hídrica Verde y consumo de agua de las Veredas de Anolaima.

Vereda	HH verde café seco m^3/Ton	Volumen de Agua (m^3)	Calificación	
			Vol. De agua	HH Verde
Balsillas	7461	15580	B	M
Barrio San Antonio	8205	21056	B	Md
Barrio San Vicente	8609	3934	B	Md
Cajón	5022	21751	B	B
Calandaima	7528	639716	M	M
Cayunda	10329	101657	M	A
Centro	8290	5168	B	Md

Chiniata	5439	884064	Md	B
Chiniata Baja	5954	71114	M	M
Corama	6696	96258	M	M
El Descanso	4172	204549	M	B
El Platanal	5044	400073	M	B
Ilo	6974	17740	B	M
La Esmeralda	5563	203700	M	B
La Laguna	7971	252986	M	Md
La María	7971	796367	Md	Md
Limonal	5518	12495	B	B
Luchima	5356	14269	B	B
Matima	6026	191437	M	M
Mesitas Del Caballero	4214	182798	M	B
Milan	4687	24373	B	B
Monte Largo	7748	34477	M	Md
Puente Tierra	5006	20748	B	B
San Agustín	5022	370455	M	B
San Cayetano	5534	498414	M	B
San Isidro	4017	166061	M	B
San Isidro Alto	5223	301424	M	B
San Isidro Bajo	5022	85846	M	B
San Jerónimo	5022	229770	M	B
San Juanito	11159	633623	M	A
Santa Barbará	5223	129578	M	B
Santo Domingo	4172	1344067	A	B
Tocarema	5150	15349	B	B
Total	205325	7.990.899		

Fuente: *Las Autoras*

- **Huella Hídrica Verde municipio Anolaima**

A continuación se muestran los resultados de la Huella Hídrica Verde obtenidos para el municipio de Anolaima. Debe resaltarse que la Huella Hídrica Verde es el promedio de todas las Huellas Hídricas Verde veredales teniendo en cuenta el rendimiento de cada una de ellas.

Tabla 20: Huella Hídrica Verde y consumo de agua municipio Anolaima

Precipitación Efectiva (m)	Rendimiento Cultivo (Ton/m^2)	HH Verde (m^3/Ton) Promedio	Vol. Agua consumido año productivo(m^3)
0,7713	0,00013279	5808,3	7’990.899

Fuente: *Las Autoras.*

9.2 Estimación Huella Hídrica Azul (HHA):

Como se indicó anteriormente, se plantearon dos metodologías de cálculo para la Huella Hídrica Azul, la primera de ellas es la teórica que supone el uso del programa CROPWAT 8.0 junto con una serie de información específica y la metodología de cálculo experimental que tendrá en cuenta la cantidad de agua empleada del río Bahamón proveniente de las concesiones de agua otorgadas por la CAR.

9.2.1 Huella Hídrica Azul Teórica (HHAt)

Corresponde al cociente entre el agua aprovechada por el cultivo proveniente de riego [CWU riego (m)] y el rendimiento del cultivo [y, (Ton/m^2)]. (Hoekstra et al., 2009).

$$HHa = \frac{CWU_{riego}}{Y}$$

***Ecuación* 3**

Dónde:

$CWU_{riego} = requerimientos\ de\ riego\ de\ los\ cultivos\ (m)$
$Y = Rendimineto\ del\ cultivo\ (Ton/m^2)$

A continuación se definen cada una de las variables relacionadas con la Ecuación 3**.**

9.2.1.1 Requerimientos de riego cultivo (CWU_{riego})

Cantidad de agua que debe ser suministrada a la planta para compensar las pérdidas provocadas por la evapotranspiración y de esta manera lograr un adecuado crecimiento y desarrollo. Para estimar los requerimientos de riego del cultivo se utilizó el programa CROPWAT 8.0, el cual calcula el CWU_{riego} mediante la estimación de la evapotranspiración potencial .Ver anexo 5

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

- **Huella Hídrica Azul teórica finca La Unión**

Tabla 21: Huella Hídrica Azul teórica Finca la Unión.

Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento Cultivo (Ton/m^2)	HHAt (m^3/Ton)	Vol. total Agua consumido año productivo(m^3)
0,0438	0,000098587	444,28	438

Fuente: *Los Autoras.*

Según la información obtenida por parte del programa, se determinó que según la precipitación disponible y las condiciones de los cultivos se necesitan aproximadamente 0.0438m de agua proveniente de riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

- **Huella Hídrica Azul teórica Veredal (HHAt)**

Fueron determinados cada uno de los valores de HHAt , en las veredas del municipio de Anolaima. Puede evidenciarse que las Huellas Hídricas varían notablemente debido a la diferencia de condiciones en cada una de las veredas , por ejemplo la vereda San Juanito tiene un requerimiento de 633,68 m^3 de agua por Tonelada de café producido, mientras la Vereda Mesitas de Caballero tan

solo requiere 239.29 m^3 de agua por Tonelada de café producido. Para la HHAt se establecieron rangos de calificación utilizando el mismo principio de la HHV

Intervalos (Vol. De agua m^3)	# veredas	Calificación vol. De agua y HH azul	Intervalos (HH. azul teórica m^3/Ton)	# veredas
223,38 - 19249	25	Bajo (B)	228,11 - 329,49	19
19249,01 - 38274,62	5	Medio (M)	329,50 - 430,89	6
38274,63 - 57300,25	2	Moderado(Md)	430,90 - 532,28	6
57300,26 - 76325,88	1	Alto(A)	532,29 - 633,68	2

Tabla 22: Huella Hídrica Azul teórica y consumo total de agua de las veredas Anolaima.

Vereda	HH Azul (m^3/Ton)	Volumen de Agua (m^3)	Calificación	
			Vol. de agua	HH azul
Balsillas	423,68	884,76	B	M
Barrio San Antonio	465,94	1195,74	B	Md
Barrio San Vicente	488,89	223,38	B	Md
Cajón	285,18	1235,16	B	B
Calandaima	427,51	36327,72	M	M
Cayunda	586,56	5772,84	B	A
Centro	470,75	293,46	B	Md
Chiniata	308,84	50203,56	Md	B
Chiniata Baja	338,11	4038,36	B	M
Corama	380,25	5466,24	B	M
El Descanso	236,92	11615,76	B	B
El Platanal	286,42	22719,06	M	B
Ilo	396,05	1007,40	B	M
La Esmeralda	315,90	11567,58	B	B
La Laguna	452,63	14366,40	B	Md
La María	452,63	45223,50	Md	Md
Limonal	313,36	709,56	B	B
Luchima	304,14	810,30	B	B
Matima	342,22	10871,16	B	M
Mesitas Del Caballero	239,29	10380,60	B	B
Milan	266,14	1384,08	B	B
Monte Largo	440,00	1957,86	B	Md
Puente Tierra	284,26	1178,22	B	B
San Agustín	285,18	21037,14	M	B
San Cayetano	314,29	28303,56	M	B
San Isidro	228,11	9430,14	B	B

San Isidro Alto	296,57	17117,04	B	B
San Isidro Bajo	285,18	4874,94	B	B
San Jerónimo	285,18	13048,02	B	B
San Juanito	633,68	35981,70	M	A
Santa Bárbara	296,57	7358,40	B	B
Santo Domingo	236,92	76325,88	A	B
Tocarema	292,47	871,62	B	B
Total	11659,85	453781,14		

Fuente: *Las Autoras.*

- **Huella Hídrica Azul Teórica municipio de Anolaima**

La Huella Hídrica Azul del municipio de Anolaima fue obtenida teniendo en cuenta los resultados de los requerimientos de riego de los cultivos y el rendimiento promedio de todas las veredas asociadas. Se estableció que el volumen total de agua de riego teórico para los cultivos de café es de 453.781 m^3, los cuales compensan las ineficiencias de agua en los cultivos teniendo en cuenta los regímenes de precipitación y la cantidad de agua disponible. A continuación se expresan los resultados.

Tabla 23: Huella Hídrica Azul teórica y consumo de agua municipio Anolaima

Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento por Cultivo (Ton/m^2)	HHAt (m^3/Ton)	Vol. Agua consumido año productivo(m^3)
0,0438	**0,00013279**	**353,33**	**453.781**

Fuente: *Las Autoras.*

9.2.2 Huella Hídrica Azul experimental (HHAe)

Se determinó mediante la estabilización de un patrón de riego basado en cantidad, frecuencia y duración de esta actividad.

- **Huella hídrica azul experimental finca La Unión**

Para determinar el patrón de riego, se entrevistó a la persona encargada del cultivo de café en el predio, quien reporta la implementación de riego en temporadas donde, se presentan pocas precipitaciones en la zona en especial en los meses de Febrero, Agosto y Diciembre. Esta actividad tiene variaciones en la duración que van desde 5 a 10 días. Con base a esta información y con un aforo realizado a la manguera con la cual se realiza el riego, se obtuvieron los siguientes datos:

Volumen 1,25 L	Tiempo de llenado 6 segundos	Caudal 0,26 litros/ segundo

Asumiendo que el caudal se comporta de manera constante y que el riego tiene una duración promedio de 8 días, el CWU_{riego} de la finca la unión es:

$$CWU_{riego} = \frac{Caudal \times tiempo \times duracion}{Área}$$

$$CWU_{riego} = \frac{0{,}00026\, m^3 \;\; s \times 3 \times 11520\, s}{10.000\, m^2} = 0{,}00089856\, m$$

Con lo anterior la Huella Hídrica Azul experimental para la finca es:

Tabla 24: Huella Hídrica Azul experimental Finca La Unión.

Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento Cultivo (Ton/m^2)	HHAe (m^3/Ton)	Vol. Agua consumido año productivo(m^3)
0,00089856	0,000098587	9,11	8,98

- **Huella Hídrica Azul experimental veredal:**

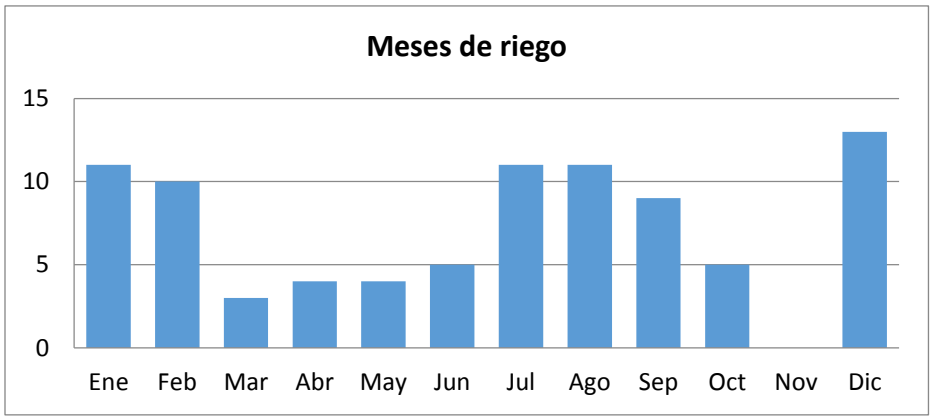
Para definir el CWU_{riego} veredal del cultivo de café, se realizaron 100 encuestas con el fin de estimar los meses en los cuales la población del municipio realiza esta actividad, obteniendo la siguiente información:

Tabla 25: Frecuencia de riego en el municipio de Anolaima.

Meses	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia relativa (%)
Enero	11	11	11
Febrero	10	21	10
Marzo	3	24	3
Abril	4	28	4
Mayo	4	32	4
Junio	5	37	5
Julio	11	48	11
Agosto	11	59	11
Septiembre	9	68	9
Octubre	5	73	5
Noviembre	0	73	0
Diciembre	13	86	13

Fuente: *Las Autoras*

De las 100 personas entrevistadas, el 86 % realizan riego al cultivo. Se evidencio que la actividad de riego se encuentra concentrada en dos temporadas del año que comprende los meses de Diciembre - Febrero y Julio - Septiembre como lo muestra la Grafica 1. Adicional a esta información, las personas entrevistadas afirman que la aplicación de riego la realizan con una duración de 8 a 15 días en las temporadas mencionadas anteriormente.



Grafica 1: *Temporadas aplicación de riego*

Anexo a esto se contó con información suministrada por la oficina provincial Tequendama de la CAR; sobre las concesiones de agua otorgadas en el municipio de Anolaima (Tabla 26).

Tabla 26: Caudales concedidos en predios pertenecientes a Anolaima.

