

**Minimización del Impacto Ambiental de las Aguas Mieles del Café y  
Aprovechamiento de su Potencial Energético en la Finca la Planada en la Vereda  
del Pindio del Municipio de Almaguer, Cauca**

Hernando Javier Anaya Cabrera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA  
Agronomía  
2023

**Minimización del Impacto Ambiental de las Aguas Mieles del Café y  
Aprovechamiento de su Potencial Energético en la Finca la Planada en la Vereda  
del Pindio del Municipio de Almaguer, Cauca**

Hernando Javier Anaya Cabrera

Trabajo de grado para optar por el título de Agrónomo.

Tutor

PhD. Efrén Venancio Ramos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Agronomía  
2023

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Popayán, mayo de 2023

### **Dedicatoria**

Dedico de manera especial este proyecto en primer lugar a Dios por darme  
fortaleza para poder seguir mis estudios universitario muy importantes  
para my vida y mi familia, a mis padres  
por inculcarme los valores de la disciplina y el sacrificio  
para lograr mis objetivos y a mi familia por  
brindarme su apoyo incondicional y su acompañamiento en  
esta importante etapa de mi vida.

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecemos a la universidad nacional abierta y a distancia UNAD por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera profesional.

Así mismo a todas las personas que cultivaron en mí la semilla de la superación personal y me ofrecieron las herramientas necesarias para iniciar y terminar nuestros estudios en la educación superior.

A los tutores de la universidad, quienes me ofrecieron parte de su conocimiento para crear en mí una persona profesional, especialmente al Ing. Efrén Venancio Ramos asesor del trabajo y tutor en muchos de los componentes prácticos como también a la Ing. Rocío del Carmen Yépez como jurado del proyecto, y a todas las personas que me colaboraron en la realización de este trabajo.

Y para finalizar, también agradecemos a todos los que fueron nuestros compañeros de aula virtual durante todos los créditos de la universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje nuestras ganas de seguir adelante nuestra carrera profesional.

## Resumen

El manejo de las aguas mieles que surgen del proceso de beneficio húmedo del café (*coffea arábica*) preocupa en zonas de alta producción como es el macizo colombiano donde se produce una gran cantidad de agua potable en pleno corazón del macizo colombiano por eso es importante buscar alternativas de solución a estos impactos ambientales crecientes cada día. (Zuluaga & Zambrano, 1993)

Según Sarasty-Zambrano (2013), las aguas residuales producidas por el mucilago , contaminan la cantidad de 4 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco en el beneficio tradicional como el que se maneja en la finca donde se realiza el proyecto y en la gran mayoría de fincas de nuestra país, a las cuales se les realizara una metodologías para su descontaminación y al mismo tiempo aprovechamiento del contenido de esta mezcla, mediante una técnica que consiste en pasar las aguas mieles por un biodigestor tipo salchicha para producir biogás por fermentación y acción de microorganismos que ayudan a ir mejorando su calidad y aprovecharlo como fuente energética en la finca y además los sólidos de la mescal por decantación se podrán capturar al final recolectarlos para utilizarlos como fertilizante. (Chungandro-Nacaza & Manitio-Cahuatijo, 2010)

El proceso continuo con un fitomejoramiento con plantas acuáticas donde irá perfeccionando la calidad del agua, hasta buscar mejorar parámetros físico químicos y organolépticos como oxígeno disponible, fosfato disuelto, dureza total, ph determinación de nitritos, nitratos y amonio disueltos en el agua entre otros. (Báez-Muñoz, 2009)

**Palabra claves:** agua residual, biodigestor, fitomejoramiento, aprovechamiento, calidad de agua

### Abstract

The management of honey waters that arise from the process of wet coffee processing (coffea arabica) worries in areas of high production such as the Colombian massif where a large amount of drinking water is produced in the heart of the Colombian massif, so it is important to look for alternative solutions to these growing environmental impacts every day. (Zuluaga & Zambrano, 1993)

According to Sarasty-Zambrano (2013), the wastewater produced by the mucilage, contaminates the amount of 4 liters of water per kilogram of dry parchment coffee in the traditional benefit such as the one that is managed on the farm where the project is carried out and in the vast majority of farms in our country, to which a methodologies will be made for its decontamination and at the same time Use of the content of this mescla, through a technique that consists of passing the honey waters through a sausage-type biodigester to produce biogas by fermentation and action of microorganisms that help to improve its quality and take advantage of it as an energy source on the farm and also the solids of the Mescal by decantation can be captured at the end collect them to use them as fertilizer. (Chungandro-Nacaza & Manitio-Cahuatijo, 2010)

The process continues with a phytobreeding with aquatic plants where it will improve the quality of the water, until seeking to improve physical, chemical and organoleptic parameters such as available oxygen, dicusleto fophate, total hardness, pH determination of nitrites, nitrates and ammonium dissolved in the water among others. (Báez-Muñoz, 2009)

**Keywords:** wastewater, biodigester, plant breeding, use, water quality

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Antecedentes .....	15
Justificación .....	16
Problema .....	19
Descripción de la Necesidad.....	22
Objetivos.....	24
Objetivo general .....	24
Objetivos Específicos.....	24
Marco Conceptual.....	25
Beneficio Tradicional.....	25
El Biodigestor .....	28
Toma de Muestras y Parámetros Físicoquímicos .....	29
Consideraciones Generales para la Toma de las Muestras .....	31
Toma y Preservación de Muestras de Agua.....	34
Embalaje y Transporte de la Muestra.....	34
Entrega de la Muestra en el Laboratorio .....	35
Precauciones Durante el Muestreo.....	35
Recipiente muestreo .....	35
Eutrofización.....	37
Materiales Instalación y Equipo.....	38
Procedimiento .....	38
Estructura del Sistema.....	39



Cómo afecta el pH al agua potable.....	39
Importancia del pH en los arroyos y los lagos .....	40
Factores que Hacen Variar el pH .....	40
Entender la manera de analizar el Ph .....	40
Metodología .....	41
Ubicación .....	41
Materiales que se Utilizaron en el Proyecto .....	42
Diseño, Implementación y Funcionamiento del Biodigestor.....	44
Etapas y Actividades Programadas para el Proyecto .....	50
Resultados .....	51
Análisis Químicos de las Aguas Mieles.....	51
Determinación de oxígeno disueltos .....	51
Determinación de Amonio .....	53
Problemas Ambientales por Compuestos Nitrogenados en el Agua.....	54
Determinación de Amonio NO <sub>3</sub> .....	58
Determinación del Nitrato NH <sub>3</sub> .....	59
Determinación de Nitritos NO <sub>2</sub> .....	60
Determinación del PH.....	61
Determinación del Fosfato (PO <sub>4</sub> – 1).....	62
Determinación de Dureza de Carbonatos.....	64
Determinación de la Dureza Total .....	64
Determinación de la Dureza Residual.....	64
Conclusiones e Impactos Logrados y/o Esperados.....	68

	10
Oxígeno Disponible .....	68
Amonio.....	68
El pH .....	68
Nitrato (NH <sub>3</sub> ).....	69
Nitritos (NO <sub>2</sub> ).....	69
Biogás.....	72
Biol.....	72
Laguna de Estabilización .....	72
Fuentes de agua.....	72
Referencias Bibliográficas .....	73
Apéndices.....	78

## Índice de Tablas

Tabla 1. Composición Típica de las Aguas Mieles del Café .....	28
Tabla 2. Presupuesto Detallado para el Correcto Desarrollo Proyecto .....	42
Tabla 3. Cronograma de Actividades por Meses .....	50

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación satelital del sitio donde se desarrolla el proyecto.....	41
Figura 2. Diseño del proyecto en la finca .....	45
Figura 3. Nivelación y excavación para las construcciones .....	46
Figura 4. Construcción de biodigestor tipo salchicha.....	46
Figura 5. Construcción de biodigestor tipo salchicha.....	47
Figura 6. Construcción de laguna de estabilización.....	47
Figura 7. Construcción de laguna de estabilización.....	48
Figura 8. Sistema el biodigestor y laguna estabilización en funcionamiento .....	48
Figura 9. Inicio del sistema.....	49
Figura 10. Determinación de oxígeno disuelto de muestras de agua miel.....	52
Figura 11. Determinación de amonio de aguas mieles Tomás del sistema .....	58
Figura 12. Determinación de nitrato disuelto de muestras de aguamiel .....	59
Figura 13. Determinación de nitritos disueltos de muestras de aguamiel.....	60
Figura 14. Determinación de PH de muestras de agua miel .....	61
Figura 15. Determinación de fosfato disuelto de muestras de agua miel .....	63
Figura 16. Determinación de la dureza de carbonatos de muestras de agua miel .....	65
Figura 17. Determinación de la dureza total de muestras de agua miel .....	65
Figura 18. Determinación de la dureza residual con muestras de agua miel.....	66

## Introducción

El cultivo de café (*coffea arábica*) ha ofrecido un gran potencial a nuestro país a nivel internacional de tal forma que éste es uno de los productos de exportación más importantes, lo cual implica una gran influencia en el sector de la economía, además en lo social y ambiental de nuestro país Colombia. Su nivel de producción es tan alto que compromete a 590 municipios y los departamentos andinos del país. (Cataño, 2012)

El área disponible para el cultivo del café e nuestro país está cerca a las 3,6 millones de hectáreas de las cuales se cultivan en estos momentos 970 mil hectáreas, empleando a las familias propietarias de los predios cafeteros, y a miles de recolectores de café, que conforman el grueso de los trabajadores directos e indirectos de esta economía, números que determina la gran importancia para poder decir que ésta sea nuestra industria emblemática (Sarasty-Zambrano, 2013).

En este sentido el Municipio de Almaguer, Cauca y en especial en la vereda del Pindio donde se desarrolla el proyecto, no es ajeno a esta actividad agrícola, pero con la producción viene las diferentes dificultades en este caso la contaminación de las quebradas y ríos que recorren el sector, con los residuos del beneficio húmedo del café que es la técnica utilizada por los productores de la zona donde nos encontramos para este proyecto.

En su gran mayoría las áreas cultivadas en promedio para esta producción son de 1.5 hectáreas donde se cultivan, hasta 5000 árboles de café por hectárea. que en cosecha produjeron para el municipio de Almaguer en el año 2020 una cantidad de 316.000 kilos de café pergamino seco al año según reporte del comité de cafeteros municipal para el año 2020. (Federación Nacional de Cafeteros (FNC), 2020)

Si tenemos en cuenta lo expuesto anterior mente, y que según Domínguez (2001) “por cada kilo de café pergamino seco se contaminan aproximadamente 4 litros de agua”(p.76), nos da como resultado que con lo cosechado en el municipio de Almaguer para 2020 se estarían contaminado un aproximado de 1.264.000 litros de agua en una “zona que está ubicada en el corazón del macizo colombiano que produce agua para varios departamentos y en general para nuestro país” (Hernández, 2018, p.226), por eso se hace importante buscar alternativas que permitan mitigar este tipo de contaminación y es la propuesta y planteamiento de este proyecto que se resume en conducir las aguas mieles del café hacia una serie de estaciones como son: un biodigestor tipo salchicha donde se fermentara y se decantara permitiendo por un lado la producción de gas para su aprovechamiento energético y por otro lado la disminución de algunos de los contaminantes en este primer proceso bioquímico que dividirá varios de los azúcares y ácidos de la mezcla según nos indica Cabrera-Arce (2011), después seguirán su paso hacia otra estación del recorrido como es la alguna de estabilización donde se pretende mejorar mucho más la composición del agua mediante una mezcla con agua de la quebrada más una aireación y correlación con plantas acuáticas que hacen parte muy importante de este proceso con procesos bioquímicos que se dan mientras el agua está en un reposo en esta etapa (Peralta et al., 1999); y así poder finalmente devolverla a la quebrada con un mejoramiento en la descontaminación mermando sus efectos en la biosfera de la quebrada y de la vida de las personas que utilizan el vital líquido.

### **Antecedentes**

En años anteriores se han avanzado en una cantidad de ensayo y proyectos sobre la implantación de tecnologías como las que trata este documento y que son la base del proyecto de grado.

Hace muchos siglos se observó que el biogás se generaba de forma natural en los pantanos, donde la materia orgánica enterrada bajo el lodo sufre un proceso de digestión anaerobia gracias a las bacterias presentes. Este gas fue conocido como gas de los pantanos. Los biodigestores simulan ese mismo proceso natural, donde las bacterias transforman el estiércol en biogás y fertilizante, pero de forma controlada. (Cabrera-Arce, 2011)

Los primeros biodigestores se realizaron en China a mediados del siglo XX. Eran biodigestores hechos de ladrillo que se asemejaban a ollas de cocina gigantes enterradas y cerradas herméticamente. Debido a la laboriosidad de la obra de este tipo de biodigestores, sus costes eran altos y hacían que esta tecnología no fuese accesible a las familias pequeñas del ámbito rural con menores recursos. (Cabrera-Arce, 2011)

Según Tamayo (2014), a finales de los ochenta se propusieron biodigestores familiares como tecnología apropiada para el desarrollo agropecuario de los países en desarrollo, donde los costes de inversión fueron fácilmente recuperados por una familia en dos o tres años, así es como se da el nacimiento de los biodigestores de bajo costo que comenzaron a instalarse en Latinoamérica y el Caribe, iniciando por Colombia.

### **Justificación**

La implementación de alternativas que permitan disminuir los impactos ambientales derivados del mal uso que se da a los residuos post cosecha del café y la optimización de estos para el beneficio del agricultor es un tema al que se han hecho muchos aportes, por ejemplo la utilización de técnicas de manejo como el biodigestor que es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etc). (Restrepo, 1999)

En determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante del material que entró al mismo. pues una vez realizado el proceso y dando un manejo adicional al material resultante de la reacción sé que se aprovechará como abono orgánico con aportes de elementos antes mencionados. (Chungandro-Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010)

Según lo expuesto por Zuluaga & Zambrano (1993), las aguas mieles del café se producen cuando se aplica una técnica llamada beneficio húmedo del café que consiste en procesar el fruto fresco del café y llevándolo en primer lugar a un despulpado y después a una fermentación que se hace sumergiendo el fruto en agua y dejándolo hay por 24 o 48 horas dependiendo de la variedad o del producto final que se quiera obtener, después de este tiempo se procede a lavar con suficiente agua y revolviendo para que el material de la cascara y el mucilago se separen de la semilla y finalmente obtener dos productos por un lado la semilla de café ya limpio para proceder al secado y por otro lado de este proceso se obtiene una mezcla de agua y todos los residuos de este proceso, esta mezcla recibe el nombre de aguas mieles del café



sobre todo por su color café claro y su sabor un poco dulce gracias a los azúcar del mucilago del fruto del café (Federación Nacional de Cafeteros (CENICAFE), 2015)

Las aguas residuales producidas por el mucilago fermentado del café, en el lavado en los tanques tinas, en el cual, el consumo de agua es de 4 litros por kilogramo de café pergamino seco. El PH de estos residuos oscila entre 4 y 4,5 unidades y la demanda de oxígeno la cual expresa el déficit de oxígeno ocasionado por la contaminación presente en el agua, tiene un valor cercano a 27400mg/L. además de otros productos que se generan en la reacción fisicoquímica de la fermentación del café en esta técnica (CENICAFE, 2015).

Una solución del manejo de la mezcla agua mucilago procedentes del desmucilaginado mecánico por separado de la pulpa del café, el cual presenta un beneficio propio para la finca y además aguas abajo en el recorrido de la quebrada y su hábitat. Lo anterior crea la necesidad de generar una nueva opción para el tratamiento de la mezcla agua mucilago, acorde con el nivel económico del pequeño productor que le genere beneficios propios (gas, abono líquido y certificado ambiental) y a la vez le sirva de planta de tratamiento de la mezcla agua-mucilago, esto generaría una producción más limpia, sostenible, con sustitución de energía y minimización de la carga contaminante según nos indica Chungandro-Nacaza & Manitio Cahuatijo (2010).

Según lo expuesto en Soto et al., (2012), es muy importante resaltar que como producto de esta contaminación se tienen las siguientes consecuencias: Muerte de los animales acuáticos y de las plantas por la falta de oxígeno y por la alta acidez del agua. Proliferación de malos olores, atracción de insectos y deterioro del paisaje. El agua se convierte en no potable.

El agua no se puede reutilizar para uso industrial y tampoco en otras beneficiadoras de café. El manejo de las aguas mieles con el biodigestor y además con una laguna de estabilización donde se utiliza técnicas de Fito mejoramiento, con plantas como lenteja de agua o buchón de

agua esto mejora la calidad del agua, antes de que vuelva al afluente sea río o quebrada, esta técnica mejora el oxígeno en el agua, permite la sedimentación de los sólidos disueltos en el agua con el tiempo que permanece en el reactor, además en la laguna se oxigena y se descontamina en la relación con las plantas que conviven en la laguna de estabilización esto, según lo expuesto por Peralta et al. (1999)

## Problema

“La utilización de biodigestores acompañados por lagunas de estabilización pueden disminuir la contaminación de aguas mieles generadas, en la finca la planada las cueles son vertidas en el río Caquiona y ser aprovechadas energéticamente en el proceso”

### Planteamiento del Problema

En el proceso de cultivo e industrialización de café solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco y la preparación de la bebida; el 95% restante está representado por residuos orgánicos que presentan diferentes composiciones químicas. Los principales subproductos generados en el proceso de beneficio e industrialización del fruto de café son: la pulpa, el mucilago, el cisco, las pasillas. (CENICAFE, 2015)

El sistema de beneficio húmedo del café, después de su recolección, es el proceso por el cual se retira del grano de café el pericarpio y mesocarpio mediante métodos físicos y bioquímicos (fermentación), lavado total del mucilago (que incluye las etapas de fermentación), secado y empaquetado generando residuos como pulpa, aguas mieles, aguas de lavado y cascarilla (CENICAFE, 2015) dado que el agua es muy importante en esta etapa genera el mayor impacto ambiental negativo sobre los ecosistemas, por la cantidad de compuestos orgánicos de baja biodegradabilidad que se solubilizan en el agua, cuando entra en contacto con la pulpa, la cual es responsable de las tres cuartas partes de la contaminación potencial que se puede producir en las beneficiadoras de café. (CENICAFE, 2015)

En las aguas mieles al ser dispuestas en una quebrada o río, bien sea de forma directa o por escorrentías, podemos generar contaminación, modificando las características fisicoquímicas de agua tales como Alcalinidad total, sólidos en suspensión, nitratos, pH, fósforo total, turbidez.

siendo estos indicadores los más relevantes es indispensable tener en cuenta que por supuesto las cantidades varían dependiendo de la cantidad de café procesado. (Sarasty-Zambrano, 2013)

Se han creado técnicas de manejo de residuos que permiten minimizar el impacto ambiental de los residuos del proceso del beneficio húmedo del café como las que exponemos en este trabajo de grado. estas técnicas no son conocidas y menos implementadas por los pobladores del municipio de Almaguer o en la vereda el Pindio. No cuentan con los conocimientos necesarios para tratar de minimizar el problema, vertiendo todas las agua-miel y sus derivados al río Caquiona que nace en la parte alta del municipio y se une al río San Jorge que desemboca en al río Patía, produciendo la contaminación de esta vertiente muy importante para el sur del departamento y de la cual dependen cientos de familias para su consumo aguas abajo. (Alfredo, 1978)

Teniendo en cuenta las cantidades de producción del municipio de Almaguer y que cantidad de agua se contamina por cada kilo de café procesado podemos dimensionar las cantidades de residuos arrojados a esta vertiente en las etapas de beneficio húmedo de café, así, cuando se realizan lavado de café dentro de los tanques de fermentación y se excede en lavados la contaminación que de hecho ya está acumulada por efecto del mucilago, se incrementa mucho más.

El consumo de agua promedio obtenido para lavar es de 4.16 L/kg cps En la labor de despulpado se obtienen dos fracciones que son el café despulpado que representa un 60% y la pulpa que representa un 40%. Se ha encontrado que un 72% de la contaminación proviene de la labor del despulpado con agua y evacuación de la pulpa en la misma forma, el 28% de la contaminación restante proviene del proceso de lavado, al remover con agua el mucilago ya fermentado. Por lo tanto:

Las aguas mieles del café y de la pulpa al no recibir un buen manejo se convierte en dos grandes contaminantes en el ambiente, las aguas mieles son 60 veces más contaminantes que las aguas residuales domésticas, generando así un impacto ambiental en ríos y quebradas, además de la muerte de la flora y la fauna acuáticos y daños a la salud de las personas que beben de esta agua contaminada por los cambios fuertes en el pH que desciende drásticamente y además por los químicos generados en la fermentación ya mencionados anterior mente. (Sarasty-Zambrano, 2013, p.51)

Por esto es de vital importancia que las familias conozcan nuevas técnicas del manejo adecuado de las aguas mieles y de esta esta forma evitar los problemas medioambientes y de salud pública que puedan ocasionar en río Caquiona por el consumo de estas aguas y para ello implementara en la finca un sistema de biodigestor y las lagunas de oxidación como modelos para que los productores de café de la zona los puedan implementar. (Sarasty-Zambrano, 2013)

### **Descripción de la Necesidad**

Identificando la problemática del Municipio y su ubicación dentro el macizo colombiano también llamado estrella fluvial colombiana, podemos reconocer la necesidad existente en la región, de implementación de técnicas como la de los biodigestores y lagunas de estabilización para poder minimizar la contaminación en fuentes hídricas que aguas abajo son utilizadas por una gran cantidad de comunidades, inicialmente es primordial contextualizarnos con las personas, cantidades y el lugar donde se ejecuta el proyecto. (Alfredo, 1978)

El Municipio de Almaguer está ubicado en el corazón del macizo colombiano donde confluyen grandes cuencas para el departamento del Cauca, en este caso en particular la del río San Jorge que desemboca aguas abajo en el río Patía según lo descrito por Alfredo (1978), es el más largo de la región Pacífica colombiana. Se extiende a lo largo de 400 km de recorrido, de los cuales los últimos 90 km son navegables. y abarcando una hoya hidrográfica con una extensión cercana a los 24.000 km<sup>2</sup>. Sale a la llanura del Pacífico a través de un profundo corte de la cordillera Occidental con un caudal medio de 1291 m<sup>3</sup>/s Solo en Almaguer donde se cuenta en temas de café con una producción de 316.000 kilos en 2020. (Iregui et al., 2006)

Por año si a este número le multiplicamos por la cantidad de agua que se necesita para lavarlo según los datos que es de 40 l/ kl nos da una cifra de 12.640.000 litros necesarios para esta práctica dentro del beneficio húmedo de café que en este momento es la forma de tratado del café en el municipio, podemos adicionar que la pulpa y el mucílago contenidos en un kilogramo de café cereza pueden consumir todo el oxígeno presente en 7,4 m<sup>3</sup> de agua pura, propiciando su rápida putrefacción en 24 horas, lo que por año en el municipio serían 2.338.400 m<sup>3</sup> de agua a la que se le puede consumir el oxígeno según este dato, y así sucesivamente podemos obtener por

medio de la cantidad de producción de café en el municipio de Almaguer contaminantes en grandes cantidades. (Cataño, 2012)

Esta zona ha sido tomada como eje de trabajo y referencia para la aplicación del proyecto debido a sus prácticas de beneficio de café que en su gran mayoría son por el medio húmedo y la falta de la implementación de otras técnicas como el beneficio seco u otros que se trabajan en otras partes de nuestro país.

Además de esto no solo es tratar de controlar la contaminación sino además poder sacar varios benéficos de este proceso, sin lugar a dudas el más grande es mejorar la calidad del agua y por ende la de nuestro ambiente, además podemos aprovechar para producir energía en este caso con la producción de gas metano para generar calor y utilizarlo en las acciones diarias del hogar como cocinar, calentar o cualquier otra que este sistema nos permita. (Cabrera-Arce, 2011)

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Implementar el biodigestor y Laguna de estabilización para la descontaminación de las aguas mieles en la finca la planada en la vereda del Pindio, municipio de Almaguer, Cauca.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar el sistema de biodigestor en la finca y su correcta distribución en el espacio que hay, además del sistema de tratamientos de aguas mieles de acuerdo con su localización en sitio.

Implementar una Laguna de estabilización al final del sistema.

Evaluar la eficiencia de remoción de los contaminantes mediante los parámetros (físicos y químicos) del aguamiel en el efluente y afluente.