Nombre del predio	Vereda	Caudal concedido (L/s)	Usos		
			Domestico (L/s)	Agrícola (L/s)	Pecuario (L/s)
La Luminaria	Panches	0,01		0,01	
El Mirador	Tocarema	0,04	0,01	0,02	0,01
La Lorena	Paloquemao	0,01	0,01		
La Riqueza	Pozo Hondo	0,02	0,01		0,01
Peralonso	San Juanito	0,12			0,12
La Abuela	San Isidro	0,01	0,01		
La Unión	Mesitas Caballero	0,06	0,04		0,02
La Laguna	San Isidro	0,01			
San José	San Agustín	0,04	0,03	0,01	
Finca	San Rafael	8,88		8,72	0,16
El Mirto	La Laguna	0,06		0,05	0,01
El Danubio	Matima	0,64		0,64	
Alcalá	Matima	0,07		0,07	
El Jordán	Matima	0,16		0,16	
El Progreso	Tocarema	0,23		0,23	
Puentecitos	Tocarema	0,71		0,71	
San Gerardo	Tocarema	0,17		0,17	
Normandía	Matima	0,51		0,51	
La Conquista	Matima	0,51		0,51	
Alcalá	Matima	0,03			0,03
El Rosalito	La Laguna	0,06		0,05	0,01
San Ignacio	Los Balsos	0,01		0,01	
Calandaim	Calandaima	1,68	0	1,68	0

Matima	**Matima**	**0,08**	**0**	**0,01**	**0,07**

Fuente: *Corporación Autónoma Regional, CAR*

Con estos datos se determinó el promedio de los caudales concesionados para usos agrícolas, obteniendo un valor de 0,7976 L/s. Con esta información, sumada a los datos de las encuestas y asumiendo una duración de riego igual a la implementada en la finca La Unión el CWU_{riego} es de:

$$CWU_{riego} = \frac{0{,}000797647\, m^3 \;_s \times 6 \times 11520\, s}{10360300 m^2} = 0{,}0000027\, m$$

Entonces la Huella Hídrica Azul experimental, para las veredas es:

Intervalos (HH azul exp. m³/Ton)	**# veredas**	**Calificación vol. De agua y HH azul**	**Intervalos (Vol. de agua m³)**	**# veredas**
0,0139 - 0,0199	19	Bajo (B)	0,0136 - 1,1693	25
0,0200 - 0,0261	6	Medio (M)	1,1694 - 2,3250	5
0,0262 - 0,0322	6	Moderado (Md)	2,3251 - 3,4808	2
0,0323 - 0,0385	2	Alto (A)	3,4809 - 4,6367	1

Tabla 27: Huella Hídrica Azul experimental y consumo total de agua de las veredas Anolaima.

Vereda	**HH Azul(m³ /ton)**	**Vol. de agua consumido m³**	**Calificación**	
			Vol. De agua	**HH azul exp.**
Balsillas	0,0257	0,0537	B	M
Barrio San Antonio	0,0283	0,0726	B	Md
Barrio San Vicente	0,0297	0,0136	B	Md
Cajón	0,0173	0,0750	B	B
Calandaima	0,0260	2,2069	M	M
Cayunda	0,0356	0,3507	B	A
Centro	0,0286	0,0178	B	Md
Chiniata	0,0188	3,0498	Md	B
Chiniata Baja	0,0205	0,2453	B	M
Corama	0,0231	0,3321	B	M
El Descanso	0,0144	0,7056	B	B
El Platanal	0,0174	1,3802	M	B
Ilo	0,0241	0,0612	B	M
La Esmeralda	0,0192	0,7027	B	B
La Laguna	0,0275	0,8727	B	Md
La María	0,0275	2,7473	Md	Md
Limonal	0,0190	0,0431	B	B
Luchima	0,0185	0,0492	B	B
Matima	0,0208	0,6604	B	M
Mesitas Del Caballero	0,0145	0,6306	B	B
Milan	0,0162	0,0841	B	B

Monte Largo	0,0267	0,1189	B	Md
Puente Tierra	0,0173	0,0716	B	B
San Agustín	0,0173	1,2780	M	B
San Cayetano	0,0191	1,7194	M	B
San Isidro	0,0139	0,5729	B	B
San Isidro Alto	0,0180	1,0398	B	B
San Isidro Bajo	0,0173	0,2961	B	B
San Jerónimo	0,0173	0,7927	B	B
San Juanito	0,0385	2,1858	M	A
Santa Barbará	0,0180	0,4470	B	B
Santo Domingo	0,0144	4,6367	A	B
Tocarema	0,0178	0,0529	B	B

Fuente: *Las Autoras.*

- **Huella Hídrica Azul experimental municipio de Anolaima:**

Para el municipio de Anolaima se definieron las variables de rendimiento y requerimientos hídricos, a continuación se presenta la Huella Hídrica Azul experimental y la cantidad de agua de riego que es empleada por parte de los cultivos.

Tabla 28: Huella Hídrica Azul experimental y Consumo de agua en Anolaima.

Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento por Cultivo (Ton/m^2)	HHAe (m^3/Ton)	Vol. Agua consumido año productivo(m^3)
0,0000027	0.00013279	0,020	25,85

Fuente: *Las Autoras.*

9.3 Estimación Huella Hídrica Gris

Es el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes, que llegan a los cuerpos de agua receptores para cumplir los niveles de calidad establecidos por la legislación Colombiana. A continuación se muestra la ecuación propuesta por la FAO para la determinación de La Huella Hídrica Gris de los cultivos, posteriormente se definen todas las variables que conforman la ecuación exponiendo la manera como fueron determinados. Debe tenerse en cuenta que los cálculos de la Huella Hídrica Gris se realizaron en dos momentos:

1. Generación de contaminantes a raíz de la percolación y lixiviación de fertilizantes químicos en la fase de cultivo y desarrollo de los cultivos de café.
2. Generación de DQO en la fase de beneficio húmedo del café; ambas fases serán tratadas y calculadas por separado debido a que se trata de dos etapas diferentes.

9.3.1 Calculo de Huella Hídrica Gris Fase de Cultivo

$$WF_{gris} = \frac{\frac{\alpha * AR}{Cmax - Cin}}{y} =$$

Ecuación 5

Donde

WF_{gris} Huella Hídrica Gris [$m^3 ton^{-1}$]
α Fracción de Lixiviación
AR Aplicación Estimada de Contaminantes Agroquímicos [Kg ha^{-1}]
$Cmax$ Concentración máxima aceptable de contaminantes [Kg m^{-3}]
Cin Concentración natural del contaminante [Kg m^{-3}]
y Rendimiento [ton ha^{-1}]

9.3.2 Fracción de lixiviación fase Cultivo

Corresponde al porcentaje de la sustancia de interés, que se percola o se infiltra a través del suelo y llega al nivel freático. Esta variable fue hallada experimentalmente tomando una fracción del suelo que tuviese en cuenta todos los horizontes. Se hizo pasar un litro de agua a través del mismo y se contabilizo la fracción de agua que quedaba entre las partículas del mismo después de un tiempo determinado (20 minutos). El resultado del experimento fue que el 80% del agua quedaba atrapado y solamente el 20% se infiltraba, por lo cual se ha asumido la fracción de 0.2, que es equivalente al 20%

9.3.3 Aplicación Estimada de Agroquímicos

Según los datos recolectados en la finca La Unión apoyados en el Comité de Cafeteros, fue posible establecer que se aplican aproximadamente 200 gr de fertilizante por planta, distribuidos en dos épocas específicas del año. El fertilizante está conformado por Nitrógeno, Potasio, Fosforo y Manganeso. A continuación se calcula la cantidad de Agroquímicos empleada por año.

Tabla 29: Cálculo de la aplicación Estimada de Agroquímicos

Elemento	Concentración en el fertilizante (%)	Cant. aplicada mes de Abril (g)	Cant. aplicada mes de Octubre (g)	Total Fertilizante aplicado (g)	# Plant	Cant. de agroquímicos (g)	Cant. de agroquímico (Kg/Ha)
Nitrógeno	23	120	80	200	3300	151.800	151,8
Potasio	19	120	80	200	3300	125.400	125,4
Fósforo	3	120	80	200	3300	19800	19,8
Manganeso	2	120	80	200	3300	13200	13,2
		Total				310200	310.2

Fuente: *Las Autoras.*

Considerando que el área de estudio es de una hectárea entonces la aplicación de fertilizantes es de 310,2 $\frac{Kg}{Ha}$ por año en la finca La Unión.

9.3.4 Cantidad de Agroquímicos Aplicada en Anolaima

El Comité de Cafeteros del municipio de Anolaima establece que : El municipio tiene 1036,03 Ha cultivadas con café; y que deben agregarse aproximadamente 200 gramos de fertilizante al año por planta , distribuida en dos ocasiones, la primera de ellas en proximidades a la primera cosecha que se da en el mes de Abril (120gramos) y la segunda aplicación cerca a la mitaca que se presenta en el mes de Octubre (80 gramos) .

Tabla 30: Cantidad de fertilizantes empleados en el municipio de Anolaima.

Área Cultivada Anolaima (Ha)	Cantidad Fertilizantes aplicados por año (Kg/Ha)	Cantidad Fertilizantes al año. (Kg)	Cantidad Fertilizantes al año. (Ton)	Cantidad Nitrógeno al año. (Kg) (23%)	Cantidad de Fosforo (Kg) (3%)	Cantidad total de Manganeso (Kg) (2%)	Cantidad total de Potasio (Kg) (19%)
1036,03	310,2	321377	321,3	73,917	9,641	6,428	61,062

Fuente: Las Autoras

9.3.5 Concentración Máxima Aceptable.

Hace referencia a la concentración de agroquímicos permitidos por la legislación Colombiana según lo establecido por el Decreto 3930 de 2010 que derogó parcialmente al Decreto 1594 de 1984. Estos decretos señalan las concentraciones de sustancias químicas permitidas en los cuerpos hídricos para destinación agropecuaria y se presentan a continuación:

Tabla 31: Concentraciones máximas aceptables para la destinación a usos pecuarios.

Compuesto/ Elemento	Concentración en el agua (mg/L)
Potasio	No especificado
Nitritos + Nitratos	100
Fósforo	No especificado
Manganeso	0,2

Fuente: *Decreto 1594 de 1984 , adaptado por Las Autoras.*

De acuerdo a la información consultada en el decreto no se encuentra contempladas sustancias tales como potasio, fosforo; por lo cual estos dos elementos no serán tomados para el análisis de la Huella Hídrica Gris. De igual forma , aunque la concentración máxima aceptable de nitrógeno tampoco este estipulada dentro del pre citado decreto, los residuos que resultan de uso de fertilizantes nitrogenados que tienden hacer conversión a nitritos y nitratos ,por lo tanto las concentración de estos serán tomadas para el análisis del nitrógeno.

9.3.6 Concentración Natural del Contaminante

A continuación se muestran las concentraciones iniciales de los elementos o compuestos de interés. Dicha información fue tomada de una investigación de calidad de agua de la fuente de abastecimiento (río Bahamón). Como se observa en la Tabla 32, el estudio no reporta valores para el fosforo y el manganeso, por lo cual no es posible establecer un valor de concentración inicial de estas sustancias en la fuente de abastecimiento.

Tabla 32: Concentración inicial de sustancias de interés en la fuente de abastecimiento de Agua.

Compuesto/Elemento	Concentración Inicial en el agua (mg/L)
Nitrógeno Total	6,51
Fósforo	0
Manganeso	No reporta
Potasio	1,8

Fuente: *Aportes para la ordenación y aprovechamiento integral del recurso hídrico a partir del estado de saneamiento de la cuenca del río Apulo- Bahamón.*

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las Huellas Hídricas Grises para la fase de la aplicación de fertilizantes en un año de estudio.

- **Huella Hídrica Gris finca La Unión –Fase de Cultivo**

La cantidad de agua empleada para diluir los contaminantes depende de las concentraciones iniciales de dichas sustancias, cantidad de fertilizantes que se están aplicando y de los criterios de calidad del agua que tenga establecido la legislación para cada uno. Es así como el Manganeso fue el elemento con la mayor Huella Hídrica, puesto que los estándares de cumplimiento son los más exigentes y suponen que no exista más de 0.2 mg/L en un cuerpo hídrico dispuesto para agricultura, si se considera la cantidad de fertilizantes que están siendo empleados la cantidad de agua necesaria para diluirlos seria aproximadamente de 13.38 m^3.

Tabla 33: Huella Hídrica Gris de la Finca La Unión por aplicación de fertilizantes.