## Marco Conceptual

### Beneficio Tradicional

Según lo expuesto por Restrepo (1999), en las aguas mieles del café se producen cuando se aplica una técnica llamada beneficio húmedo del café que consiste en procesar el fruto fresco del café y llevándolo en primer lugar a un despulpado y después a una fermentación que se hace sumergiendo el fruto en agua y dejándolo hay por 24 o 48 horas dependiendo de la variedad o del producto final que se quiera obtener, después de este tiempo se procede a lavar con suficiente agua y revolviendo para que el material de la cascara y el mucilago se separen de la semilla y finalmente obtener dos productos por un lado la semilla de café ya limpio para proceder al secado

Por otro lado, de este proceso se obtiene una mezcla de agua y todos los residuos de este proceso, esta mezcla recibe el nombre de aguas mieles del café sobre todo por su color café claro y su sabor un poco dulce gracias al azúcar del mucilago del fruto del café las aguas residuales producidas por el mucilago fermentado del café, en el lavado en los tanques tinas, tienen un consumo de agua de 4 litros por kilogramo de café pergamino seco. (CENICAFE, 2015)

Y es ahí donde se ha propuesto un método de descontaminación de las aguas mieles del café y al mismo tiempo aprovechamiento del contenido de esta mezcla, técnica que consiste en pasar las aguas mieles por un biodigestor tipo salchicha donde sedimentaremos el contenido y una gran cantidad de los sólidos se podrán capturar y al final recolectarlos para utilizarlos como fertilizante (Restrepo, 1999), además en este paso se produce por fermentación y acción de microorganismos anaeróbicos descomposición de las partículas del agua miel del café y ayudan a ir mejorando su calidad para el siguiente paso en el mejoramiento de la calidad del agua que es la laguna de estabilización (Domínguez, 2001), pero además de esto, en este punto dentro del

biodigestor por cuenta de todas estas reacciones se producen gases como es el metano que aprovecharemos para cocinar los alimentos en la casa , es importante aclarar que se debe agregar una parte de estiércol de animal que pueden ser de los que haya en la finca sean cerdos, ganado bobino o equino, y/o especies menores , que nos servirán como iniciador de la reacción por las bacterias y microorganismos que estos contienen (Perez et al., 2010), los líquidos resultantes pasaran por un filtro de piedra y unos pasos a desnivel creando burbujeo para oxigenar y finalmente llegar a la laguna de estabilización donde mediante el recorrido por la laguna y el Fito mejoramiento con plantas acuáticas como es la lenteja de agua y el buchón de agua se complementara el proceso de descontaminación además de tener en este caso un premezclado con una parte de agua de una fuente alterna antes de volver al caudal de la quebrada que recibirá el líquido ya tratado, donde esperamos lograr un muy buen resultado para lo cual aremos toma de muestras y análisis de laboratorio y determinar el resultado. (Perez et al., 2010)

Para los resultados tendremos en cuenta los siguientes parámetros Oxígeno disponible, cantidad de amonio, PH, dureza de carbonatos, dureza total, dureza residual, nitrato, nitritos fosfato y saturación que esperamos nos den un buen panorama del mejoramiento de la calidad del agua después del proceso. (Soto et al., 2012)

El beneficio tradicional del café se caracteriza por alto consumo de agua y poco o ningún aprovechamiento de los subproductos, principalmente de la pulpa en las técnicas implementadas en nuestra zona de implementación del proyecto, lo que genera altos niveles de contaminación. En este sistema el café maduro con frecuencia es transportado y clasificado con agua antes de su llegada a la máquina despulpadora, agua para retirar el mucílago, el café despulpado es sometido al proceso de fermentación natural descrito anteriormente (Guarín y Rúa, 2009). Una vez finaliza el proceso de fermentación que tiene una duración de 12 a 18 horas según sean las condiciones

de temperatura de la región, en esta etapa ocurren múltiples reacciones bioquímicas con la presencia de bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pécticos y azúcares constituyentes del mucílago en alcoholes y ácidos, que luego se retiran con el lavado en tanques mediante tres o cuatro enjuagues con agua limpia.

El proceso finaliza cuando el café lavado es llevado al secado ya sea al sol o mecánicamente, En este sistema de beneficio las aguas de lavado son arrojadas generalmente a las fuentes de agua, generando una contaminación de 115,1 g de DQO/kg. La pulpa y el mucílago contenidos en un kilogramo de café cereza pueden consumir todo el oxígeno presente en 7,4 m<sup>3</sup> de agua pura, propiciando su rápida putrefacción en 24 horas. (Zambrano & Isaza, 1998)

La caficultura ha sido identificada como una actividad relevante que afecta las corrientes de agua, principalmente en periodo de beneficio, en razón al proceso húmedo Los resultados generados en el beneficio de café, se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, alta concentración de sólidos, alta turbiedad, bajos valores del pH y altas concentraciones de nutrientes y minerales. El contacto de los subproductos del café con las corrientes de agua receptoras, trae consigo un descenso de oxígeno allí presente; elemento fundamental para garantizar el normal desarrollo de la vida acuática. (CENICAFE, 2015)

Para entender mejor todas estas características del café y su composición nos haremos una idea sobre este en la siguiente tabla:

**Tabla 1.***Composición típica de las aguas mieles del café*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Ph	mg/l	3.7
DBO <sub>5</sub>	mg/l	10000.0
DQO	mg/l	16000.0
SST	mg/l	3600.0
Fósforos	mg/l	35.0
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	40.0
Nitrógeno Orgánico	mg/l	30.0

*Nota.* Según CENICAFÉ (2013), “las aguas miel, contienen hasta 16000mg/l de DQO y 10000 mg/l de DBO y son 60 veces más contaminantes que las aguas residuales domésticas”.

### **El Biodigestor**

Un biodigestor tiene un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno, se obtiene de este proceso, en su mayoría gas metano, seguido de bióxido de carbono, el residuo puede ser usado como abono y presenta varias ventajas. En el proceso de la digestión se considera que la digestión anaeróbica se lleva a cabo en tres etapas el cual está formado por: Hidrolisis, formación de ácidos y formación de metano. (Chungandro-Nacaza & Manitio-Cahuatijo, 2010)

### **Toma de Muestras y Parámetros Físicoquímicos**

La calidad del agua. El agua es el líquido más abundante de nuestro planeta y gracias a él, es posible la vida. Sin embargo, no toda el agua disponible es apta para el consumo humano. Por eso, cuando el agua es fuente de abastecimiento para nuestras actividades cotidianas como comer, bañarnos, cocinar y recrearnos, es muy importante conocer su calidad para saber si está contaminada y de ser así ¿Podría servirnos para algo? (Puerta-Quintero, 2015). La calidad del agua se puede determinar de varias maneras, entre ellas analizando las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el tramo de la fuente que queremos monitorear

Según se menciona en Puerta-Quintero (2015), es importante saber que la evaluación de calidad del agua depende del uso que se le vaya a dar; es decir, el agua que se necesita para beber debe tener una calidad muy buena, pero el agua que se usa para regar los cultivos, no necesita cumplir con características tan estrictas; sin embargo, ésta también debe tener unos parámetros de calidad específicos para ese uso. Igualmente, el agua de una piscina tiene cloro, lo cual indica que su calidad como agua de piscina es adecuada, pero como agua de consumo no lo es.

¿Por qué es importante medir la calidad del agua? El agua es el recurso natural del que hacemos uso diario y nos provee de vida y bienestar a todos los seres vivos. Sin embargo, también puede ser uno de los principales vehículos de enfermedades. Por esto y muchas razones más es fundamental conocer la calidad del agua que estamos utilizando y así emprender acciones para su conservación y tratamiento (Narcis, 2005).

Si conocemos la calidad del agua que corre por los ríos o quebradas de nuestro municipio, será más fácil prevenir enfermedades en la población causadas por la contaminación de este recurso.

¿Qué es agua contaminada? El agua contaminada según indica Narcis (2005), aquella que presenta características no deseadas o que tiene alteraciones físicas, químicas o biológicas. Las principales fuentes de contaminación que existen provienen de las actividades desarrolladas por el hombre, en las viviendas, las empresas, los centros urbanos, y en el campo con la agricultura, entre otros.

¿Qué es una muestra? Es una parte representativa del material a estudiar (agua natural, para consumo humano, superficial, subterránea, residual), en la cual se analizan los parámetros de interés. La muestra puede ser puntual, integrada o compuesta. Es necesario además establecer un protocolo de muestreo, con el fin de constituir el cómo y el dónde del muestreo, el tiempo y el transporte a emplear, entre otros. (Narcis, 2005)

Es una parte representativa del material a estudiar (agua natural, para consumo humano, superficial, subterránea, residual), en la cual se analizan los parámetros de interés. Muestra simple, instantánea o puntual: representa las condiciones de una corriente o de un vertimiento en el momento, lugar, tiempo y circunstancia particular en que se recolecta. Muestra Integrada: es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas en diferentes puntos. (Báez-Muñoz, 2009)

Este tipo de muestreos aplica a ríos que presentan un ancho mayor a 2.5m. Muestreo manual: se realiza con equipos sencillos, como muestreador manual o recipientes pequeños que permitan recolectar la muestra de una manera fácil y adecuada. Preservación: procedimiento para estabilizar los constituyentes de la muestra con el fin de retardar los cambios químicos y biológicos que pueden afectar el análisis. (Báez-Muñoz, 2009)

Para llevar a cabo el muestreo se requiere según del siguiente equipo: Recipientes de vidrio y/o plástico para la toma de muestras Nevera o depósito con hielo para la preservación de

las muestras Cinta de enmascarar, marcador y papel para marcar, proteger e identificar las muestras Pita, cabuya o cuerda Reactivos de preservación para los parámetros que los requieren Equipos de medición en campo, termómetro, peachimetro o cintas de pH Formatos para el registro de datos Equipos de protección y seguridad personal (guantes, tapabocas, gorra, botas). (Cornare, 2014).

### **Consideraciones Generales para la Toma de las Muestras**

En el sitio donde se va a recolectar la muestra el agua debe estar completamente mezclada. Antes de recolectar la muestra se debe purgar el recipiente (lavar el recipiente dos o tres veces con el agua de la quebrada o río) a excepción de la muestra para análisis microbiológicos o recipientes que contengan reactivos de preservación. (Cornare, 2014)

Se deben identificar los recipientes necesarios antes de recolectar la muestra. También es importante utilizar lapicero de tinta seca o marcador permanente, nunca usar lápiz o lapicero de tinta mojada, pues la información se puede borrar. Según Domínguez (2001), el recipiente de 1000 ml, que puede ser de plástico o vidrio para los parámetros de DBO5, sólidos disueltos totales, turbiedad, nitratos, pH y fosfatos. El recipiente de 250 ml, que puede ser de plástico o vidrio para la DQO. El recipiente de 100 ml de vidrio, para el análisis de coliformes fecales. El recipiente llamado Winkler, para el análisis de oxígeno disuelto. A. B. C. D. Toma de muestras para cada parámetro Análisis fisicoquímico: Purgar el recipiente. Este debe llenarse dejando vacío el 1 % de la capacidad del mismo. Tapar y depositar en la nevera con hielo.

Análisis microbiológicos: basado en Ortega (2008), se debe evitar tomar muestras en la superficie, en el fondo o en las orillas, pues la calidad no es uniforme en estos sitios. Las muestras deben tomarse en el centro de la corriente y en la mitad de la profundidad. No destapar

el frasco, hasta tanto no se vaya a tomar la muestra. Tomar el recipiente por la base y destaparlo dentro del agua, sumergirlo con la boca hacia abajo para evitar la introducción de material superficial. Dirigir el recipiente en sentido contrario a la corriente y recolectar la muestra teniendo cuidado de dejar un espacio libre de aproximadamente cinco (5) cm. Análisis de oxígeno disuelto: si las condiciones no permiten la medición con equipos portátiles, se procede a medir el oxígeno por el método del Winkler. (Báez-Muñoz, 2009)

Para esta medición se necesita: • Una botella winkler • Sulfato maganoso • Alkali-yoduro(azida) • Ácido sulfúrico Para realizar la toma de muestra se sumerge el winkler cerrado aproximadamente 10 cm bajo la superficie del agua, luego bajo el agua, se abre el winkler para la toma de muestra y una vez lleno completamente, se vuelve a tapar. Es muy importante verificar que no quede ninguna burbuja de aire dentro del recipiente. (Báez-Muñoz, 2009)

Con el recipiente cerrado, se le agregan 10 gotas de solución de sulfato manganeso entre la tapa y el cuello de la botella. Posteriormente se gira la tapa lentamente para facilitar que el reactivo ingrese al recipiente en su totalidad. El recipiente se agita para garantizar la mezcla y se repite este procedimiento adicionando 10 gotas de azida. (Narcis, 2005)

Medición de parámetros en campo Medición de la temperatura: Siempre debes medir la temperatura ambiente y la temperatura del agua según nos indica Narcis (2005). Para medir la temperatura del agua debes sumergir el termómetro en el cuerpo de agua. Asegúrese que la punta del termómetro esté por debajo de la superficie del agua y tome la lectura cuando la temperatura se haya estabilizado (generalmente después de un par de minutos).

Medición del pH: El pH debe medirse en el sitio de la prueba según lo estipulado por Báez-Muñoz (2009) porque los cambios de temperatura afectan su valor. En Piragua mediremos el pH con papel tornasol, aunque para mediciones más técnicas, se utiliza un instrumento



llamado pHmetro. Para ello se debe sumergir la cinta en el cuerpo de agua, idealmente en el centro de la corriente. La cinta cambiará de color cuando entre en contacto con el agua. Una vez se haya realizado este procedimiento, se toma la cinta y se compararan las tonalidades con la escala de colores que viene en el empaque.

Cada color tiene asignado un valor de pH que se debe anotar en los datos de campo.

Preservación de las muestras: Las técnicas de preservación se utilizan para retardar los cambios químicos y biológicos que continúan después de que la muestra de agua se retira de su fuente (quebrada o río). Después de tomar las muestras se colocan las botellas en posición vertical en un recipiente contenedor con suficiente hielo, de tal manera que se alcance una temperatura cercana a los 4°C, se verifica que las botellas no se caigan, ni se abran, ni se les desprenda el rótulo. (Muñoz & Torres, 2011)

Después de embaladas se tapa y sella el contenedor y se envían inmediatamente al laboratorio. Los métodos de preservación incluyen las siguientes operaciones: adición de químicos, uso de botellas ámbar, refrigeración, filtración. La adición de preservativos químicos sólo es aplicable cuando estos no interfieren con los análisis a realizarse y deben agregarse previamente a la botella de muestra, de tal manera que todas las porciones de muestra se preserven de inmediato. (Puerta-Quintero, 2015)

Luego de tomar todas las muestras, se deben hacer las anotaciones y las observaciones. En las observaciones se describen las condiciones climáticas y las características del agua al momento de la toma de la muestra. También es importante anotar situaciones inusuales que se presentan en el transcurso del monitoreo. (Domínguez, 2001)

## **Toma y Preservación de Muestras de Agua**

Luego, todas las muestras son organizadas en los diferentes contenedores con hielo (neveras) y se envían en el menor tiempo posible al laboratorio. Cada muestra debe ser identificada y etiquetada en el punto de muestreo, se sugiere que la etiqueta sea impermeable y resistente a las condiciones del campo. Esta identificación es necesaria para prevenir errores, ya que proporciona la información más relevante para el análisis y permite rastrear la muestra durante todas las etapas a las que es sometida desde la toma hasta la entrega de resultados. (Muñoz & Torres, 2011)

A continuación, se presenta el modelo de la etiqueta de las muestras suministrada por Corantioquia

## **Embalaje y Transporte de la Muestra**

Después de que las muestras han sido etiquetadas adecuadamente, deben introducirse en un contenedor con hielo que mantenga la temperatura a 4°C durante el transporte. Como se indicó antes, las muestras se embalan y se introducen en un contenedor con hielo. Las hieleras de plástico macizo o icopor son buenas para el transporte. Posteriormente se debe sellar la nevera con cinta adhesiva para evitar que ésta se abra durante el transporte. Los reportes de muestreo se ponen en una bolsa o sobre a prueba de agua que se adhiere con cinta a la tapa del envase para prevenir que se rompa la custodia. La mayoría de las muestras no requieren precauciones especiales de transporte, pero un empaqueo cuidadoso previene que se rompan o que se contaminen. (Báez-Muñoz, 2009)

### **Entrega de la Muestra en el Laboratorio**

Según lo descrito en Narcis (2005), debe planificar el procedimiento para asegurar la entrega oportuna de las muestras siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio para la recepción de éstas. Se deben entregar en el laboratorio lo más pronto posible después del muestreo, sin exceder el tiempo de almacenamiento y preservación máximo permitido.

### **Precauciones Durante el Muestreo**

1) Usar guantes durante la toma de muestras y el manejo de reactivos. 2) Lavarse las manos antes y después del muestreo. 3) Evitar el contacto de los ojos con los implementos usados para la toma de muestras y el manejo de reactivos. 4) Evitar el consumo de alimentos mientras se están tomando las muestras o hacerlo sin antes lavarse las manos. (Muñoz & Torres, 2011)

### ***Recipiente muestreo***

Recipiente utilizado para recolectar las muestras de acuerdo con su naturaleza y los parámetros a analizar. Pueden ser de plástico o vidrio. Rótulo: etiqueta en la que se anota los datos de identificación de la muestra (# de la muestra, municipio, vereda, sitio de recolección, fecha, hora, etc.) entre otros. Temperatura: magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Turbiedad: cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, más sucio parecerá estar y más alta será la turbiedad (Ortega, 2008). Oxígeno Disuelto: cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es esencial para la vida acuática. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno

disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5). (Domínguez, 2001)

Según lo escrito por Zambrano & Isaza (1998), la medida del oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. En este caso, la demanda de oxígeno será alta. Demanda Química de Oxígeno (DQO): cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en el agua bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

La DQO siempre es mayor que la DBO5. pH (potencial de Hidrógeno): el pH mide la acidez relativa del agua. Un nivel de pH de 7,0 se considera neutro. El agua pura tiene un pH de 7,0. El agua con un nivel de pH menor a 7,0 se considera ácida. Entre más bajo el pH, más ácida es el agua (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), 2003). El agua con un pH mayor a 7,0 se considera alcalina o básica. Entre mayor el pH, mayor es su alcalinidad que continua con lo expuesto por Zambrano & Isaza (1998) el pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. Nitratos: las sales del ácido nítrico se denominan nitratos. Son solubles en agua y uno de sus principales usos es como fertilizante. Fosfatos: el fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas residuales. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, se da el proceso de eutrofización. Coliformes fecales y totales: son tipos de bacterias que indican la presencia de materia orgánica fecal de origen animal y humano en las aguas y pueden ser un indicador sobre su calidad. (Ortega, 2008)

**Eutrofización**

“Es un tipo de contaminación de las aguas causado por una alta concentración de nutrientes que provoca crecimiento excesivo de vegetación” (Puerta-Quintero, 2015).

**Ubicación**

Vereda El Pidió municipio de Almaguer, Cauca

**Duración**

Desde la elaboración del anteproyecto hasta la entrega del documento final serán 4 meses, el trabajo de campo será de 2 meses

### **Materiales Instalación y Equipo**

Bolsa negra de plastilina tipo salchicha o plástico similar al utilizado para biodigestores convencionales.

T de PVC de uno y medio de pulgada.

Codo suelto para manejo interno de desagüe y tapón de PVC perforado con orificios de un cuarto de pulgada

Ladrillo, cemento y arena(opcional)

Flotador fabricado en PVC, tapón de salida perforadora, colector de salida, flotador y malla mosquitera.

Tanque convencional para almacenamiento de agua.

Tubería de PVC

Estiércol de ganado vacuno

Palas , palines

Tabla o guadua para compostadero.

### **Procedimiento**

Realzar una fase diagnóstica del estado de las fuentes hídricas más cercanas al sitio de trabajo establecido y del estado del terreno en el cual se va a implementar el sistema.

Establecer diarios de campo que permitan llevar un orden durante el proceso de trabajo en la fase más destacadas.

Realizar en el sitio de trabajo la estructura del sistema para el tratamiento de las aguas miel y de la pulpa residual.

## **Estructura del Sistema**

El sistema se compone de un tanque receptor del lavado del café donde por medio de un filtro se da paso a las aguas miel las cuales pasan a otro tanque que puede estar hecho en cemento o hueco en la tierra impermeabilizado o en un tanque convencional de almacenamiento de agua en cualquiera de estas opciones se instala un filtro más fino para dar paso a las aguas miel más libres, posteriormente está una estructura similar a un biodigestor convencional en el cual durante dos días se lleva a cabo una serie de reacciones bioquímicas que conducen a una hidrólisis, a continuación se encontrará un tanque dosificador elabora en cemento y ladrillo con un flotador fabricado en PVC y debe tener un tapa ,esté permite la retención materia orgánica insoluble posteriormente se da paso a un tanque (tanque convencional de almacenamiento de agua), o también puede ser la estructura de biodigestor, dicha estructura permite dar paso al Biogás y a la salida de agua miel que se pretende sea más libre de contaminantes. (Cabrera-Arce, 2011)

### ***Cómo afecta el pH al agua potable***

Agencias internacionales recomiendan que el agua potable tenga un pH de entre 6.5 a 8.5. El agua dura, o el agua con un pH alto contiene una gran concentración de minerales disueltos. Aunque es sana para el cuerpo, los minerales como el calcio pueden causar problemas con su posicionamiento en superficies de cerámica y por su gusto agrio (Domínguez, 2001). Los depósitos minerales en las bañeras y los dispositivos del hogar pueden dejar residuos en escamas. El agua suave, o con bajo pH, tiende a llevar grandes concentraciones de metales como el manganeso y hierro. Estos metales pueden ser potenciales corrosivos de los caños en las casas antiguas (Narcis, 2005).

### ***Importancia del pH en los arroyos y los lagos***

Mantener un pH balanceado en el agua es crítico para la vida acuática sana. Los peces y otros organismos dependen de la alta calidad del agua con la cantidad justa de oxígeno disuelto y sus nutrientes. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen. Por esa razón, generalmente los científicos de la calidad del agua la analizan para determinar la salud de los arroyos, los lagos, los ríos y el agua del suelo. (Zuluaga & Zambrano, 1993).

### **Factores que Hacen Variar el pH**

Según lo descrito por Zambrano & Isaza (1998), la polución es uno de los factores que cambia el pH natural de las aguas. El agua de lluvia con un bajo pH, llamada lluvia ácida, causa problemas ambientales que dañan a los animales, plantas y humanos. Además de la acidez causada por las precipitaciones, los contaminantes pueden entrar al agua a través de las deposiciones atmosféricas. Ahora hay muchas leyes y regulaciones ambientales que están naciendo para manejar y controlar los efectos dañinos de los contaminantes del agua.

### ***Entender la manera de analizar el Ph***

Para entender cómo los pequeños cambios del pH afectan al agua, es útil entender cómo lo miden los científicos. Dos de los métodos usados más comúnmente son los metros de pH y el papel tornasol. Los primeros se usan poniendo una muestra de agua en un cubilete e insertando una sonda con el metro de pH para leer el visor electrónico. El método del papel tornasol es menos exacto, pero es más simple de usar. Se pone una gota de muestra del agua en el papel y la tira se colorea. El color obtenido es comparado con los del gráfico de valores del pH.



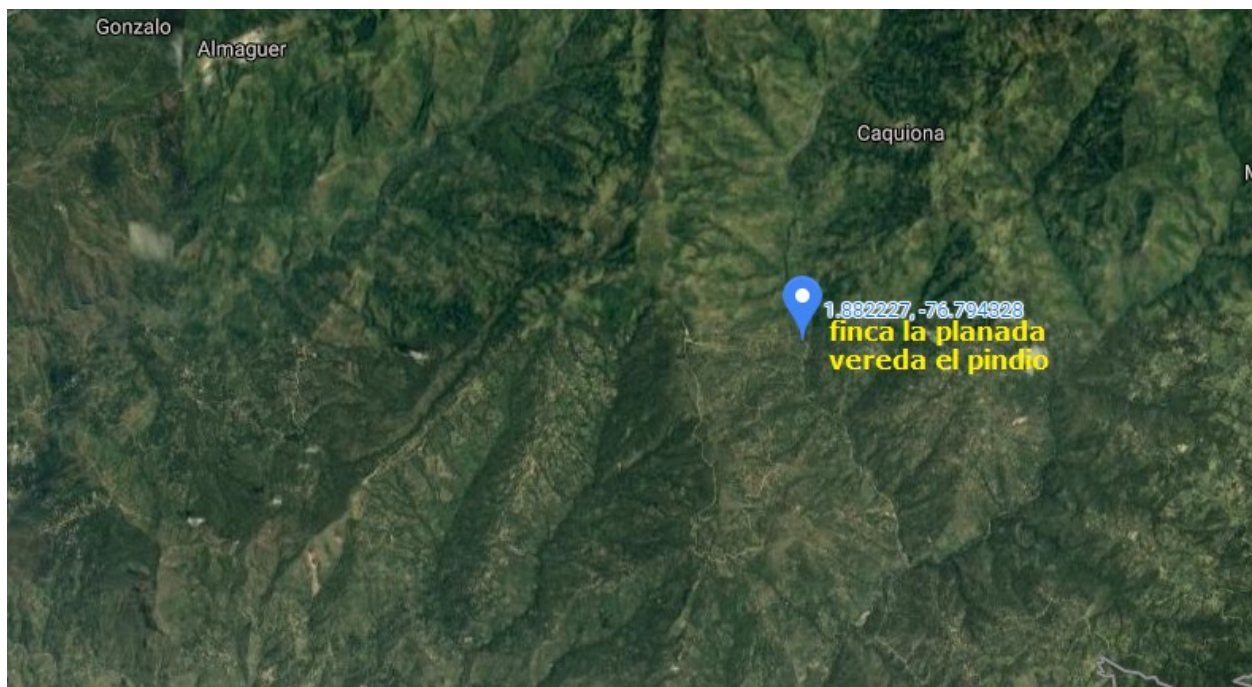
## Metodología

### Ubicación

Se realizó una visita a la finca la planada vereda del Pindio en el municipio de Almaguer, Cauca, que se encuentra ubicada a 40 minutos de la cabecera municipal vía a San Sebastián Cauca y un desvío hacia Caquiona pasando el río que en este punto se llama río Caquiona y aguas abajo se convierte en el río San Jorge en las coordenadas 1.883294 N, -76.793893 OW con una altura de 2100 m.s.n.m. una temperatura promedio de 17 grados, la visita se realizó en compañía del propietaria de la finca la señora Leidy Hoyos .