Variable	Nitrógeno	Manganeso
Fracción de Lixiviación	0,2	0,2
Aplicación Estimada de agroquímicos [Kg ha^{-1}]	151,8	13,2
Concentración máxima aceptable de contaminantes [Kg m^{-3}]	100	0,2
Concentración natural del contaminante [Kg m^{-3}]	6,51	0
Rendimiento [ton ha^{-1}]	0,98587	0,98587
Huella Hídrica Gris [m^3/Ton]	0,33	13,38
Cantidad de Agua [m^3]	325	13200
Huella Hídrica Gris Total [m^3/Ton]	13,38	

Fuente: Las Autoras

De acuerdo a la información obtenida se determinó que la finca La Unión requiere de 13200 m^3 de agua para la dilución de las sustancias químicas presentes por la aplicación de fertilizantes, es de resaltar que el valor mencionado corresponde a la cantidad de agua requerida por el manganeso ya que al ser el mayor valor controla los consumos de agua y se puede decir que al realizar la dilución de este estría implícita la dilución del nitrógeno

- **Huella Hídrica Gris Veredal en la Fase de cultivo**

Dentro de los resultados obtenidos, se encontró que la vereda que menor Huella Hídrica Gris fue la del Barrio San Vicente con una HHG de 11.3 m^3/Ton y en contraste encontramos la vereda San Juanito con HHG de 2353,3 m^3/Ton lo que muestra que la producción de café y el empleo de agua para dilución de contaminantes no es uniforme y varia ampliamente según la vereda.

Tabla 34: Resultados de la Huella Hídrica Gris Veredal y agua consumida en un año productivo

Vereda	HH gris (m^3/ton)		Volumen de Agua (m^3)	
	Nitrógeno	Manganeso	Nitrógeno	Manganeso
Balsillas	0.63	38.7	1	81
Barrio San Antonio	0.94	57.5	2	148
Barrio San Vicente	0.18	11.3	0	5
Cajón	0.6	36.4	3	157
Calandaima	26.29	1602.9	2234	136205
Cayunda	5.73	349.5	56	3440
Centro	0.23	14.3	0	9
Chiniata	26.25	1600.3	4266	260127
Chiniata Baja	2.31	140.9	28	1683
Corama	3.52	214.5	51	3084
El Descanso	4.66	284	228	13926
El Platanal	11.01	671.6	874	53272
Ilo	0.68	41.2	2	105
La Esmeralda	6.19	377.1	227	13810
La Laguna	11.01	671.1	349	21302
La María	34.65	2112.6	3462	211079
Limonal	0.38	22.9	1	52
Luchima	0.42	25.4	1	68
Matima	6.3	384	200	12197
Mesitas Del Caballero	4.2	256.4	182	11121
Milan	0.62	38	3	198
Monte Largo	1.46	88.9	6	396
Puente Tierra	0.57	34.6	2	143
San Agustín	10.16	619.2	749	45676
San Cayetano	15.06	918.1	1356	82680
San Isidro	3.64	222	151	9178
San Isidro Alto	8.59	523.9	496	30239
San Isidro Bajo	2.35	143.5	40	2453
San Jerónimo	6.3	384.1	288	17571
San Juanito	38.6	2353.3	2192	133623
Santa Barbará	3.69	225.2	92	5588

Santo Domingo	30.61	1866.4	9861	601258
Tocarema	0.43	26.3	1	78

Fuente: *Las Autoras.*

Basados en la información anterior y teniendo en cuenta que los requerimientos de agua del manganeso son los que controlan la Huella Hídrica Gris :

Intervalos (HH Gris m^3/ Ton)	**# Veredas**	**Calificación vol. De agua y HH azul**	**Intervalos (Vol. de agua m^3)**	**# Veredas**
11,3 - 596,7	24	Bajo	5 - 150324,3	30
596,8 - 1182,2	4	Medio	150324,4 - 300637,4	2
1182,3 - 1767,7	2	Moderado	300637,5 - 450905,6	0
1767,8 - 2353,3	3	Alto	450950,7- 601263,8	1

Tabla 35: Huella Hídrica Gris fase de cultivo y consumo total de agua de las veredas Anolaima.

Vereda	**HH gris (m3/ton)**	**Volumen de Agua (m3)**	**Calificación**	
			HH gris	**Vol. de agua**
Balsillas	38,7	81	B	B
Barrio San Antonio	57,5	148	B	B
Barrio San vicente	11,3	5	B	B
Cajon	36,4	157	B	B
Calandaima	1602,9	136205	Md	B
Cayunda	349,5	3440	B	B
Centro	14,3	9	B	B
Chiniata	1600,3	260127	Md	M
Chiniata Baja	140,9	1683	B	B
Corama	214,5	3084	B	B
El Descanso	284,0	13926	B	B
El Platanal	671,6	53272	M	B
Ilo	41,2	105	B	B
La Esmeralda	377,1	13810	B	B
La Laguna	671,1	21302	M	B
La Maria	2112,6	211079	A	M
Limonal	22,9	52	B	B
Luchima	25,4	68	B	B
Matima	384,0	12197	B	B
Mesitas Del Caballero	256,4	11121	B	B
Milan	38,0	198	B	B
Monte Largo	88,9	396	B	B
Puente Tierra	34,6	143	B	B

San Agustin	619,2	45676	M	B
San Cayetano	918,1	82680	M	B
San Isidro	222,0	9178	B	B
San Isidro Alto	523,9	30239	B	B
San Isidro Bajo	143,5	2453	B	B
San Jeronimo	384,1	17571	B	B
San Juanito	2353,3	133623	A	B
Santa Barbara	225,2	5588	B	B
Santo Domingo	1866,4	601258	A	A
Tocarema	26,3	78	B	B

Fuente: Las Autoras

- **Huella Hídrica Gris Anolaima fase de cultivo**

Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris en la fase de aplicación de fertilizantes en el municipio de Anolaima se tuvieron en cuenta las aplicaciones de Fertilizantes a través de un año de producción, además de las condiciones de concentración inicial y final enmarcados en los requerimientos legales.

Tabla 35. Huella Hídrica Gris y cantidad de agua empleada en un año productivo para el municipio de Anolaima

Variable	Nitrógeno Total	Manganeso
Fracción de Lixiviación	0.2	0.2
Aplicación Estimada de Contaminantes Agroquímicos [Kg ha^{-1}]	73,917	6428
Concentración máxima aceptable de contaminantes [Kg m^{-3}]	100	0.2
Concentración natural del contaminante [Kg m^{-3}]	6.51	0
Rendimiento [ton ha^{-1}]	1,32	1,32
Huella Hídrica Gris (m3/Ton)	119,8	4869,7
Cantidad de Agua m3	170017,1	6911292

Fuente: Las Autoras.

9.4 Cálculo de la Huella Hídrica Gris Fase de beneficio húmedo

Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris en la fase de beneficio húmedo de Café fue necesario establecer tres variables que influyen en su cálculo: La cantidad de agua empleada para lavar un kilogramo de café despulpado, la DQO de las aguas mieles producidas en el proceso de beneficio húmedo del café y también la concentración final de la DQO establecida por la legislación. A

continuación se expone la ecuación con la cual fue calculada la cantidad de agua empleada para diluir los contaminantes.

$$C1*V1=C2*V2$$

Ecuación 4

C1=Concentración Inicial de DQO (mg/L)
V1=Cantidad de agua empleada para realizar el beneficio de Café en un ano productivo (L)
C2= Concentración Final de DQO requerida por la Normatividad colombiana (mg/L)
V1=Cantidad de agua para diluir hasta llevar a la norma las aguas mieles del beneficio húmedo. (L)

9.4.1 Concentración máxima aceptable

La concentración máxima aceptable, hace referencia a la concentración de la DQO en el agua, estipulados por la legislación Colombiana, para lo cual se tomaron en cuenta las concentraciones que establece el Decreto 3930 de 2010

Tabla 36: Concentraciones máximas aceptable DQO para usos pecuarios.

Parámetro	Concentración (mg/L)
DQO	Remoción 80% en carga

Fuente: *Decreto 3930 de 2010*

Teóricamente, las aguas mieles del café pueden tener rangos que oscilan desde las 25.000 partes por millón hasta 110.000 (Zambrano y Cárdenas 2000). En este caso de estudio se tomó el valor máximo de la DQO establecido por Zambrano y Cárdenas; este valor sirvió como referente para el cálculo de la Huella Hídrica Gris.

Tabla 37: Valor de remoción de los contaminantes según la normatividad colombiana.

DQO (mg/L)	Remoción del 80%
25.000	5000
67.500	13.500
110.000	22.000

Fuente: *Las Autoras*

- **Huella Hídrica Gris beneficio húmedo del café finca La Unión**

Para determinar la cantidad de agua empleada para la dilución de las aguas mieles en la finca La Unión, fue necesario estipular las cantidades de aguas que han sido requeridas para el beneficio en un año productivo y la DQO mencionada anteriormente. La tabla 38 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla 38: Huella Hídrica Gris en el beneficio húmedo del café en la finca La Unión.

Concentración Inicial de DQO (PPM)	Volumen Inicial (L)	Concentración final deseada de DQO	Volumen Final (L)	Volumen Final (m^3)	Huella Hídrica Gris (m^3/Ton)
110000	2405.523	22000	12027.614	12,02	3,93

Fuente: *Las Autoras*

- **Huella Hídrica Gris beneficio de café municipio de Anolaima**

Para determinar el volumen inicial de agua de todo el municipio de Anolaima, fue necesario consideran la cantidad de agua utilizada por kilogramo de café beneficiado y la producción total anual en el municipio de Anolaima.

Tabla 39: Huella Hídrica Gris Beneficio Húmedo en Anolaima.

Concentración Inicial de DQO (PPM)	Volumen Inicial (L)	Concentración final deseada de DQO (PPM)	Volumen Final (L)	Volumen Final (m^3)	Huella Hídrica Gris (m^3/Ton)
110.000	10.734.821	22.000	53.674.103	53.674	12,2

Fuente: *Las Autoras*

- **Huella Hídrica Gris beneficio húmedo del café para las veredas del municipio**

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la cantidad de agua empleada para diluir la DQO teniendo en cuenta la concentración inicial y final, además de la relación de agua empleada por kilogramo de café. De acuerdo a la información presentada en la tabla 14, se determinó que por cada kilogramo de café despulpado es necesario emplear 2,44 Litros de agua. Se asumió la DQO más alta y un porcentaje de remoción de 80% como lo establece la legislación Colombiana. Es importante resaltar, que para los cálculos se emplearon las producciones de café despulpado y no café seco teniendo en cuenta que el café despulpado es 3.1 veces más pesado que el café seco.

Tabla 40: cálculo del volumen de agua necesario para la dilución de la DQO.

	Huella Hídrica Gris DQO inicial de 110.000			
Vereda	**C1 (mg/L)**	**V1 (L)**	**C2 (mg/L)**	**V2 (L)**
Balsillas	110000	15795	22000	78976
Barrio San Antonio	110000	19411	22000	97054
Barrio San Vicente	110000	3456	22000	17280
Cajón	110000	32759	22000	163796
Calandaima	110000	642727	22000	3213636
Cayunda	110000	74441	22000	372207
Centro	110000	4715	22000	23576
Chiniata	110000	1229515	22000	6147576
Chiniata Baja	110000	90340	22000	451700
Corama	110000	108733	22000	543665
El Descanso	110000	370833	22000	1854165
El Platanal	110000	599960	22000	2999802
Ilo	110000	19239	22000	96196
La Esmeralda	110000	276971	22000	1384856
La Laguna	110000	240073	22000	1200364
La María	110000	755717	22000	3778586

Limonal	110000	17127	22000	85636
Luchima	110000	20151	22000	100757
Matima	110000	240273	22000	1201367
Mesitas Del Caballero	110000	328119	22000	1640597
Milan	110000	39336	22000	196679
Monte Largo	110000	33656	22000	168282
Puente Tierra	110000	31351	22000	156756
San Agustín	110000	557953	22000	2789767
San Cayetano	110000	681169	22000	3405843
San Isidro	110000	312693	22000	1563463
San Isidro Alto	110000	436549	22000	2182743
San Isidro Bajo	110000	129295	22000	646473
San Jerónimo	110000	346064	22000	1730318
San Juanito	110000	429486	22000	2147429
Santa Barbará	110000	187667	22000	938334
Santo Domingo	110000	2436703	22000	12183515
Tocarema	110000	22542	22000	112708
			Total (L)	53.674.103

Fuente: *Las Autoras.*

10 HUELLAS HIDRICAS TOTALES

Después de haber calculado cada una de las componentes del Indicador Huella Hídrica se procede a definir la Huella Hídrica total, como la sumatoria de cada una de sus componentes (HHV, HHA, HHG) y la determinación de los volúmenes de agua.

- **Finca La Unión**

Tabla 41: Huella Hídrica Total de la finca La Unión.

Descripción	Valor
Huella hídrica verde	7823.547 m^3/ton
Huella hídrica azul	9,11 m^3/ton
Huella hídrica gris	17,93 m^3/ton
Huella hídrica total	7850.587 m^3/ton

Fuente*: Las Autoras*

- **Veredas municipio de Anolaima**

Tabla 42: Huella hídrica total veredal.