### Figura 1.

*Ubicación satelital del sitio donde se desarrolla el proyecto*



*Nota.* Imagen sacada de Google Earth

### Materiales que se Utilizaron en el Proyecto

Para el desarrollo del proyecto aplicado elaboro un biodigestor según lo expuesto por Cabrera-Arce (2011), y para ello se utilizó los materiales que enumeran en la tabla 2 en la cual de describe la cantidad, unidad de medida

**Tabla 2.**

*Presupuesto Detallado para el Correcto Desarrollo Proyecto*

Descripción de los materiales	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Plástico calibre 6 tipo salchicha, diámetro de 1,5 m	15	M	\$ 22000	\$ 330.000
T de PVC de 1" .	2	Und	\$ 800	\$1600
Codo suelto para manejo interno de desagüe y tapón de PVC perforado con orificios del 1"	1	Und	\$2500	\$2500
Tanque convencional para almacenamiento de agua de 250 litros .	1	Und	\$175000	\$ 175000
Tubería de PVC de 4 pulgadas	40	M	\$8000	\$320.000
Uniones de 4" de pvc	7		\$2100	\$14.700
Adaptadores hembr de pvc de ½ "	8	Und	\$500	\$4000
Llaves de paso de ½ "	3	Und	\$7000	\$21.000
Adaptadores macho de pvc de ½ "	8	Und	\$ 500	\$4000
Plástico para laguna estabilizadora calibre 6 ancho 10m	49	M	\$14.000	\$ 686.000
Tubería de PVC de ½ pulgada	40	M	\$1000	\$40.000

<b>Descripción de los materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Uniones de ½ “de pvc	8	Und	\$500	\$4000
Jornales	22	Und	\$25.000	\$550.000
Pegante pvc	2	Litro	\$ 24.000	\$48.000
Herramientas	--	Und	N.A	N.A
Palin	2	Und	N.A	N.A
Pala	2	Und	N.A	N.A
Barra de acero	1	Un	N.A	N.A
Bugí	1	Und	N.A	N.A
Cierra	1	Und	N.A	N.A
<b>TOTALES</b>				<b>\$2.200.800</b>

*Nota.* Materiales cotizados y comprados (2022)

### **Diseño, Implementación y Funcionamiento del Biodigestor**

Se realizó una visita a la finca la planada vereda del Pindio en el municipio de Almaguer, Cauca. Que se encuentra ubicada a 40 minutos de la cabecera municipal vía a San Sebastián Cauca y un desvío hacia Caquiona pasando el río que en este punto se llama río Caquiona y aguas abajo se convierte en el río San Jorge en las coordenadas 1.883294 N, -76.793893 OW con una altura de 2100 m.s.n.m. una temperatura promedio de 17 grados, la visita se realizó en compañía del propietario de la finca la señora Leidy Hoyos.

Se recomienda una distancia mínima de 2 metros entre el biodigestor y cualquier edificación o colindancia. En este caso tenemos una distancia de 30 metros entre el biodigestor y la vivienda

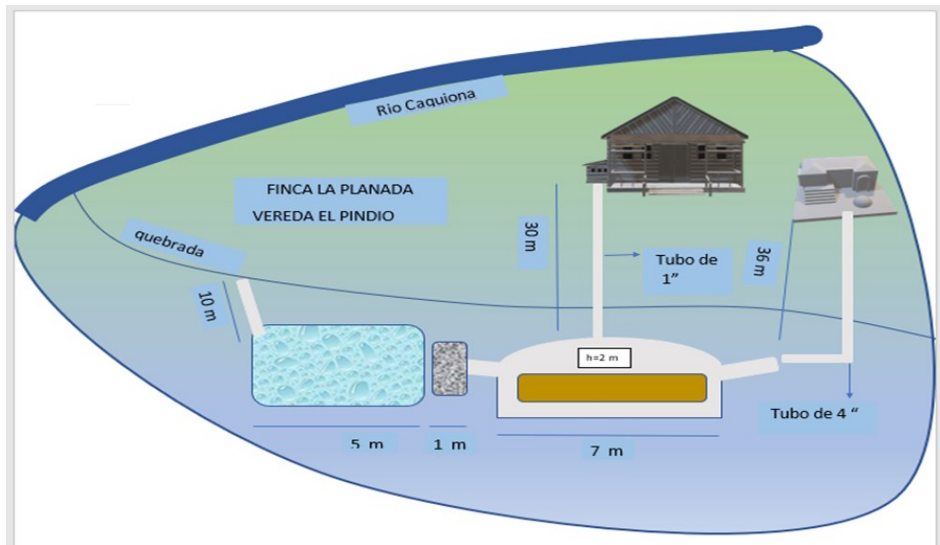
Se recomienda una distancia mínima de 30 metros entre el biodigestor y cualquier pozo de agua para abastecimiento.

Se recomienda una distancia mínima de 15 metros entre el biodigestor y cualquier corriente de agua para abastecimiento: después del biodigestor habrá una laguna de estabilización y luego pasará a la corriente de agua más cercana que se encuentra a 120 metros de distancia.

Acatando las normas anteriormente descritas se localiza el sitio más adecuado para la construcción del biodigestor y acompañado por la laguna de estabilización según el siguiente diagrama.

**Figura 2.**

*Diseño del proyecto en la finca*



*Nota.* Diseño de los espacios y las construcciones según el terreno que tenemos además de las medidas y técnicas recomendadas para este tipo de construcciones.

**Figura 3.**

*Nivelación y excavación para las construcciones*



*Nota.* Observamos limpieza y excavaciones necesarias tanto para el biodigestor como al fondo podemos observar las excavaciones para la laguna.

**Figura 4.**

*Construcción de biodigestor tipo salchicha*



*Nota.* En esta imagen observamos, la instalación del plástico y los accesorios para el biodigestor tipo salchicha.

**Figura 5.***Construcción de biodigestor tipo salchicha*

*Nota.* Instalación de la válvula que dirigirá el biogás hacia la vivienda y hacia la válvula reguladora que contiene agua como regulador de presión.

**Figura 6.***Construcción de laguna de estabilización*

*Nota.* Plástico para la laguna de estabilización en el sitio determinado y con las medidas recomendadas.

**Figura 7.***Construcción de laguna de estabilización*

*Nota.* Fijación del plástico de la laguna en sus orillas con desnivel y materiales en tierra para que las aguas de escorrentía no ingresen a la laguna y por tanto al sistema.

**Figura 8.***Sistema el biodigestor y laguna estabilización en funcionamiento*

*Nota.* En esta imagen podemos observar ya cómo ha llenado el biogás al biodigestor y cómo se observan la saliente hacia la vivienda la cual queda a la mano derecha de la figura y la saliente del tubo hacia la mano izquierda donde podemos observar en un poste de madera la válvula reguladora de la presión del gas, como después de aquí continúa el flujo del sistema, hacia un pequeño filtro de piedra termina en la laguna al final ya completamente llena y en pleno proceso de descontaminación.



**Figura 9.**

*Inicio del sistema*



*Nota.* Podemos observar parte del cultivo de café tanque tinas el saliente del tanque tinas o lavado del despulpado del café.

### Etapas y Actividades Programadas para el Proyecto

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente el proyecto busca cumplir a cabalidad cada etapa para cumplir el objetivo general y para esto tendremos el siguiente cronograma de actividades como se describe en la tabla 3.

**Tabla 3.**

*Cronograma de Actividades por Meses*

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Hipótesis	Xx		
Alistamiento del lote y parcelas, sacar muestras para análisis de aguas	Xx		
Diseño de las estructuras necesarias	Xx		
Elaboración y construcción de las estructuras necesarias	Xx	Xx	
Toma de datos de campo		xx	Xx
Toma de datos de campo			Xx
Análisis de los datos			XX
Entrega de informe final			XX

*Nota.* El cronograma se cumplió a cabalidad en el desarrollo del proyecto lo más relevante para el cumplimiento del tiempo fue la planeación y coordinación de las actividades.

## Resultados

### Análisis Químicos de las Aguas Mieles

#### *Determinación de oxígeno disueltos*

Los resultados se muestran en la ilustración 10 los cuales indican que la cantidad de oxígeno disuelto en las muestras de aguas mieles a la entrada del biodigestor oscila en un 2.6 mmg/L de  $O_2$ , mientras que los valores en la salida del biodigestor aumentan a 6 mmg/L de  $O_2$  lo que indica que este sistema degrada la mayor parte de la materia orgánica que contiene las aguas mieles y mejora este parámetro en un 130%. Si los niveles de oxígeno disuelto en el agua bajan de 5.0 mg/l, la vida acuática puede verse afectada ya que este elemento es necesario para los organismos oxigénicos. Cuando los niveles de oxígeno están por debajo a 2 mg/l por unas pocas horas pueden genera asfixia de los organismos especialmente en los peces y de los ecosistemas en general.

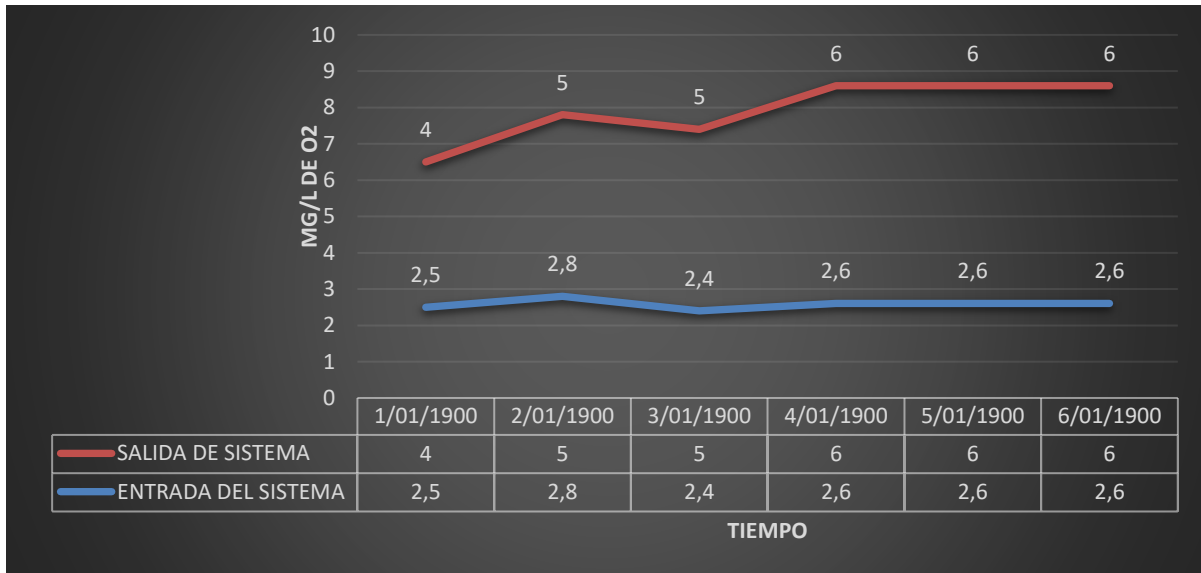
La mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer. Algunas especies requieren niveles elevados de oxígeno disuelto (OD) como la trucha y la mosca de piedra. Otras especies no requieren niveles elevados de oxígeno disuelto (OD) como el bagre, los gusanos y las libélulas. La insuficiencia de oxígeno disuelto en el agua puede causar: muerte de adultos y jóvenes, reducción en el crecimiento, huevecillos y larvas malogrados cambios que se presentan en las especies en diversas masas de agua. (Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2001)

Concentración de OD: el oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura

determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. La unidad de mg/L representa miligramos por litro (ANH, 2001).

### Figura 10.

*Determinación de oxígeno disuelto de muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor y en muestras de la salida del mismo.

Los resultados indican que el sistema de biodigestor es una herramienta útil para la descontaminación de las aguas mieles que producen la finca la planada, que cuando las aguas atrevieran biodigestor y las sustancias orgánicas son degradadas por los procesos de la metanogénesis permite aumentar el oxígeno disuelto del sistema y de esta manera no se afecta el ecosistema acuático.

### ***Determinación de Amonio***

Se menciona en lo descrito por Decreto 1423 (1982) donde se obtuvieron los siguientes resultados en la entrada del sistema de 150 mg/L de amonio y al final del sistema bajando hasta 25 mg/L de amonio, El amoniaco es también uno de los contaminantes más importantes porque es relativamente común, pero puede ser tóxico, disminuyendo la reproducción y el crecimiento o causando la muerte. El  $NH_3$  sin ionizar es altamente tóxico para los peces y la vida acuática.

La presencia de amoníaco indica una degradación incompleta de la materia orgánica. Algunas aguas, como las de terrenos pantanosos, que contienen turbas, presentan elevado contenido de amoníaco de origen vegetal, y las aguas meteóricas que presentan contenidos de amoníaco entre 0,1 y 2 mg/l, El amonio está presente en el agua como resultado de la descomposición de MO de plantas y animales, diversas actividades industriales, la desaminación microbiana de las proteínas en un proceso denominado amonificación y por ser el principal producto de excreción de los organismos debido a la necesidad de una alimentación con alta concentración proteica. (khanacademy.org, 2009)

El normal funcionamiento del ciclo del nitrógeno ha sido afectado por distintas actividades humanas como la utilización de combustibles fósiles y la fabricación de fertilizantes nitrogenados, suplementos alimenticios animales, adhesivos, tintas, cosméticos y papel, entre otros, que han aumentado casi al doble la concentración de N fijado anualmente en la biósfera.

Según encontramos en khanacademy.org (2009) El amonio total es la suma del amonio no ionizado o amoniaco  $NH_3$  y el amonio ionizado ( $NH_4^+$ ), que en solución acuosa

establecen un equilibrio mediante la reacción: Este equilibrio depende de la temperatura, el pH y la salinidad. Bajo condiciones normales de 25°C y un pH de 7, el amonio no ionizado representa el 0,6% del amonio total, mientras que a pH de 9,5 y una temperatura de 30°C este porcentaje puede subir a 72%. La forma no ionizada, es extremadamente tóxica debido a su capacidad de movilizarse a través de las membranas celulares, su concentración se incrementa cuando disminuye el OD, aumenta la temperatura y hasta 10 veces por cada grado de aumento en el pH del agua.

### **Problemas Ambientales por Compuestos Nitrogenados en el Agua**

Las consecuencias de la presencia de CN en el agua son diversas y hacen que su posterior uso se vea restringido. Los CN presentes en AR no solo comprometen la calidad de líquido en la zona de vertimiento sino a toda su cuenca hidrográfica y la región estuarina donde vierte sus aguas los tres principales problemas ambientales generados por la presencia de compuestos de N en el sistema acuático son: el aumento de la acidez, el desarrollo de eutroficación y el aumento de las concentraciones hasta niveles tóxicos tanto en aguas superficiales como subterráneas que limitan su uso principalmente como fuentes de agua para consumo humano o en acuicultura, donde la acumulación de N orgánico suele impedir la operación exitosa de sistemas de reusó. (ANH, 2001)

Toxicidad para especies acuáticas. Los CN pueden alcanzar en el agua niveles tóxicos que alteren la capacidad de los animales para sobrevivir, crecer y reproducirse, en algunos casos su presencia se debe a vertimiento directo de contaminantes o sustancias, aunque también puede darse por deposición atmosférica. Estos niveles pueden presentarse tanto en fuentes naturales muy contaminadas como ríos, lagos y embalses o en sistemas de

cultivo intensivo de organismos acuáticos, donde la calidad del agua se convierte en un factor limitante, dada la acumulación de sustancias tóxicas principalmente debido a alimentos no consumidos y heces, La suma de amonio ionizado y no ionizado, el nitrito y el nitrato se denomina nitrógeno inorgánico y su presencia, especialmente del amonio y del nitrito, tiene reconocidos efectos tóxicos sobre especies acuáticas. (ANH, 2001)

La forma no ionizada  $NH_3$  es más tóxica para los organismos acuáticos debido a varios factores: las membranas branquiales de los peces son relativamente permeables al  $NH_3$  es  $NH_3$  mas no al  $NH_4^+$ , tiene una elevada solubilidad en lípidos lo que facilita su paso.

El nitrato ( $NH_3^-$ ) es el producto final de la nitrificación, muy nocivo en los humanos y relativamente inofensivo para los peces y otros organismos acuáticos cultivados, debido principalmente a su limitada absorción a través de las branquias Procesos de remoción de compuestos nitrogenados en aguas residuales. (Decreto 1423, 1982)

La remoción de compuestos nitrogenados en AR incluye la utilización de métodos de tratamiento de tipo físico, químico, biológico o la combinación de uno o varios de ellos. Dependiendo del tipo de AR, del flujo, de la intermitencia del mismo, de la temperatura del sitio, de los costos y de muchas otras variables, el sistema de tratamiento también puede ser continuo o discontinuo. A continuación, se describen algunos de los tratamientos reportados por la literatura. (CENICAFE, 2015)

Procesos físicos. Los CN, especialmente los nitratos pueden ser eliminados del AR por procesos físicos fundamentalmente por medio de ósmosis inversa, proceso que se basa en el paso de un solvente a través de una membrana impermeable a un soluto, donde se

necesita el uso de membranas especializadas por contaminante. Sin embargo, presenta el inconveniente que las membranas utilizadas no tienen una gran selectividad por el nitrato. (Zuluaga & Zambrano, 1993)

Procesos químicos. Uno de los procesos químicos avanzados de tratamiento de AR es el intercambio iónico, que consiste en hacer pasar el agua a través de un lecho de resina que permite el reemplazo de un ion por otro; sin embargo, su inconveniente es que no existen resinas con una alta y exclusiva selectividad por el nitrato, así como la dificultad para regenerar y sustituir las resinas utilizadas en el proceso. La toxicidad de los nitritos se puede reducir o bloquear mediante iones cloruro; por ello se recomienda aplicar la oxidación química con cloro en ocasiones muy particulares como altísimas concentraciones de amonio o nitrato en AR de pequeño caudal. (Soto et al, 2012)

Procesos biológicos. Se considera que los procesos biológicos son más efectivos, porque no trasladan el contaminante de un medio a otro como en el caso de los procesos físicos y químicos, sino que lo eliminan transformándolo en condiciones óptimas a productos finales no contaminadores como  $CO_2$  y  $N_2$ . Además, se considera que son económicamente viables para tratar AR industriales, agrícolas y domésticas. El origen de las diferentes formas de nitrógeno en el agua obedece a múltiples causas naturales; sin embargo, su presencia se ha incrementado por diversas actividades antrópicas, que también han alterado el normal funcionamiento del ciclo del nitrógeno. (khanacademy.org, 2009)

Los compuestos nitrogenados pueden alcanzar en el agua niveles tóxicos que alteren la capacidad de los animales para sobrevivir, crecer y reproducirse, de ellos el más tóxico para los organismos acuáticos es el amonio no ionizado la ingesta principalmente de nitritos y nitratos puede producir efectos adversos en la salud humana que en múltiples casos



pueden culminar con la muerte de la persona afectada, lo que justifica la intervención de diversas legislaciones internacionales para el control de sus cantidades en el agua potable. (Cardenas & Sánchez, 2013).

Con base en los efectos que los compuestos nitrogenados ejercen sobre el ambiente y la salud humana se han desarrollado grandes avances en la transformación y eliminación del nitrógeno de las aguas residuales apoyados en principios de disminución del contaminante por vías físicas, químicas o biológicas los sistemas de tratamiento biológicos se basan en procesos de microorganismos dentro del ciclo del nitrógeno, algunos de dichos sistemas se han considerado los más convenientes en la remoción de este nutriente porque son capaces de eliminarlo completamente del agua y no lo trasladan a otros sistemas. (Cardenas & Sánchez, 2013)

Las nuevas tecnologías de tratamiento biológico de aguas residuales tendientes a la remoción del nitrógeno apuntan a la consolidación de los procesos de desnitrificación, con alternativas que superan el 90% de remoción de los nitratos acumulados en el líquido.

## Determinación de Amonio NO3

**Figura 11.**

*Determinación de amonio de aguas mieles Tomás del sistema*



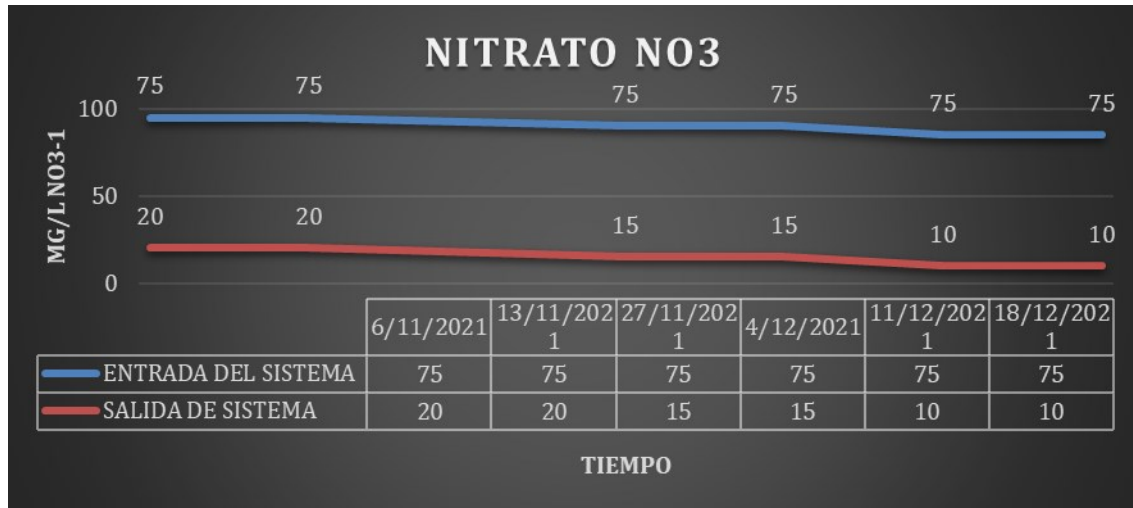
*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

Nitrato ( $NH_3$ ): en este parámetro se lograron unos resultados en la entrada del sistema de hasta 75 mg/L y llegando a la salida del sistema en 10 mg/L una reducción muy importante y entrando a los máximos permitidos por la normatividad donde se debe tener un valor máximo de 50 mg/L y con un valor estable de 25 mg/L.

### Determinación del Nitrato NH<sub>3</sub>

**Figura 12.**

*Determinación de nitrato disuelto de muestras de aguamiel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor y en muestras de la salida del biodigestor.

Nitritos ( $NO_2$ ): en este caso tenemos en la entrada del sistema una medida de 0.2 mg/L y en la salida del sistema de 0,004 mg/L que para este factor es considerado muy bueno.

Los efectos nocivos de los nitratos sobre la salud humana, aunque se conocen desde la mitad del siglo XX, no están totalmente claros. Así, en relación a la cianosis (falta de oxígeno en la sangre) de los niños, de 33 a 27 días de edad, con los nitratos del agua de un pozo, lo que dio pie a que se abriese una larga controversia sobre la toxicidad de los mismos en el organismo. (Muñoz & Torres, 2011)

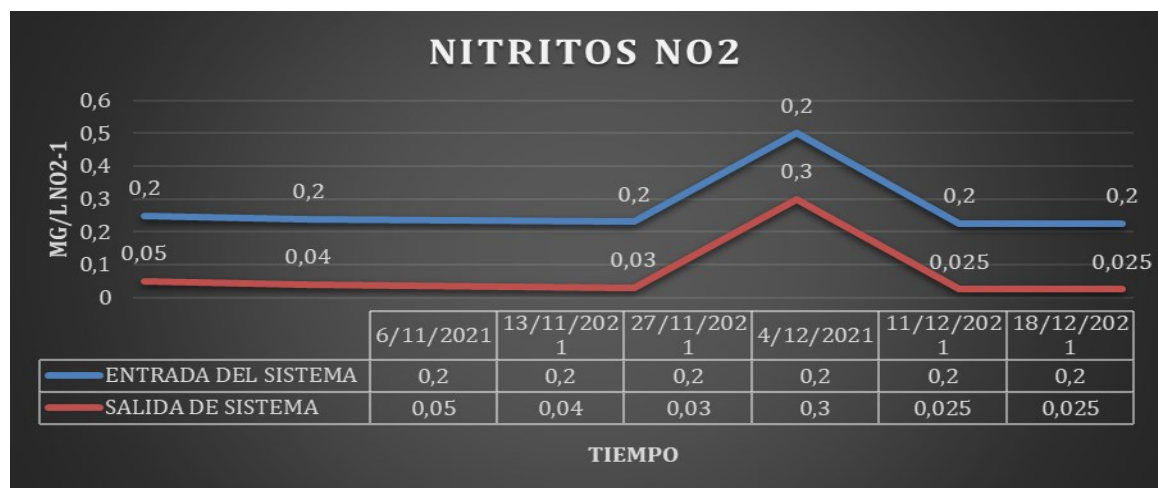
De hecho, los nitratos como tales no son tóxicos, incluso a dosis considerables, ya que son eliminados por el riñón. El problema es que, en el organismo, especialmente en personas con problemas gástricos o en niños de menos de tres meses, el nitrato puede

reducirse a nitrito, el cual se absorbe en los glóbulos rojos de la sangre, oxidando el hierro de la hemoglobina a metahemoglobina, disminuyendo la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno. Asimismo, algún tipo de cáncer del tracto gastrointestinal ha sido atribuido a la acción de compuestos nitrosos, formados en el interior del organismo a partir de los nitritos, los que a su vez proceden de la reducción de los nitratos consumidos con el agua. Es por ello que para que un acuífero sirva de abastecimiento a una población es obligatorio que contenga menos de 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  y si los contiene, éstos deben ser eliminados antes de que el agua llegue al consumidor. (Cardenas & Sánchez, 2013)