Vereda	Huella Hídrica Total (m^3/Ton)	Vol. Agua (m^3)
Balsillas	7512,92	15743
Barrio San Antonio	8276,58	21306
Barrio San Vicente	8632,95	3956

Cajón	5071,73	22077
Calandaima	9194,75	783310
Cayunda	10701.82	105575
Centro	8316.68	5200
Chiniata	7103.17	1158311
Chiniata Baja	6111.72	73301
Corama	6929.61	99981
El Descanso	4477.76	220756
El Platanal	5749.54	457978
Ilo	7028.99	17944
La Esmeralda	5964.42	219319
La Laguna	8675.39	276142
La María	10162.94	1017694
Limonal	5554.01	12634
Luchima	5394.29	14440
Matima	6434.99	205210
Mesitas Del Caballero	4490.90	195901
Milan	4738.09	24774
Monte Largo	7852.16	35053
Puente Tierra	5053.53	21052
San Agustín	5673.65	420322
San Cayetano	6494.59	587034
San Isidro	4258.46	177084
San Isidro Alto	5775.79	334774
San Isidro Bajo	5182.37	89020
San Jerónimo	5430.81	249611
San Juanito	13598.62	773489
Santa Bárbara	5467.34	136277
Santo Domingo	6112.55	1975932
Tocarema	5189.61	15542

Fuente: *Las Autoras.*

- **Huella Hídrica Total municipio de Anolaima**

Tabla 43: Huella hídrica municipio de Anolaima

Descripción	Valor
Huella hídrica verde	5808,3m^3/ton
Huella hídrica azul	353,350m^3/ton
Huella hídrica gris	4881,9m^3/ton
Huella hídrica total	11 043,55m^3/ton

11 INDICADORES DE PRESIÓN.

A continuación se exponen los Indicadores de Presión propuestos con el fin de establecer el grado de presión que los cultivos de café generan sobre la cuenca del río Bahamón debido a los requerimientos hídricos. La tabla 44, establece la ecuación de cálculo y la relevancia del indicador en cada análisis.

Tabla 44: Indicadores de presión propuestos para determinar el grado de presión en la cuenca del rio Bahamón.

Indicador	Ecuación	Relevancia
Indicador de Presión por consumos de HHT	**%IPHHT=**$\frac{\text{CHHT}}{\text{VOH}} * 100\%$ **VOH=** Oferta hídrica del río Bahamón en un año. (m^3) **CHHT=** Cantidad de agua empleada en las plantaciones de café durante la etapa de producción hasta el beneficio húmedo en un año.(m^3) **%IPHHT=** Índice de presión ejercido sobre la cuenca por la Huella Hídrica Total del cultivo de café en el municipio de Anolaima.	Corresponde al grado de presión ejercido sobre la cuenca de interés, por los consumos totales de agua.
Indicador de Presión por consumos de la HHA	**%IPHHT=**$\frac{\text{CHHa}}{\text{VOH}} * 100\%$ **VOH=** Oferta hídrica del río Bahamón en (m^3) definido entre la fase productiva y beneficio húmedo del café en un año productivo. **CHHa=** Agua consumida por los cultivos de café provenientes de riego, entre la fase productiva y beneficio húmedo en el municipio de Anolaima en un año productivo (m^3) **%IPHHa=** Índice de presión ejercido sobre la cuenca por la Huella Hídrica Azul del cultivo de café en el municipio de Anolaima	Corresponde al grado de presión que los consumos de agua por parte del riego que los cultivos de café ejercen a la oferta de agua de la cuenca del río Bahamón en un año

Indicador de Presión por consumos de la HHV	$$\%IPHHT=\frac{CHHv}{VOH}*100\%$$ **VOH=** Oferta Hídrica del río Bahamón en (m^3) definido entre la etapa productiva y beneficio húmedo del café. **CHHv=** Agua consumida por los cultivos de café provenientes de las precipitaciones entre la etapa productiva y beneficio húmedo en el Municipio de Anolaima **%IPHHv=** Índice de presión ejercido sobre la cuenca teniendo la cantidad de agua verde del municipio de Anolaima de los cultivos de café. (%)	Corresponde a la cantidad de agua que no recibe la cuenca Hidrográfica del río Bahamón proveniente de las precipitaciones, debido a que están siendo empleadas por los cultivos.
Indicador de Presión por consumos de la HHgris	$$\%IPHHg=\frac{CHHg}{VOH}*100\%$$ **VOH=** Oferta hídrica del río Bahamón en (m^3)definido entre la etapa productiva y beneficio húmedo del café en un año productivo **CHHg=** Total volumen de agua de los cultivos de café entre la etapa productiva y beneficio húmedo en el municipio de Anolaima en un año productivo (m^3) **%IPHHg=** Índice de presión ejercido sobre la cuenca teniendo el agua gris producida en Anolaima de los cultivos de café. (%)	Corresponde al grado de presión que el agua gris de los cultivos de café ejercen sobre la cuenca, asumiendo la cantidad de agua necesaria para diluir una muestra de agua quede bajo los límites permisibles de descarga según la legislación. Debe tenerse en cuenta que es un valor teórico y servirá para mostrar las implicaciones ambientales que tiene las aguas mieles del café y la dilución de los fertilizantes.
Indicador de Consumo	$$NHP=\frac{HHT}{CAH}$$ **CAH=** Consumo de agua por habitante en un tiempo definido $(\frac{m3}{año})$ **HHT=** Huella Hídrica Total para el tiempo definido entre la etapa productiva y beneficio húmedo $(\frac{m3}{día,mes\ o\ año})$ **NHP=** Número teórico de personas que podrían satisfacer sus necesidades con la misma cantidad de agua empleada en los cultivos del café para un tiempo definido.	Define el número de personas que podrían vivir con la cantidad de agua que es empleada por los cultivos de café en el municipio de Anolaima para el periodo que corresponde a su fase productiva y el beneficio húmedo. Este indicador será aplicado individualmente teniendo en cuenta las componentes anteriores.

Fuente: *Las Autoras.*

Los resultados obtenidos por la aplicación de los indicadores anteriormente mencionados, serán comparados con la escala propuesta por CONAGUA México para evaluar el grado de presión ejercido por parte de las actividades antropogenicas a las fuentes de abastecimiento de agua.

Tabla 45: Escala de Grado de Presión.

Grado de Presión		
	Muy Fuerte	**> 100%**
	Fuerte	**40 %-100%**
	Media Fuerte	**20%-40%**
	Moderada	**10%-20%**
	Escasa	**< 10%**

Fuente: *CONAGUA México.*

Para establecer la oferta hídrica del Río Bahamón, se tomaron en cuenta los datos obtenidos por el estudio Nacional de aguas realizado en el 2010, donde se establece que la oferta de agua del río de interés es de aproximadamente 12.800.000 metros cúbicos al año.

Tabla 46: Principales características de la cuenca del río Bahamón.

Municipio	Fuente abastecedora	Demanda anual (MMC)	Oferta media anual (MMC)	Indice año seco	Oferta año seco (MMC)	Capacidad de regulacion	Año medio				Año seco			
							oferta reducida (MMC)	relacion demanda oferta (%)		vulnerabilidad por disponibilidad de agua	oferta reducida (MMC)	relacion demanda oferta(%)		vulnerabilidad por disponibilidad de agua
Agua de Dios	Rio Bogota	0,67	1590,00	0,55	874,50	Baja	954,00	0,08		Media	524,7	0,13		Media
Alban	Normanda	0,10	12,75	0,58	7,40	Muy Baja	7,65	1,29		Alta	4,44	2,23		Alta
Anapoima	Q. Honda	0,29	3,90	0,85	3,32	Baja	2,34	12,35		Alta	1,989	14,5		Alta
Anolaima	Bahamon	0,32	12,80	0,85	10,88	Baja	7,68	4,21		Media	6,528	4,94		Media

Fuente: Estudio Nacional de Aguas 2010.

Según la información anterior y teniendo en cuenta la oferta del río Bahamón, se exponen los indicadores de presión sobre la cuenca hidrográfica de interes:

Tabla 47: Resultado de la aplicación de los indicadores de presión.

Indicador de Presión	Porcentaje (%)	Grado de Presión
HH total	119	**Muy fuerte**
HH verde	62,4	**Fuerte**
HH azul teórica	3,5	**Escasa**
HH azul experimental	0,00020	**Escasa**
HH gris	47,70	**Fuerte**

Fuente: *Las Autoras.*

El grado de presión que generaría un año sin precipitaciones y una neta dependencia por el agua del río Bahamón sería del 119% sin tener en cuenta el caudal ecológico y el consumo humano que son básicamente las demandas de agua a las que deben darse prioridad.

11.1.1 Indicador de Consumos

Este indicador busca identificar el número de personas de personas que podrían vivir con la cantidad de agua que es empleada en los cultivos de café. De esta manera se pretende establecer relaciones de competitividad entre los requerimientos hídricos agrícolas y los requerimientos hídricos de las poblaciones. A continuación se expone la metodología por la cual fue calculada la dotación neta, teniendo en cuenta lo sugerido por el RAS 2000 título B.

La primera distinción que hace el RAS respecto a los consumos de agua por parte de las poblaciones humanas depende del grado de complejidad de las mismas. El municipio de Anolaima que posee aproximadamente 16.027 habitantes, lo que la clasifica en un nivel de complejidad bajo como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 48: Dotación según el nivel de complejidad de la población.

Nivel de Complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/habitante- día)	Dotación neta máxima (L/hab- día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: *RAS título B- Calculo de la dotación neta.*

Como se trata de un municipio con una temperatura en promedio 21 C, se debe realizar un ajuste por temperatura tal como lo señala lo recomendado por el RAS.

Tabla 49: Corrección dotaciones por temperatura.

Nivel de complejidad del sistema	Clima Cálido (Mas de 28)	Clima Templado (Entre 20C y 28C)	Clima frio. (Menos de 20 C)
Bajo	+15%	+10%	No se admite corrección por clima
Medio	+15%	+10%	
Medio Alto	+20%	+15%	
Alto	+20%	+15%	

Fuente: *RAS título b.*

A partir de lo definido anteriormente se asume que la dotación mínima para la población del municipio es de una dotación de 110 $\frac{l}{hab*dia}$, lo cual implica que en un año aproximadamente el consumo de una persona en metros cúbicos considerando los 365 días del año es de 40,15 $m^3 \ hab * año$, entonces el consumo total de agua actual por parte de la población del municipio es de 643484,05 $m^3 \ año$. Con base a esta información se definió el número de personas que podrían vivir con la cantidad de agua empleada en los cultivos de café.

Tabla 50: Resultado de indicador de consumo de Agua.

Ítem	Valor (m^3)	Número de Personas	Porcentaje de Anolaima (%)
HH total	15278355.86	380532	2374,31
HH verde	7990899	199026	1241,81

HH azul teórica	453781	11302	70,51
HH azul experimental	56.86	1	0,00623
HH gris beneficio	53674	1337	8,34
HH gris fertilizantes	7233726	180168	1124,15

Fuente: Las Autoras

La anterior tabla muestra que aproximadamente 380.5321 personas podrían vivir si el agua requerida para elaborar la producción de café en un año fuese destinado para consumo humano si toda el agua consumida directa e indirectamente por el café fuese usado para consumos domésticos.

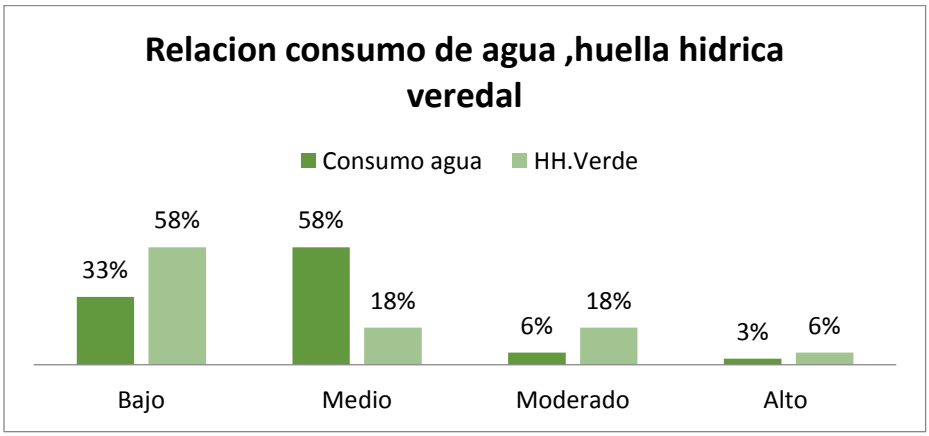
12 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se hace un análisis a los resultados por componente de Huella Hídrica.

- **HÍDRICA VERDE**

La Huella Hídrica verde hace referencia a la cantidad de agua que queda contenida en el suelo luego de un evento lluvioso y que está disponible para la satisfacción de las necesidades de los cultivos, como se mencionó anteriormente el valor de la HHV se obtiene del cociente entre la precipitación efectiva de la zona de estudio y el rendimiento del cultivo. Con base a esto, inicialmente se realizó la estimación de la precipitación para la zona de estudio, para lo cual se procesó la información meteorológica de la estación La Florida, obteniéndose un valor de 0.7713 m de precipitación efectiva. Adicional a esto se determinó el rendimiento del cultivo como la cantidad de café seco disponible para la comercialización luego de someter el café cerezo recolectado al proceso productivo normal.

Se propuso un sistema de calificación compuesto por 4 rangos (bajo, medio, moderado y alto) basados en la identificación del mayor y menor volumen de agua consumido y valor de huella hídrica, respecto a los resultados obtenidos como se muestra en la **gráfica 2** se resalta que el 58 % de las veredas se encuentran dentro de un rango de consumo medio de agua, y tan solo el 3% que equivale a una vereda presenta consumos altos de agua, mientras que el 58 % de las veredas presentan un valor de HHV bajo y el 6 % que equivale a 2 veredas presentan un valor alto de este indicador.



Grafica 2 Relación consumo de agua, HHV

Gracias al análisis conjunto de estas variables fue posible determinar que existen zonas donde se presentan bajos rendimientos acompañados de densidades bajas de cultivo y obtuvieron el mayor valor de huella hídrica como es el caso de la vereda San Juanito, que presento un valor de huella hídrica de 11159 m^3/ton y un consumo de agua moderado; caso contrario ocurre con la vereda San isidro que presenta el mayor rendimiento y la mayor densidad de cultivo obtenido el menor valor de huella hídrica de 4017 m^3/ton y un consumo de agua moderado . Como se puede evidenciar con el cambio en las condiciones de rendimiento y densidad la vereda San Isidro presenta un reducción del 64 % del valor de la huella hídrica de la vereda San Juanito.

Adicional a esto en veredas como El Cajón , Limonal ,Luchima , Puente Tierra y Tocarema donde se presenta una reducción del 30-32 % del rendimiento comparado con el mejor rendimiento otorgado a la vereda San Isidro acompañado de densidades de cultivo cercanas al menor rango propuesto por el Comité Cafetero del municipio obtuvieron calificación baja tanto para el consumo de agua como el valor de huella hídrica verde; de lo cual se puede concluir que las mejores condiciones son la estabilización de cultivos de café con densidades cercanas al menor rango establecido ,con rendimientos entre el 1,4 – 1,55 Ton/Ha lo que conlleva a reducir significativamente el valor de huella hídrica verde y el consumo de agua logrando una disminución en el grado de presión generado sobre la cuenca del río Bahamón.

Para el caso de la finca La Unión, que cuenta con una densidad de 3300 plantas/Ha y un rendimiento de 0,98587 Ton/ha obtuvo una huella hídrica verde de 7853,5467 m^3/ton y un consumo de agua de 7713 m^3 lo que le genera la calificación de consumo bajo y HHV moderada. De acuerdo a los trabajos de campo y la información recolectada la finca se encuentra en condiciones de aumentar la densidad de cultivo para así lograr una mejora significativa en el rendimiento del cultivo obteniendo mayor cantidad de café seco disponible para comercialización y reducir el valor de huella hídrica y consumo de agua.

En cuanto al municipio de Anolaima es estableció un rendimiento promedio del cultivo de 1,33 Ton/Ha, con una densidad promedio de 4061 plantas/Ha lo que le otorga un valor de Huella Hídrica verde de 5808,3 m^3/ton y un consumo de agua de 7´990.899 m^3 y de igual forma al mejorar las condiciones de rendimiento y densidad se podrían reducir los valores de consumo de agua en aproximadamente un millón de m^3. Cabe destacar que adicional a las variables rendimiento y densidad está implícito la variedad de café, tipo de caficultura, luminosidad; variables que también incrementan el nivel de producción ayudando en el aumento del rendimiento de los cultivos.

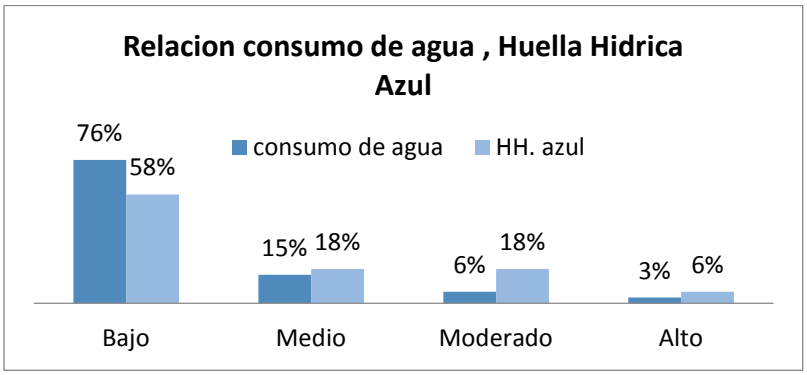
- **HUELLA HÍDRICA AZUL**

Como se mencionó anteriormente el cálculo de este indicador se realizó por dos metodologías, la primera de ellas es la teórica que supone el uso del programa CROPWAT 8.0 y la metodología de cálculo experimental que tuvo en cuenta la cantidad de riego que se le suministra al cultivo de café según experiencia de los caficultores de la zona basados en la información de las concesiones CAR.

Los requerimientos de riego de los cultivos son una variable importante, ya que un cultivo bien regado presenta condiciones agronómicas óptimas obteniendo excelentes niveles de producción. Estos requerimientos se encuentran directamente relacionados con la evapotranspiración de la zona de estudio y el coeficiente Kc del cultivo.

En cuanto al análisis de Huella Hídrica azul teórica veredal se observa el mismo comportamiento presentado para la huella hídrica verde donde las veredas El Cajón , Limonal ,Luchima , Puente Tierra y Tocarema debido a sus características de rendimiento y densidad presenta valor bajos de

consumo de agua y huella hídrica azul con buenos niveles de producción. Adicional a esto se identificó que el 76% de las veredas presentan consumos bajos de agua y el 58% valores bajos de HH.azul como se puede ver en la gráfica 3



Grafica 3: Relación consumo de agua, HH. Azul

En cuanto a la huella hídrica azul teórica del municipio se obtuvo un valor de 353.33 m^3/Ton y un volumen de agua consumido de 453.781 lo que define que gran parte de los requerimientos hídricos del cultivo de café son subsanados por las condiciones de precipitación de la zona.

Para la finca La Unión, de acuerdo al requerimiento de riego determinado por el programa CROPWAT 8.0 son necesarios 0.0438 m de agua para satisfacer las necesidades del cultivo, lo que implica una Huella Hídrica azul teórica de 444,28 m^3/ton y un consumo de agua de 438 m^3 lo que le da una calificación de medio y bajo respectivamente.

Según información de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia las floraciones del cultivo de café, son inducidas cuando la planta sufre un stress hídrico seguido de una temporada de lluvias. Para el caso del municipio de Anolaima, debido a su ubicación geográfica presenta un comportamiento bimodal en las precipitaciones lo que implica la presencia de dos temporadas secas que compre los meses de Julio-Agosto y Diciembre-Febrero, temporadas en las que se esperaría el mayor nivel de floraciones lo que da como resultado la estabilización de dos temporadas de cosecha.

En contraste los datos obtenidos mediante la metodología experimental, establece un patrón de riego de 0,00089856 m para la finca La Unión con lo cual se obtuvo un valor de 9.11 m^3/ton de Huella Hídrica azul y 8.98 m^3 de agua consumidos, lo que equivale a una reducción del 2.05% con respecto a los valores teóricos. Y para el análisis veredal el patrón de riego fue de 0,0000027 m de agua lo que dio como resultados que el 57,57 % y el 75,75% de las veredas presente calificación bajas de Huella Hídrica Azul experimental y consumos de agua respectivamente.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente sobre inducir intencionadamente los cultivos de café a stress hídrico, con el fin obtener floraciones, el patrón de riego propuesto por el programa CROPWAT 8.0 afectaría estas condiciones de stress, lo que implicaría reducciones significativas en los afloramientos y por ende menor producción.

De acuerdo a los datos teóricos , el cultivo presentaría requerimientos de riego en los meses de Enero , Febrero , Marzo , tercera década de Septiembre y Diciembre , siendo la 3 década del mes de Enero el momento de mayor requerimiento. En contraste con esto los datos experimentales

basados en experiencias de los caficultores , estipulan aplicación de riego con una duración de 8 días en los meses de Diciembre, Enero , Febrero , Marzo , Julio , Agosto y Septiembre ; lo que reduce significativamente las cantidades de agua implementadas .

Cabe destacar que el programa generó ese patrón de riego basados en los fundamentos teóricos de FAO que establecen que al someter un cultivo a condiciones de estrés hídrico generalmente se presentan reducciones en el crecimiento, cambio en propiedades fenológicas, disfunción significativa en el tamaño de los frutos y en última instancia perdida del cultivo, por lo cual no es recomendable entrar en esta condición , pero esta condición contradictoriamente el cultivo de café requiere de esta condición para la generación de afloramientos por lo cual los requerimientos hídricos del cultivo sufren reducciones significativas . Además actualmente no existen patrones de riego estandarizados en el país, por lo cual el cultivo de café presenta baja representatividad en la huella hídrica azul Nacional

- **HUELLA HÍDRICA GRIS.**

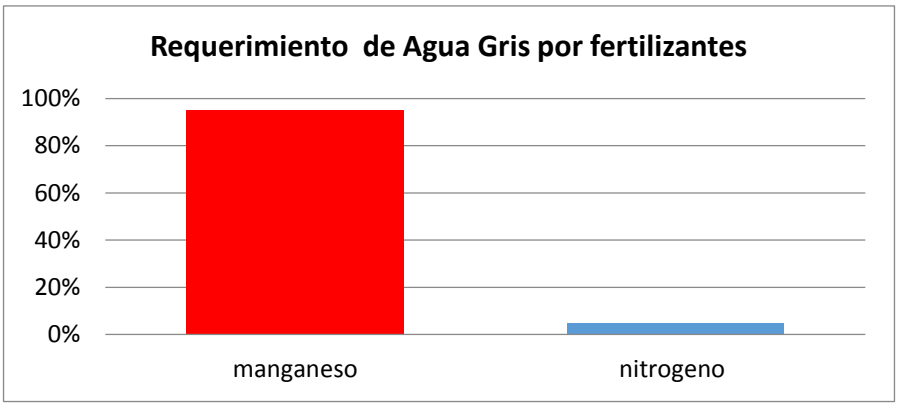
Los análisis de la Huella Hídrica Gris fueron planteados en dos momentos diferentes, el primero de ellos corresponde al volumen de agua empleada para la disolución de contaminantes en la fase de aplicación de fertilizantes y el segundo en la fase de beneficio húmedo.

Análisis Huella Hídrica Gris etapa uso de Fertilizantes.

Se analizaron dos componentes de la marca de fertilizantes recomendada por el Comité de Cafeteros de Anolaima, los resultados del porcentaje de la HHG se muestran en la Grafica 4 que la mayoría de agua es requerida para la dilución del Manganeso en un 95%, esto se debe principalmente a que este elemento tiene el límite de concentración más riguroso de los 2 componentes, legalmente la concentración del Mg no podría superar los 0.2 ppm, implicando que deba emplearse mayores cantidades de agua para su dilución, en total son requeridos 6911292 m^3 para que dicho elemento pueda entrar a la norma..

Otra variable que influencia los requerimientos de agua para la dilución de contaminantes es su concentración inicial, según el estudio hecho en la cuenca de Anolaima el Mg no tenía concentración inicial en el agua, esto indica que la concentración final de este elemento en el agua es atribuido en este caso al empleo de fertilizantes en la caficultura, mientras que el Nitrógeno tenían una concentraciones iniciales que no deben ser tomadas en cuenta en el momento de cuantificarlas.

Se consideró que el Nitrógeno tiene concentraciones iniciales que han sido atribuidas a las diferentes actividades Antrópicas como lo son por ejemplo la descarga de agua proveniente de uso doméstico que aportan dicho elemento a las fuentes superficiales.



Grafica 4: Porcentaje de empleo de Agua para cada uno de los elementos de los fertilizantes.