### Determinación de Nitritos $\text{NO}_2$

**Figura 13.**

*Determinación de nitritos disueltos de muestras de aguamiel*



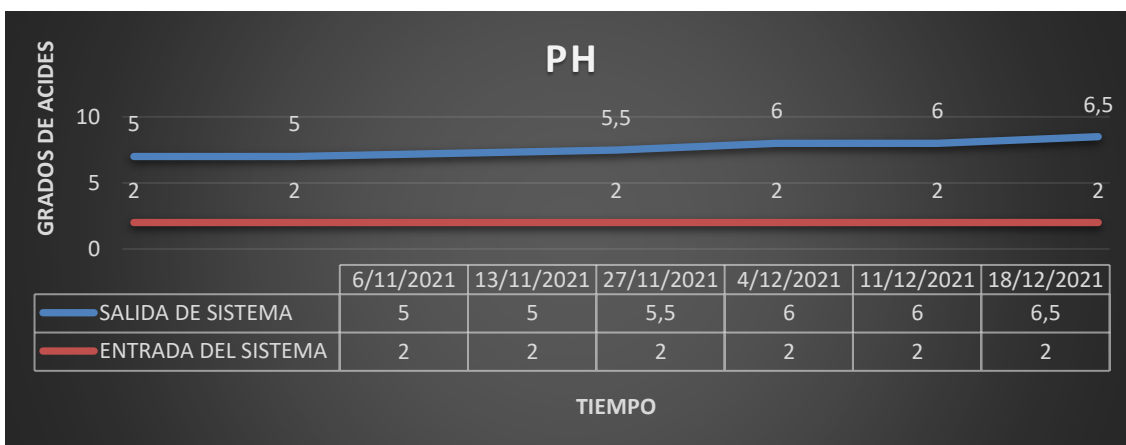
*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

## Determinación del PH

El PH: en este caso en la entrada del sistema tenemos una medida de 2 en la escala de PH y en la salida se logra elevar hasta un 6.5 que para este parámetro es muy bueno por el hábitat del agua de las quebradas que recibirán estas aguas residuales, Agencias internacionales recomiendan que el agua potable tenga un pH de entre 6.5 a 8.5. El agua dura, o el agua con un pH alto contiene una gran concentración de minerales disueltos, Mantener un pH balanceado en el agua es crítico para la vida acuática sana. Los peces y otros organismos dependen de la alta calidad del agua con la cantidad justa de oxígeno disuelto y sus nutrientes. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen. (Zuluaga & Zambrano, 1993)

### Figura 14.

*Determinación de PH de muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

### **Determinación del Fosfato ( $PO_{4-1}$ )**

Fosfato ( $PO_{4-1}$ ): en este parámetro se logró una medición en la entrada el sistema de 0,25mg/L y terminando en una medida de hasta 2 mg/L este aumento se puede explicar en su gran mayoría por la adición de estiércol de ganado bobino al biodigestor como iniciador de la reacción, pero como podemos observar las medidas son convenientes en este caso.

“El fósforo (P) es esencial para todos los organismos vivos y es uno de los principales nutrientes para el crecimiento animal. El P está presente en cada célula del cuerpo y tiene más funciones que cualquier otro elemento mineral”. (Lentech, 2016, prr.1)

“El fósforo: es un elemento esencial para los animales y debe proporcionarse en la dieta (Soares, 1995). Sin embargo, los animales lo utilizan forma ineficiente. En vacas lecheras de 60 a 70% del P consumido es excretado”. (Lentech, 2016, prr.5)

Según lo expuesto por Domínguez (2001), otro contaminante frecuente en los cuerpos de agua son los fosfatos, que provienen, por lo general, de los compuestos que se aplican como fertilizantes en zonas agrícolas y de los detergentes que se emplean en las zonas urbanas, aunque también se generan por la erosión del suelo y la materia orgánica en descomposición que descargan industrias, hogares y granjas de animales.

Aun cuando no se considera tóxico para los humanos y los animales, los fosfatos pueden tener efectos negativos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lo que implica el crecimiento explosivo de algas y el posterior abatimiento del oxígeno disuelto, en poco más del 35% de los 524 sitios de monitoreo del país la concentración de fosfato total fue superior a 0.1 miligramos por litro, la cual se considera

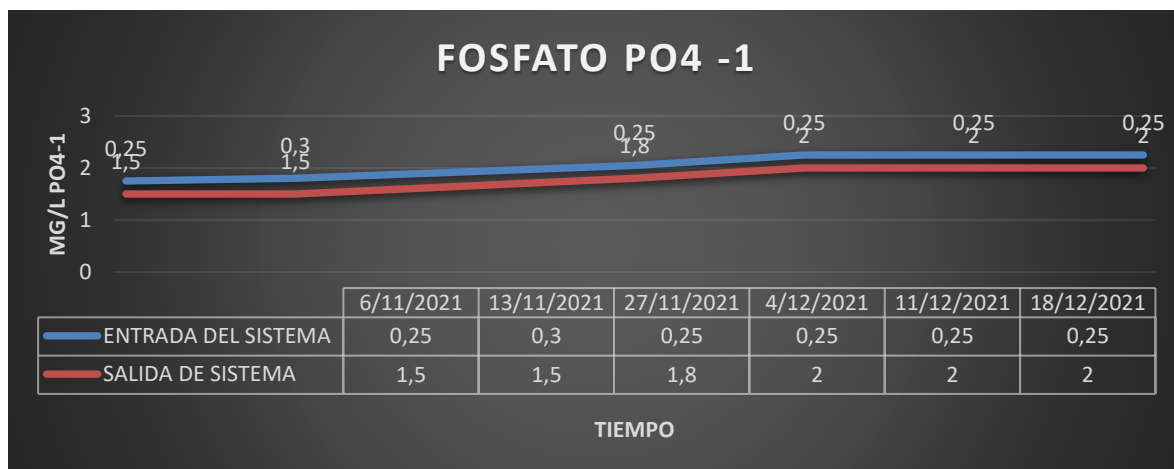
como el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos. (ANH, 2001)

Los nitratos son componentes importantes de los fertilizantes que se originan por la oxidación del amonio ( $NH_4^+$ ) y de otras fuentes nitrogenadas presentes en los restos orgánicos. Tienen efectos adversos en la salud humana, causando cianosis e, incluso asfixia, mientras que en los ecosistemas acuáticos pueden favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno. (Zambrano & Isaza, 1998)

Los daños más comunes a la salud que pueden producirse por nadar en aguas contaminadas son las enfermedades gastrointestinales, la irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos. A pesar de que estas infecciones generalmente no son graves, la actividad turística puede afectarse cuando existen playas cuya agua carece de la calidad requerida para conservar la salud de los visitantes (ANH, 2001).

### Figura 15.

*Determinación de fosfato disuelto de muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

### **Determinación de Dureza de Carbonatos**

Dureza de carbonatos: la medida de este parámetro en la entrada del sistema es de 4 mmMOL /L y en la salida 2.2 mmMOL/L.

### **Determinación de la Dureza Total**

Dureza total: “la medida obtenida de este parámetro en la entrada el sistema es de 350 mmMOL/L y en la salida de 150 mmMOL/L” (Capote et al., 2015).

### **Determinación de la Dureza Residual**

Dureza residual: “la medida obtenida de este parámetro en la estrada del sistema es de 0,5 mm.MOL/L y en la salida del sistema de 0.2 mmMOI/L” (Capote et al., 2015).

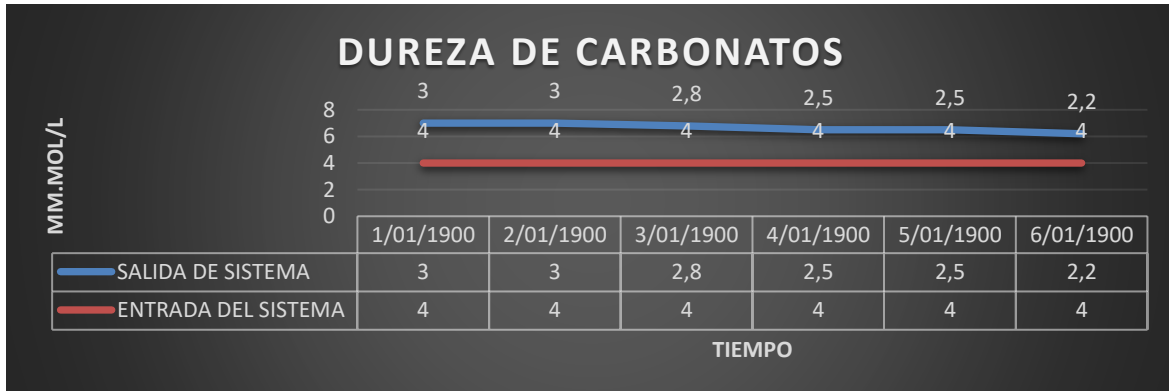
Interpretación de la Dureza: 0-75 agua suave 75-150 agua poco dura (Apta para consumo) 150-300 agua dura agua dura > 300 agua muy dura la dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. (Báez-Muñoz, 2009)

Los términos aguas blandas y duras (o también gruesas) hacen referencia, de una manera coloquial, a esta característica que determina las propiedades organolépticas del líquido. Es decir, cómo sabe y cómo se ve en función de los minerales disueltos en el agua potable. Se puede definir como la medida de los “iones metálicos polivalentes provenientes de rocas sedimentarias, filtraciones y desprendimientos del suelo”. Dichos iones están en directa sintonía con geomorfología de cada región. Esto es, que en cada país del planeta suele existir una amplia variabilidad de la dureza del agua y por tanto de su aspecto y sabor. (Capote et al., 2015)



**Figura 16.**

*Determinación de la dureza de carbonatos de muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

**Figura 17.**

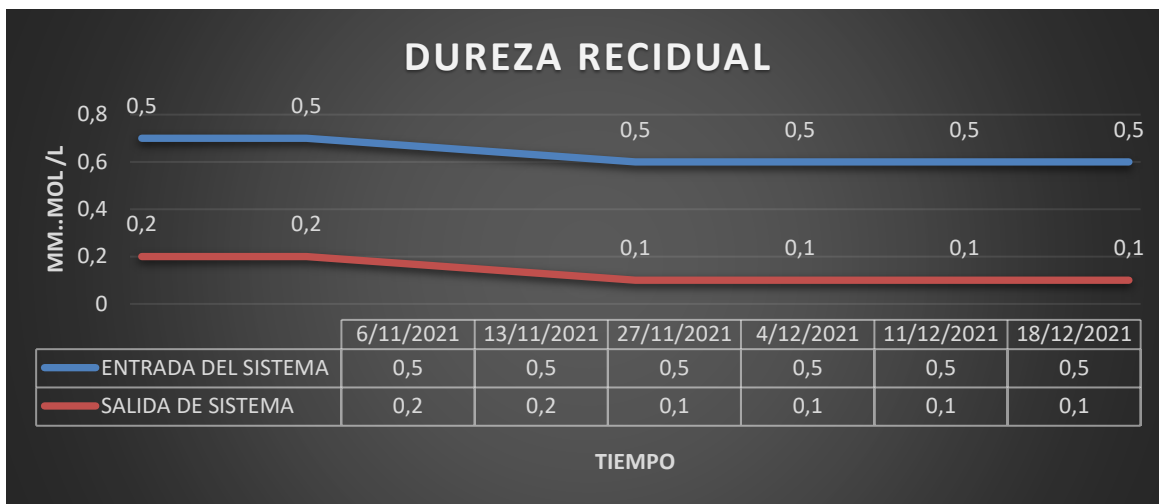
*Determinación de la dureza total de muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

**Figura 18.**

*Determinación de la dureza residual con muestras de agua miel*



*Nota.* Las determinaciones se realizaron con muestras de agua en la entrada del biodigestor en muestras de la salida del biodigestor.

Explicado lo anterior podemos concluir que las medidas obtenidas en la salida del sistema son muy buenas y que realmente se mejora la calidad del agua.

En la observación del sistema podemos determinar gran cantidad de datos en este caso trabajaremos los datos más relevantes y los que nos permiten la situación actual, en primer lugar el aprovechamiento de las aguas mieles del café, como energía mediante el gas metano que produce el biodigestor es un gran avance en la finca ahorrando hasta un 40% de energía eléctrica que se utilizaba para cocinar los alimentos y con la convicción de que este número podrá subir en el futuro con un adecuado manejo y potencialización del sistema con la ayuda de combinaciones en la carga del biodigestor con otros residuos de la finca, de la misma forma el aprovechamiento del biol y el abono sólido proveniente del residuo del biodigestor también es una ayuda adicional que aunque no estaba contemplado al principio

nos ha parecido una excelente idea gracias a las recomendaciones de nuestro tutor Efrén Venancio Ramos que a mediano plazo se observaran los resultados en la finca según la formula recomendada que es de 3 litros de biol para una bomba de espalda de 20 litros, aunque teniendo como referencia las literatura expuesta en este documento se deben esperar muy buenos resultados al igual que en el momento que se utilice el abono solido que es otro residuo de mucha importancia para la fertilización del cultivo, otro dato que es de gran importancia es sin ninguna duda la importancia de la disminución de la contaminación por las aguas mieles que estaban siendo arrojadas en forma directa al rio donde observamos y se ratifica en la literatura presentada anterior mente que expone una reducción del 70 al 80% en la contaminación del agua, permitiendo cumplir con este objetivo del trabajo realizado.