Fuente: *Las Autoras.*

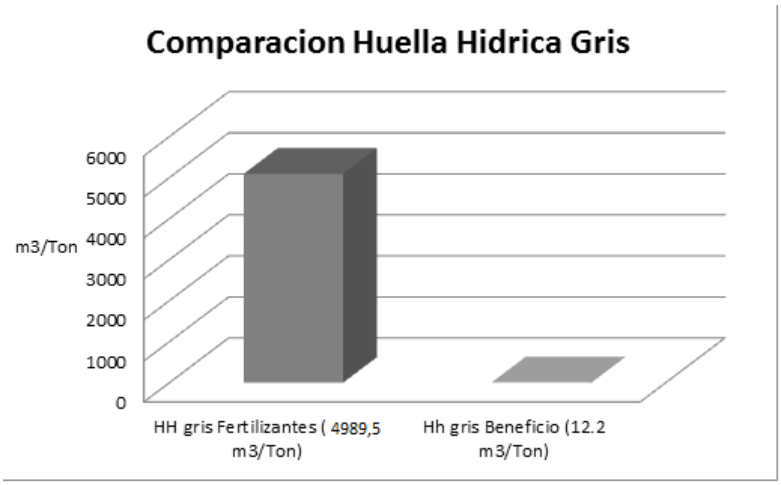
a) Análisis Huella Hídrica Gris etapa de Beneficio Húmedo.

Inicialmente se tenía planteado que la mayoría de agua empleada para diluir los contaminantes asociados a las actividades del café provenían del beneficio húmedo del café, pero según los resultados del presente trabajo de grado se puede observar que se están empleando una mayor cantidad de agua para diluir los contaminantes generados a raíz del empleo de fertilizantes como se muestra en la gráfica 4.

Este suceso se desarrolla por que la normatividad referente a los límites máximos de la DQO dependen de un porcentaje de remoción (En este caso del 80%) y no a una concentración especifica como la del Manganeso (0.2 ppm).

Estos resultados pueden ser observados en la Grafica 5 donde es posible evidenciar que para la dilución de los contaminantes que una tonelada de café producido requiere el empleo de 4989,.5 m^3/Ton, mientras que para la dilución en la fase de Beneficio seria necesarios 12.2 m^3/Ton, estos valores implican un total de Huella Hídrica Gris de 5.108.7 m^3/Ton.

Lo anterior indica que la Normatividad Colombiana ofrece dos criterios diferentes de calidad de agua, el primero de ellos implica una concentración definida en el agua, el segundo de ellos depende del porcentaje de remoción que relaciona la concentración inicial del contaminante.



Grafica 5. Comparación de la Huella Hídrica Gris de los fertilizantes y la Huella Hídrica del Beneficio.

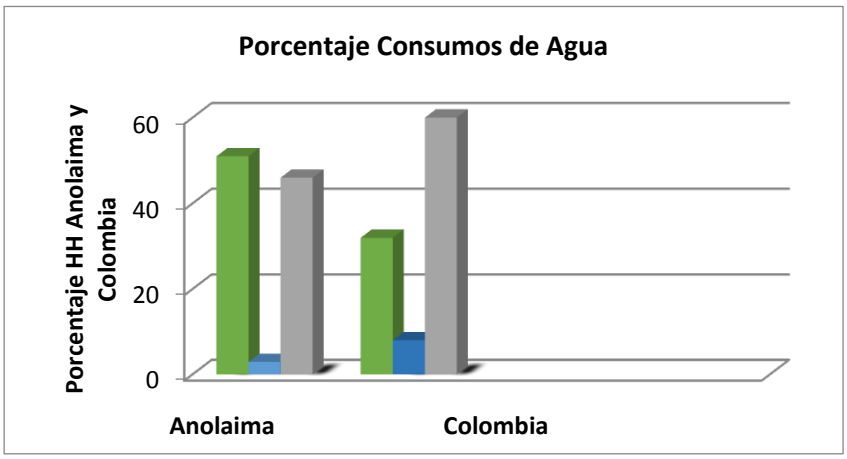
Fuente: *Las Autoras.*

ANÁLISIS HUELLA HÍDRICA TOTAL ANOLAIMA VS ANÁLISIS HUELLA HÍDRICA TOTAL COLOMBIA.

La Huella Hídrica del municipio de Anolaima sigue similares comportamientos de la Huella Hídrica Nacional, como se muestra en la gráfica 6 , la mayor cantidad de agua consumida por los cafetales proviene de las precipitaciones, existe una baja dependencia del agua de riego y finalmente una alta Huella Gris que proviene de esencialmente dos momentos, el primero de ellos el requerimiento hídricos para diluir los contaminantes que son introducidos al subsuelo y las fuentes subterráneas por el empleo de fertilizantes, el segundo es el proceso de Beneficio húmedo el cual presupone emplear volúmenes de agua para la extracción del mucilago.

Este comportamiento refleja que la Huella Hídrica a escalas más pequeñas como las municipales pueden poseer los mismos comportamientos debido a que la agricultura colombiana tiene un desarrollo tradicional ciertamente limitado, donde la mayoría de agricultores no cuentan con terrenos de tierra amplios y por lo tanto sus consumos y comportamientos pueden ser definidos, reflejados en el limitado acceso a los recursos hídricos y también la inexistencia de controles a los entes contaminantes. No fue tenida en cuenta la Huella Hídrica Azul Experimental ya que 1% no es representativa.

La información de la Huella Hídrica Nacional fue tomada de un estudio realizado en el año 2011 en colaboración con la WWF: Un vistazo a la agricultura desde su Huella



Grafica 6. Comparación de la Huella Hídrica Nacional

Fuente: Las Autoras.

INDICADORES DE PRESION

La aplicación de los índices de presión supone un análisis de impacto de los consumos de agua de los cultivos de café teniendo en cuenta una oferta específica de una fuerte abastecedora, en este caso según el estudio Nacional de Agua en el 2010 señala que el río Bahamón tiene una oferta anual de 12.800.000 m^3 para un año con condiciones normales.

El primer indicador de la Huella Hídrica Total muestra que se necesitaría 19% más cantidad de agua ofertada por parte de la fuente abastecedora para satisfacer los requerimientos hídricos totales del café, este escenario podría evidenciarse para un año totalmente seco donde la única fuente de provisión de agua fuese el río Bahamón u otros cuerpos superficiales o subterráneos.

Esto señala que los requerimientos hídricos de café son altos y dependen en un alto porcentaje directamente de lluvia. Si se tiene en cuenta el cambio climático y las alteraciones meteorológicas evidenciadas en las últimas décadas, vale la pena cuestionar el grado de preparación del sector agrícola para afrontar las oscilaciones anormales como por ejemplo periodos más secos cuyas afectaciones pueden resultar en la disminución del rendimiento de los cultivos.

El segundo indicador de consumos de aguas provenientes de agua de lluvia o agua verde es fuerte y supone, que la cuenca deja de recibir un 62.4% de agua proveniente de las precipitaciones, ya que es empleada por los cafetales. Este porcentaje también puede ser analizado como que sería necesario el 62.4% de la oferta total del Río Bahamón para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo de no existir disponibilidad de agua lluvia, circunstancia que es grave si se considera que las condiciones del río muestran un prolongado deterioro y cuya vulnerabilidad por disponibilidad de agua es media como lo señala la gráfica del estudio Nacional de agua en el año 2010.

El tercer indicador de presión por la Huella Hídrica azul experimental muestra un grado de presión bajo, si se analiza el porcentaje de riego experimental no llega a ser relevante (0.00020%), en cuanto a los requerimientos hídricos teóricos del cultivo suponen un 3.5%, quedando clasificado como un grado de presión bajo.

Lo anterior indica que se está empleando menor cantidad de agua de riego que la que verdaderamente es requerida para llevar a cabo los procesos productivos en condiciones óptimas.

Esta situación puede ser atribuida a varias razones: 1. La autoridad ambiental no tiene suficiente información del número real de usuarios que están utilizando agua del rio. 2. La mayoría de personas no cuenta con los recursos suficientes o la adecuada localización para acceder al agua y no emplean ningún tipo de riego a través del año

Para enfrentar este tipo de ineficiencias de agua debería diseñarse sistemas de recolección de aguas lluvias en aquellas épocas del año donde existan las mayores precipitaciones y ser usadas en los meses donde exista más necesidad por agua de riego, ya que la falta de agua para suplir requerimientos pueden interferir negativamente con la productividad de los cultivos.

En cuanto a el indicador de presión relativo a la Huella Hídrica Gris es fuerte, es necesario ver que actualmente no se está haciendo ningún tipo de control ingenieril que posibilite la recirculación del agua, o un mejor aprovechamiento del recurso, por otro lado el empleo de fertilizantes ha crecido en las últimas décadas debido a la necesidad de mejorar la producción de los cultivos, generando un deterioro inminente en las condiciones del río Bahamón. Según el indicador sería necesario emplear el 47.70% de su oferta anual del rio, únicamente en la dilución de los contaminantes y

que estos no tuviesen efectos negativos sobre los cuerpos de agua, situación que plantea los impactos actualmente generados por el uso de fertilizantes y generación de aguas mieles.

Es importante resaltar que existe un bajo desarrollo de la investigación referente a la Huella Hídrica Gris en los cultivos y las consecuencias asociadas al empleo de agua de las cuencas hidrográficas como cuerpos diluyentes de contaminantes, basada en la normatividad vigente, lo que pone en discusión la forma en que se están empleando las cuencas hidrográficas en el territorio nacional y los impactos que las actividades agrícolas generan sobre su calidad.

Para el último indicador asociado a los consumos, se indago sobre el número de personas que podría satisfacer sus necesidades con la cantidad de agua que están empleando los cultivos de café para la satisfacción de los requerimientos, de esta manera se valoraría cuantitativamente los impactos que la caficultura tiene sobre los consumos y su sostenimiento

Por ejemplo con el total de agua que emplea los cultivos en un año podrían vivir 380.532 personas que equivalen a 24 veces la población de Anolaima, el menor resultado de consumo fue el de la HH azul experimental la cual señala que solo una persona podría tener una dotación por un año, lo que implica que es bajo el consumo que el municipio está teniendo. Con el agua empleada por un año para diluir los contaminantes.

Con el agua que es consumida por los cafetales proveniente del agua lluvia, sería posible mantener 199.026 personas, lo que equivale a casi 13 veces la población de Anolaima, en cuanto a la Huella Hídrica Azul experimental y teórica existe una gran diferencia, ya que el agua empleada que realmente se está utilizando para regar los cultivos podría satisfacer los requerimientos de agua de una sola persona, mientras que las necesidades reales podrían satisfacer a 11.302 personas. Esto indica que se está utilizando considerablemente una cantidad menor de agua de la necesitada.

Finalmente se puede comparar el agua que es empleada en el proceso de beneficio húmedo de café con la que es utilizada para diluir los fertilizantes, notando que existe una gran diferencia entre los valores donde el agua empleada para diluir la DQO es menor a la requerida para diluir las sutancias provenientes del uso de fertilizantes

CONCLUSIONES

- El café pergaminos seco disponible para comercialización equivale al 20% de la cantidad de café cerezo recolectado, lo que indica que se generan reducciones del 80 % que se dan en la etapa de despulpado, lavado y secado. Adicionalmente se identificó que dentro del proceso productivo la única operación unitaria que tiene requerimientos de agua es el laavado, donde la demanda es de aproximadamente 2.4 L de agua por 1 kg de café despulpado, estos datos sirvieron como base de cálculo para los análisis regionales.

- Se estableció que la finca la Unión tiene una huella hídrica total de 7850,5 m^3/Ton lo que implica un requerimiento hídrico equivalente a 7747,82 m^3 anual, la Huella Hídrica verde fue el componente con mayor representatividad.

- En cuanto a la generación de vertimientos por la Huella Hídrica Gris por el empleo fertilizantes y beneficio húmedo , se determinó que la relación agua- tonelada de café producido fue de de 17,93 m^3/Ton

- La Huella Hídrica Total del municipio de Anolaima es de 10.917 m^3/ Ton, lo cual implica un volumen consumido de 15.278.355 m^3 al año, donde la Hídrica Verde es de 5808.3 m^3/Ton correspondiente un volumen de agua de 7.990.899 m^3, la Huella Hídrica Azul teórica de 353.33 m^3/Ton y 453.781 m^3 de agua requerido, la Huella Hídrica Azul experimental es 0.020 m^3/Ton y un total de agua requerido de 25.85 m^3 y finalmente la Huella Hídrica Gris en el Beneficio 5108.7 m^3/Ton y un total de agua consumida de 7.233.726 m^3.

- Se estableció una distinción entre los diferentes tipos de contaminantes en la fase de aplicación de fertilizantes, es así como el Nitrógeno tiene una HHG de 119.8 m^3/Ton, que implica el consumo de 170.017 m^3 y el Manganeso con una HHG de 4869.7 m^3/Ton y agua consumida de 6.911.292 m^3

- El grado de presión que generaría los cultivos de café en el municipio de Anolaima por el consumo de agua totales a la fuente de abastecimiento es muy fuerte, puesto que la oferta del río Bahamón no es suficiente para la satisfacción de las demandas de los cultivos en caso de presentarse un escenario de inexistencia de lluvia durante un año, este tipo de análisis se ha realizado para evidenciar el comportamiento del crecimiento por la demanda del agua azul en caso de que las variaciones climáticas alteraran la disponibilidad de agua proveniente de las precipitaciones generando competencias entre poblaciones

- En cuanto al indicador de presión de la Huella Hídrica Gris es alto, teniendo en cuenta tanto la fase que involucra la aplicación de fertilizantes como la asociada al beneficio húmedo, se concluye que el valor de la HH gris depende directamente de los requerimientos legales exigidos y la concentración inicial del contaminante .En el caso del municipio de Anolaima la mayor HHG es atribuida al Manganeso ya que es el elemento que tiene los límites permisibles más exigentes (0.2ppm) de acuerdo a la legislación colombiana .

- Vale la pena resaltar que las demandas hídricas agrícolas han sido reconocidas por ser las más altas comparadas con los usos domésticos, industriales o agropecuarios, es así como según el indicador de consumos señala que 380.532 personas podrían satisfacer sus necesidades de un ano con la misma cantidad que se está empleando para producir 1419.24 Toneladas de café. Este número de habitantes es aproximadamente 17 veces más la población de Anolaima indicando que el café es un cultivo con altas demandas hídricas si se compara con la producción que una sola hectárea genera.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Comité de Cafeteros que difunda en los caficultores las mejores condiciones de producción teniendo en cuenta el tipo de café, el grado de tecnificación, la densidad y la luminosidad, con el fin de aumentar la producción empleando mínimas cantidades de agua. Es importante resaltar que el flujo de información por parte del Comité municipal debería ser activo en miras de mejorar las condiciones de los caficultores locales y que estos mejoren por medio de la aplicación de sencillas técnicas la efectividad de los recursos naturales como son el agua.

2. La normatividad colombiana no ha establecido valores máximos permisibles para potasio y fosforo, esto provoca que se ignore por completo los efectos negativos que pueden resultar a raíz del uso excesivo y bajo monitoreo de dichos contaminantes. Se recomienda a las autoridades ambientales competentes (CAR, MADS) y entidades como universidades que cuentan con criterios ingenieriles relacionados a los impactos por uso de fertilizantes químicos, que profundice en los efectos, se limite las concentraciones y se determine que otras sustancias químicas no han sido contempladas como sustancias de interés relativas a la agricultura.

3. Es necesario generar más investigación alrededor de los regímenes de riego que se están llevando y los requerimientos hídricos de los cafetales, ya que como fue posible evidenciar existe una deficiencia en el suministro de agua, hecho que puede repercutir negativamente en la productividad de los cultivos, para esto se sugiere que se implementen sistemas de recolección de aguas lluvias en periodos de precipitación altos y sean empleados en aquellas épocas del año donde más se requiera, de esta manera se estará dando un mejor uso al agua sin recurrir a fuentes externas.

4. La Huella Hídrica Gris puede ser analizada como una demanda indirecta de agua y hasta hace poco no se había tenido en cuenta a la hora de evaluar los impactos que las actividades antropogenicas ejercen en la cuenca de abastecimiento, es importante que su aplicación pueda ser extendida a diferentes escalas y procesos productivos, de esta manera puede evaluarse la oferta real del río teniendo en cuenta las los impactos negativos por el implemento de fertilizantes, pesticidas entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Desarrollo de la fruticultura en Cundinamarca.* Bogotá D.C., 2006. Pg. 10. Consultado http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_106_Plan%20Nal%20frur-cundinamarca.pdf
- OvalleM. (2012). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS CON POTENCIAL BIOENERGETICO EN LA PROVINCIA DE LIMARI, REGION DE COQUIMBO, CHILE.* Tesis de Pregrado. Marzo 25,2014, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114948/cybertesis.pdf?sequence=1
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DEL CAFÉ, Cenicafe (2011) *Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura Colombiana*. Consultado Marzo 19,2014 de Cenicafe, de : http://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA__P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – Documento Final* -. Bogotá D.C., 2010.Pg 120
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Gonzales, C. *R.A.S.P.A, relación agua, suelo, planta atmosfera,* und. 2: contenido de humedad del suelo. Consultado Marzo ,24 de

2014. Sitio Web. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/raspa/und_2/pdf/und2.pdf

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA .FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio de riego y drenaje 56. Marzo 25,2014, Sitio web: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf
- Silva, P., Acevedo, E., & Silva. (2000). *Manual de estudio y ejercicios: Laboratorio relación, suelo, agua, planta*. Marzo 25,2014, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.sap.uchile.cl/descargas/libros/Manual_de_estudio_y_ejercicios.pdf

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. FAO. (2010b).Manual CROPWAT. Rome, Italy. 64p
- WWF (November 2004) Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. Water footprints of Nations.
- Salas L. Quiroga R. (2013) Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales mediante el Sistema de Cenicafé y Majavita del beneficio ecológico del café con modulo Belcosub en la hacienda Majavita.
- Zarate, E. and Kuiper, D. (2013) Evaluación de Huella Hídrica del banana para Pequeños productores en Perú y Ecuador. Good Stuff International, Switzerland.
- Feredración Nacional de Cafeteros y Cenicafé (2011) Construyendo el modelo para la gestión integrada dl recurso hídrico en la caficultura Colombiana. Chinchiná.
- Velázquez, E. (2007) Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use. Ecological Economics 63(1): 201-208.
- Aplicación del cálculo de huella hídrica para regiones de cultivos en Costa Rica, M.Sc. Christian Golcher B. Gestión de Cuencas HIDROCEC-UNA. Fuente IMN 2012
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio de riego y drenaje 56. Marzo 25,2014, Sitio web: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf
- Silva, P., Acevedo, E., & Silva. (2000). *Manual de estudio y ejercicios: Laboratorio relación, suelo, agua, planta*. Marzo 25,2014, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.sap.uchile.cl/descargas/libros/Manual_de_estudio_y_ejercicios.pdf
- OvalleM. (2012). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS CON POTENCIAL BIOENERGETICO EN LA PROVINCIA DE LIMARI, REGION DE COQUIMBO, CHILE.* Tesis de Pregrado. Marzo 25,2014, de Universidad de Chile Sitio web: http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114948/cybertesis.pdf?sequence=1.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE CAFE . CENICAFE. (2004). Densidad de siembra y productividad de los cafetales. Junio 12, 2014, de Sitio web: http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo6.pdf
- MATUK V., V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. Cenicafé 48(4): 234-252. 1997. , junio 17 de 2014, sitio Web : http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048(04)234-252.pdf
- http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen8_numero2/aportes_ordenacion_aprovechamiento_integral8-2.pdf

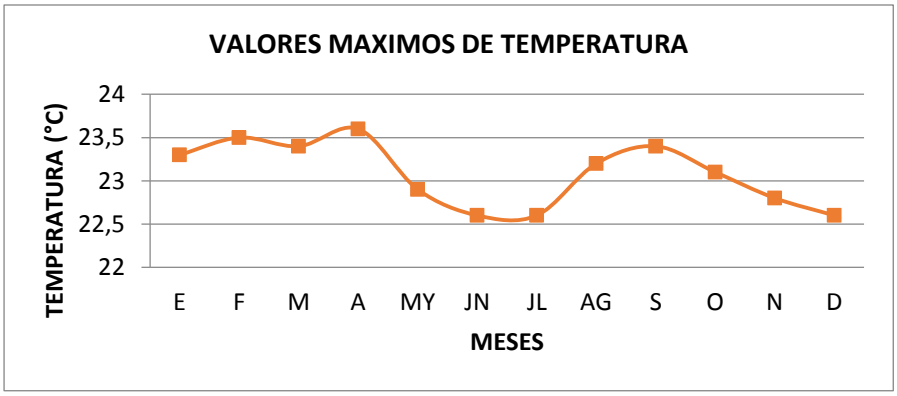
ANEXOS

ANEXO 1 DATOS ESTACION METEOROLOGICA LA FLORIDA

Nombre estación: La Florida		**Tipo de estación:** CP
Departamento: Cundinamarca	**Municipio:** Anolaima	**Fecha instalación:** Noviembre 1970
Latitud: 0446 N	**Longitud:** 7426 W	**Elevación:** 1915 m.s.n.m

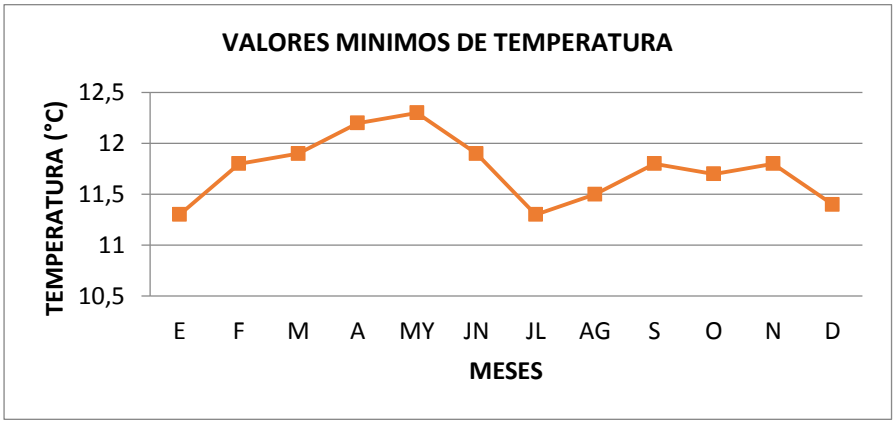
Valores máximos mensuales de Temperatura (°C):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
MED	23.3	23.5	23.4	23.6	22.9	22.6	22.6	23.2	23.4	23.1	22.8	22.6
MAX	38.4	28.4	27.8	28.8	26.8	26.8	25.8	26.6	26.2	29.2	25.6	28.4
MIN	21.2	21.2	21.2	28.8	28.3	28.3	28.8	21.2	21.8	28.8	21.2	28.6



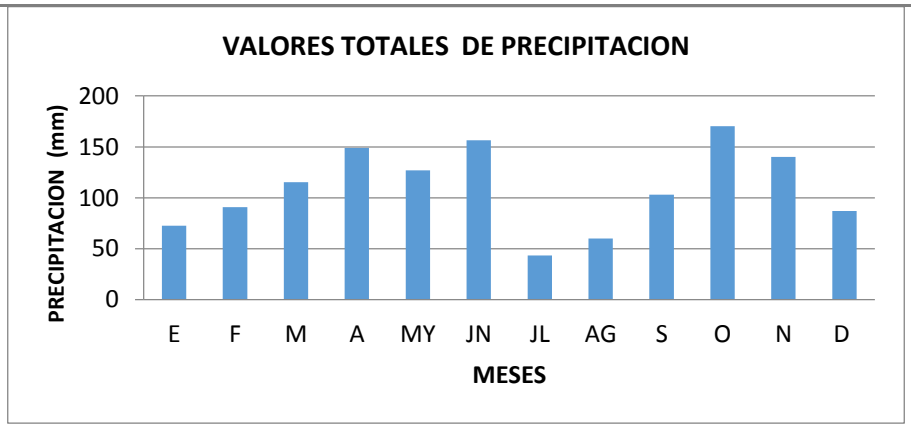
Valores minimos mensuales de Temperatura (°C):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
MED	11,3	11,8	11,9	12,2	12,3	11,9	11,3	11,5	11,8	11,7	11,8	11,4
MAX	13,2	13,8	13,8	14,2	13,8	13,4	13,8	12,6	13,2	13,8	13,2	12,8
MIN	9,8	10,8	18,2	18,8	9,8	18,8	9,4	18,8	18,2	8,4	18,8	18,8



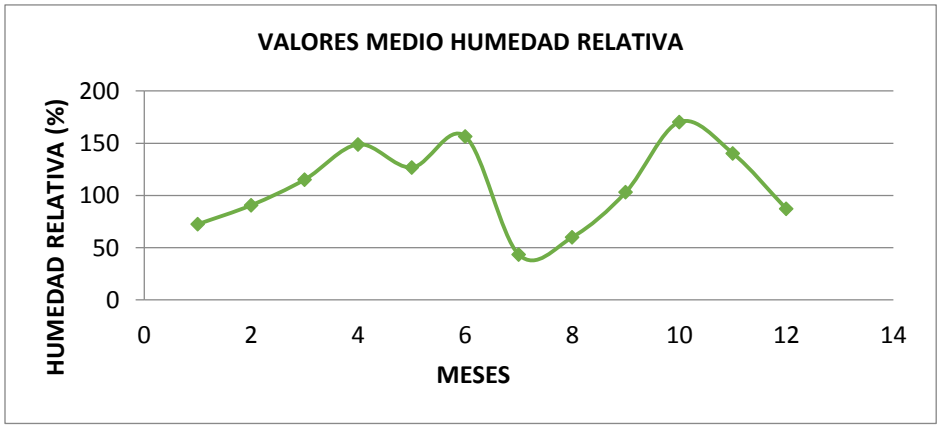
Valores totales mensuales de precipitación (mm):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
MED	72,5	90,7	115,2	148,9	126,8	156,5	43,4	60,1	103,2	170,3	140,3	87,1
MAX	194,1	216,1	194,3	350,5	263,8	200	148,2	311,9	264,5	417,3	232,5	304,9
MIN	8,3	7,8	22,1	10	19,6	16,4	10,5	0	9,1	42,8	56,3	9,2



Valores medios mensuales de humedad relativa (%):

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
MED	80	88	88	88	88	56	85	84	85	88	89	88
MAX	95	95	96	94	94	95	94	93	93	94	95	95
MIN	77	78	78	81	82	76	78	76	75	78	83	88



ANEXO 2 PARAMETROS LIMITANTES PRODUCCION CAFÉ

A continuación se presenta los datos de las hectáreas (ha) cultivadas con café en las 33 veredas del municipio de Anolaima distribuidas bajo los parámetros luminosidad, variedad y tipo de caficultura.

LUMINOSIDAD				
Vereda	**Hectáreas cultivadas**			**Total**
	Sol	**Semisombra**	**Sombra**	
Balsillas		2,02		2,02
Barrio San Antonio		2,73		2,73
Barrio San Vicente		0,51		0,51
Cajón		2,82		2,82
Calandaima	10,66	63,67	8,61	82,94
Cayunda	0,68	11,11	1,39	13,18
Centro		0,67		0,67
Chiniata	0,69	108,86	5,07	114,62
Chiniata Baja		9,02	0,2	9,22
Corama	7,16	5,32		12,48
El Descanso	2,17	23,09	1,26	26,52
El Platanal	2,4	46,86	2,61	51,87
Ilo	0,3	2		2,3
La Esmeralda		26,11	0,3	26,41
La Laguna	4,56	27,9	0,34	32,8
La María	4,55	79,18	19,52	103,25
Limonal		1,62		1,62
Luchima		1,35	0,5	1,85
Matima	7,59	17,23		24,82
Mesitas Del Caballero		21,81	1,89	23,7
Milán		3,16		3,16
Monte Largo		4,47		4,47
Puente Tierra	0,23	2,46		2,69
San Agustín	5,09	42,94		48,03
San Cayetano	5,8	53,65	5,17	64,62
San Isidro	4,4	13,75	3,38	21,53
San Isidro Alto	13,49	25,49	0,1	39,08
San Isidro Bajo	1,54	9,49	0,1	11,13
San Jerónimo	1,12	28,67		29,79
San Juanito	4,42	70,72	7,01	82,15
Santa Bárbara	6,56	10,24		16,8
Santo Domingo	2,55	153,12	18,59	174,26
Tocarema	0,18	1,81		1,99
TOTAL	86,14	873,85	76,04	1036,03

	VARIEDAD					
Vereda	**Castillo**	**Colombia**	**Tabi**	**Caturra**	**Tipica**	**Total**
Balsillas	1,42	0,6				2,02
Barrio San Antonio		0,25			2,48	2,73
Barrio San Vicente	0,21				0,3	0,51
Cajón	0,42			0,4	2	2,82
Calandaima	23,49	37,88	0,75	15,9	4,92	82,94
Cayunda	4,93	3,58		2,97	1,7	13,18
Centro		0,32		0,35		0,67
Chiniata	17,36	29,87	2,35	9,28	55,76	114,62
Chiniata Baja	1,5	0,42		2,2	5,1	9,22
Corama	6,16	2,68		0,51	3,13	12,48
El Descanso	4,12	6,93		3,91	11,56	26,52
El Platanal	7,19	10,36	0,73	2,68	30,91	51,87
Ilo		1,39		0,71	0,2	2,3
La Esmeralda	6,97	4,72		0,62	14,1	26,41
La Laguna	10,66	9,57		2,52	10,05	32,8
La María	20,59	46,78		12,38	23,5	103,25
Limonal	0,56	0,1			0,96	1,62
Luchima	0,52	0,1		0,48	0,75	1,85
Matima	15,22	2,21		2,47	4,92	24,82
Mesitas Del Caballero	4,03	6,15		3,69	9,83	23,7
Milan	2,36	0,4		0,4		3,16
Monte Largo		1,08		0,6	2,79	4,47
Puente Tierra	0,96	0,23			1,5	2,69
San Agustín	11,16	17,36	0,28	2,2	17,03	48,03
San Cayetano	14,18	30,89		15,12	4,43	64,62
San Isidro	6,32	12,12		0,6	2,49	21,53
San Isidro Alto	15,29	13,6		1,77	8,42	39,08
San Isidro Bajo	3,26	6,19		0,4	1,28	11,13
San Jerónimo	12,02	6,79		1,83	9,15	29,79
San Juanito	9,75	42	0,93	19,64	9,83	82,15
Santa Barbará	13,01	0,55		0,38	2,86	16,8
Santo Domingo	38,71	52,05	0,83	16,65	66,02	174,26
Tocarema		0,68		0,52	0,79	1,99
TOTAL	252,37	347,85	5,87	121,18	308,76	1036,03

TIPO CAFICULTURA				
Vereda	**Tecnificado Joven**	**Tecnificado Envejecido**	**Tradicional**	**Total**
Balsillas	2,02			2,02
Barrio San Antonio	0,25		2,48	2,73
Barrio San Vicente	0,21	0,2	0,1	0,51
Cajón	0,42	0,4	2	2,82
Calandaima	62,17	18,34	2,43	82,94
Cayunda	11,42	1,76		13,18
Centro	0,32	0,35		0,67
Chiniata	47,87	35,96	30,79	114,62
Chiniata Baja	2,62	5	1,6	9,22
Corama	12,48			12,48
El Descanso	14,79	7,18	4,55	26,52
El Platanal	19,25	15,06	17,56	51,87
Ilo	1,78	0,32	0,2	2,3
La Esmeralda	11,4	4,15	10,86	26,41
La Laguna	22,9	6,41	3,49	32,8
La María	52,44	31,7	19,11	103,25
Limonal	0,66		0,96	1,62
Luchima	1,1	0,75		1,85
Matima	20,9	0,8	3,12	24,82
Mesitas Del Caballero	9,72	4,68	9,3	23,7
Milan	2,76	0,4		3,16
Monte Largo	2,01	0,85	1,61	4,47
Puente Tierra	1,19		1,5	2,69
San Agustín	28,77	12,99	6,27	48,03
San Cayetano	44,86	16,58	3,18	64,62
San Isidro	13,29	7,18	1,06	21,53
San Isidro Alto	29,56	2,87	6,65	39,08
San Isidro Bajo	9,35	0,8	0,98	11,13
San Jerónimo	19,42	4,37	6	29,79
San Juanito	38,83	37,64	5,68	82,15
Santa Barbará	13,43	0,51	2,86	16,8
Santo Domingo	84,89	60,44	28,93	174,26
Tocarema	1,2		0,79	1,99
TOTAL	584,28	277,69	174,06	1036,03

ANEXO 3 PRECIPITACION EFECTIVA

A continuación se presentan los datos de precipitación efectiva para el municipio de Anolaima. Los valores obtenidos indican que la precipitación es la principal fuente de agua para los cultivos de café. Estos valores fueron calculados con la formula AGLW que establece:

$$P_{ef} = 0{,}6 * P - 10\ /3 \quad \text{Para P <=70/3}$$

$$P_{ef} = 0{,}8 * P - 24\ /3 \quad \text{Para P > 70/3}$$

Mes	Precipitacion mm	Prec. Efec mm	Prec. Efec m
Enero	72.5	34	0,034
Febrero	90.7	48,6	0,0486
Marzo	115.2	68,2	0,0682
Abril	148.9	95,1	0,0951
Mayo	126.8	77,4	0,0774
Junio	156.5	101,2	0,1012
Julio	43.4	16	0,016
Agosto	60.1	26,1	0,0261
Septiembre	103.2	58,6	0,0586
Octubre	170.3	112,2	0,1122
Noviembre	140.3	88,2	0,0882
Diciembre	87.1	45,7	0,0457
TOTAL	1315.0	771,3	0,7713

Los resultados presentados anteriormente muestran que los mayores niveles de precipitación efectiva se dan en la temporada de Abril –junio seguido de Septiembre- Noviembre, épocas en la cual se presenta las temporadas de lluvia en la zona, recordando que por la Ubicación del municipio de Anolaima presente un régimen bimodal en la precipitación.

ANEXO 4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL O DE REFERENCIA

En la tabla muestra los valores de evapotranspiración para cada mes, con base a los datos de las condiciones climatológicas características del municipio de Anolaima suministrados por la estación meteorológica La Florida.

Tabla 51: Evapotranspiración potencial, municipio de Anolaima

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento Km/día	Insolación hr	Rad $MJ/m^2/día$	Eto mm/día
Enero	11.3	23.3	80	25	6.5	18.1	3.15
Febrero	11.8	23.5	88	25	6.2	18.5	3.31
Marzo	11.8	23.4	88	25	5.3	17.7	3.23
Abril	12.2	23.6	88	25	4.5	16.3	3.05
Mayo	12.3	22.9	88	25	5.2	16.7	3.05
Junio	11.9	22.6	86	25	5.5	16.7	2.99
Julio	11.3	22.6	85	25	5.5	16.8	3.00
Agosto	11.5	23.2	84	25	6.1	18.4	3.28
Septiembre	11.8	23.4	85	25	6.3	19.1	3.43
Octubre	11.7	23.1	88	25	5.3	17.2	3.12
Noviembre	11.8	22.8	89	25	4.6	15.4	2.80
Diciembre	11.4	22.6	88	25	4.9	15.5	2.75
PROMEDIO	11.7	23.1	86	25	5.5	17.2	3.10

La FAO determina como valores promedio de evapotranspiración para regiones templadas con temperatura promedio diaria moderada (cercana a los 20ºC) un rango entre 2 y 7 mm dia-1 (Allen et al., 1998). Tomando esto como referencia, los resultados obtenidos se enmarcan dentro del rango establecido, durante todos los meses del año.

ANEXO 5 REQUERIMIENTOS DE RIEGO DEL CULTIVO

Se obtuvieron los requerimientos de riego del cultivo de café, destacando que estas necesidades corresponden a la etapa en que el cultivo de café es productivo

Tabla 52: Requerimientos hídricos del cultivo de café en etapa productiva

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	Etc mm/día	Etc mm/dec	Prec. Efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Sep	3	Inic	0.90	2.99	9.0	9.8	9.0
Oct	1	Inic	0.90	2.90	29.0	38.8	0.0
Oct	2	Inic	0.90	2.81	28.1	43.8	0.0
Oct	3	Inic	0.90	2.71	29.8	41.3	0.0
Nov	1	Inic	0.90	2.62	26.2	38.5	0.0
Nov	2	Des	0.90	2.52	25.2	37.1	0.0
Nov	3	Des	0.90	2.50	25.0	33.1	0.0
Dic	1	Des	0.89	2.47	24.7	28.0	0.0
Dic	2	Des	0.89	2.45	24.5	23.9	0.5
Dic	3	Des	0.89	2.56	28.2	23.1	5.1
Ene	1	Des	0.89	2.67	26.7	21.8	4.9
Ene	2	Des	0.88	2.78	27.8	20.3	7.6
Ene	3	Med	0.88	2.82	31.0	22.1	8.9
Feb	1	Med	0.88	2.87	28.7	24.3	4.4
Feb	2	Med	0.88	2.92	29.2	25.7	3.4
Feb	3	Med	0.88	2.89	23.1	27.6	0.0
Mar	1	Med	0.88	2.87	28.7	29.4	0.0
Mar	2	Med	0.88	2.84	28.4	31.2	0.0
Mar	3	Fin	0.88	2.79	30.7	33.4	0.0
Abr	1	Fin	0.88	2.73	27.3	36.6	0.0
Abr	2	Fin	0.88	2.67	26.7	39.3	0.0
Abr	3	Fin	0.88	2.67	26.7	37.4	0.0
May	1	Fin	0.87	2.67	24.0	30.8	0.0
					608.6	697.6	43.8