Como podemos observar en las gráficas las condiciones del agua entre la entrada y salida son muy satisfactorias como se explica a continuación:

## **Conclusiones e Impactos Logrados y/o Esperados**

### **Oxígeno Disponible**

Que con las pruebas desarrolladas se mejora con el sistema de aprovechamiento y mejoramiento de las aguas mieles del café se obtuvieron datos de entrada al sistema promedio de 2.6 mg/L de O<sub>2</sub> y se logró subir este parámetro en la salida hasta un 6 mg/L de O<sub>2</sub>, si los niveles de oxígeno disuelto en el agua bajan de 5.0 mg/l, la vida acuática es puesta bajo presión. La menor concentración, la mayor presión. Niveles de oxígeno que continúan debajo de 1-2 mg/l por unas pocas horas pueden resultar en una gran mortandad de peses.

### **Amonio**

Donde se obtuvieron los siguientes resultados en la entrada del sistema de 150 mg/L de amonio y al final del sistema bajando hasta 25 mg/L de amonio.

El amoniaco es también uno de los contaminantes más importantes porque es relativamente común, pero puede ser tóxico, disminuyendo la reproducción y el crecimiento o causando la muerte. El (NH<sub>3</sub>) sin ionizar es altamente tóxico para los peces y la vida acuática. (Báez-Muñoz, 2009)

### **El pH**

En este caso en la entrada del sistema tenemos una medida de 2 en la escala de PH y en la salida se logra elevar hasta un 6.5 que para este parámetro es muy bueno por el hábitat del agua de las quebradas que recibirán estas aguas residuales, Agencias internacionales recomiendan que el agua potable tenga un pH de entre 6.5 a 8.5. El agua dura, o el agua con un pH alto contiene una gran concentración de minerales disueltos.

Mantener un pH balanceado en el agua es crítico para la vida acuática sana. Los peces y otros organismos dependen de la alta calidad del agua con la cantidad justa de oxígeno disuelto y sus nutrientes. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen. (Zambrano & Isaza, 1998)

### **Nitrato (NH<sub>3</sub>)**

En este parámetro se lograron unos resultados en la entrada del sistema de hasta 75 mg/L y llegando a la salida del sistema en 10 mg/L una reducción muy importante y entrando a los máximos permitidos por la normatividad donde se debe tener un valor máximo de 50 mg/L y con un valor estable de 25 mg/L. (Decreto 1423, 1982)

### **Nitritos (NO<sub>2</sub>)**

En este caso tenemos en la entrada del sistema una medida de 0.2 mg/L y en la salida del sistema de 0,004 mg/L que para este factor es considerado muy bueno los efectos nocivos de los nitratos sobre la salud humana, aunque se conocen desde la mitad del siglo XX, no están totalmente claros. Así, en relación la cianosis (falta de oxígeno en la sangre) de los niños, de 33 a 27 días de edad, con los nitratos del agua de un pozo, lo que dio pie a que se abriese una larga controversia sobre la toxicidad de los mismos en el organismo (Decreto 1423, 1982). De hecho, los nitratos como tales no son tóxicos, incluso a dosis considerables, ya que son eliminados por el riñón. El problema es que, en el organismo, especialmente en personas con problemas gástricos o en niños de menos de tres meses, el nitrato puede reducirse a nitrito, el cual se absorbe en los glóbulos rojos de la sangre, oxidando el hierro de la hemoglobina a metahemoglobina, disminuyendo la capacidad de

los glóbulos rojos para transportar oxígeno. Asimismo, algún tipo de cáncer del tracto gastrointestinal ha sido atribuido a la acción de compuestos nitrosos, formados en el interior del organismo a partir de los nitritos, los que a su vez proceden de la reducción de los nitratos consumidos con el agua (Domínguez, 2001).

“Por ello para que un acuífero sirva de abastecimiento a una población es obligatorio que contenga menos de 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  y si los contiene, éstos deben ser eliminados antes de que el agua llegue al consumidor”. (Domínguez, 2001, p.61)

#### Fosfato ( $\text{PO}_4\text{-1}$ )

En este parámetro se logró una medición en la entrada el sistema de 0,25mg/L y terminando en una medida de hasta 2 mg/L este aumento se puede explicar en su gran mayoría por la adición de estiércol de ganado bobino al biodigestor como iniciador de la reacción, pero como podemos observar las medidas son convenientes en este caso.

“El fósforo (P) es esencial para todos los organismos vivos y es uno de los principales nutrientes para el crecimiento animal. El P está presente en cada célula del cuerpo y tiene más funciones que cualquier otro elemento mineral”. (Lentech, 2016, párr.8)

“El fósforo es un elemento esencial para los animales y debe proporcionarse en la dieta, Sin embargo, los animales lo utilizan forma ineficiente. En vacas lecheras de 60 a 70% del P consumido es excretado”. (Lentech, 2016, párr.9)

#### Dureza de carbonatos

La medida de este parámetro en la entrada del sistema es de 4 mmM/L y en la salida 2.2 mmMOL/L.

#### Dureza total

La medida obtenida de este parámetro en la entrada el sistema es de 350 mmMOL/l y en la salida de 150 mmMOL/L.

#### Dureza residual

La medida obtenida de este parámetro en la entrada del sistema es de 0,5 mm.MOL/L y en la salida del sistema de 0.2 mmMOI/L.

#### Interpretación de la Dureza

0-75 agua suave 75-150 agua poco dura (Apta para consumo) 150-300 agua dura  
agua dura > 300 agua muy dura.

La dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio.

Los términos aguas blandas y duras (o también gruesas) hacen referencia, de una manera coloquial, a esta característica que determina las propiedades organolépticas del líquido. Es decir, cómo sabe y cómo se ve en función de los minerales disueltos en el agua potable. Se puede definir como la medida de los “iones metálicos polivalentes provenientes de rocas sedimentarias, filtraciones y desprendimientos del suelo”. (Capote et al., 2015, p.28)

“Dichos iones están en directa sintonía con la geomorfología de cada región. Esto es, que en cada país del planeta suele existir una amplia variabilidad de la dureza del agua y por tanto de su aspecto y sabor”. (Capote et al., 2015, p.31)

Explicado lo anterior podemos concluir que las medidas obtenidas en la salida del sistema son muy buenas y que realmente se mejora la calidad del agua.

**Biogás**

Una vez estabilizado el sistema se encuentra una producción en cantidad suficiente para una familia pequeña promedio de 4 a 5 personas y con una pequeña reserva para tiempos donde no haya producción de material orgánico, aunque se puede como hemos mencionado adicionar otros residuos de la finca. (Cabrera-Arce, 2011)

**Biol**

En el momento no se ha cosechado a un, pero se espera en el primer semestre cosechar un promedio de 600 kl de materia seca.

**Laguna de Estabilización**

La laguna de estabilización ha permitido un flujo lento pero continuo del agua que al entrar en este reposo nos permite una homogenización de la mezcla y con la caída del agua al entrar por gravedad, mejora mucho en la obtención de oxígeno además del que se obtiene por medio de las plantas como el buchón de agua y la lenteja de agua implantadas.

**Fuentes de agua**

El tratamiento de aguas residuales ha permitido muy buenos resultados según los datos obtenidos en el laboratorio con las pruebas realizadas a las muestras, que van mejorando a traes del tiempo en nuestro proyecto provenientes de la industria de café soluble mediante el proceso de beneficio húmedo, encontramos estudios que permiten mejorar a varios factores del agua.



### Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). *Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales*. INVEMAR.  
[http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/8859b751-b39b-4d3d-9f59-976f362afc66/Manual%20de%20m%C3%A9todos%20de%20ecosistemas%20marinos%20y%20costeros%20con%20miras%20a%20establecer%20impactos%20ambientales?ticket=TICKET\\_e29c855afd050fafd17b0aff5b67dc0de4cbc02f](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/8859b751-b39b-4d3d-9f59-976f362afc66/Manual%20de%20m%C3%A9todos%20de%20ecosistemas%20marinos%20y%20costeros%20con%20miras%20a%20establecer%20impactos%20ambientales?ticket=TICKET_e29c855afd050fafd17b0aff5b67dc0de4cbc02f)
- Alfredo, T. (1978). El Macizo colombiano, arca limnología de Colombia. *Boletín de la sociedad geográfica de Colombia*, 33 (13),  
[https://www.sogeocol.edu.co/documentos/el\\_macizo\\_col.pdf](https://www.sogeocol.edu.co/documentos/el_macizo_col.pdf)
- Arango, M. (1999). El beneficio ecológico del café en Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural* (42), 117-143.
- Báez Muñoz, M.F. (2009). *Validación de métodos de ensayo para el análisis de parámetros físico-químicos en aguas limpias y residuales en el laboratorio de medio ambiente*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército].  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/772>
- Hernández, C. (2018). El Macizo Colombiano como territorio hidrosocial (1990-2018). *Rev Controversia* 210, 203-242
- Cabrera-Arce, J. (2011). *Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1593>
- Capote, T.; Matute, S. y Rojas, J. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Rev del Instituto*

*Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 46 (1-2), 17-24.

<http://ve.scielo.org/pdf/inhrr/v46n1-2/art03.pdf>

Cárdenas, L. y Sánchez, A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y salud*, 15 (1), 72-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf>

Cataño, G. (2012). El Café en la Sociedad Colombiana. *Rev de Economía Institucional*, 14 (27), 255-272. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-59962012000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-59962012000200012)

Chungandro-Nacaza, K. R. y Manitio Cahuatijo, G. J. (2010). *Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1650>

Cornare (2014). *Sistema de gestión integral de Cornare*. Cornare.

<https://www.cornare.gov.co/sistema-de-gestion-corporativo/#:~:text=La%20Gesti%C3%B3n%20institucional%20de%20los,y%20Salud%20en%20el%20trabajo>.

Decreto de la Presidencia de Gobierno 1423. (18 de junio de 1982). España.

<https://cidta.usal.es/calidad/documentos/leg/05Metodos%20oficiales%20de%20analisis%20fq.pdf>

Domínguez, A. L. (2001). Evaluación de la depuración de las aguas residuales provenientes de un sistema de tratamiento combinado de laguna de estabilización y laguna con jacinto de agua. *Actualidades Biológicas*, 23(74), 75–82.

<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329622>

Federación Nacional de Cafeteros (CENICAFE). (2015). *Beneficios del café en Colombia*.

Cenicafe

- Federación Nacional de Cafeteros (CENICAFE) (2020). *Producción de café de Colombia en 2020 fue de 13,9 millones de sacos*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-en-2020-fue-de-139-millones-de-sacos/>
- Gil, M.; Soto, A.; Usma, J. y Gutiérrez, O. (2012). contaminantes emergentes en agua efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7, (2), 52-73.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Guarín, A. y Rúa, H. (2009). *Evaluación técnica y económica de la central de beneficio de café de la empresa agrícola Ganabro el Tablazo, del Municipio de Frontino*. [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista].  
<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/231?mode=full>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. Invemar.  
<http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- Iregui, A.M.; Melo, F. y Ramírez, T. (2006). *Productividad regional y sectorial en Colombia: un análisis utilizando datos de panel*. Banco de la Republica.  
<https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra378.pdf>
- khanacademy.org (2009). *El ciclo del nitrógeno*.  
<https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-nitrogen-cycle>
- Lentech (2016). *Ciclo del Fósforo*. <https://www.lenntech.es/ciclo-fosforo.htm#:~:text=En%20la%20descomposici%C3%B3n%20bacteriana%20de,mentos%20acu%C3%ADferos%20o%20a%20los%20oc%C3%A9anos.>
- Narcis, P. (2005). *Calidad del agua contaminación y toxicidad: algunas ideas y conceptos básicos*. Milenio

- Ortega, A. (2008). Análisis microbiológico del agua. *Recogidas* (45), 1-8.  
[https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_11/AZAHARA\\_CABRERA\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_11/AZAHARA_CABRERA_1.pdf)
- Peralta Escobar, F.; Yungán Yunga, J.; Ramírez Alcívar, W. y Vicente E. (1999). *Diseño de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias procesadoras (empacadoras) de camarón*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4557/1/D-60319%20Peralta-Yunga-Ramirez.pdf>
- Pérez, L.; Proaño, J. y Toro, J. (2010). *Diseño y automatización de un Biodigestor*. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/297>
- Puerta-Quintero, G. (2015). *La inocuidad y la calidad del café requiere de agua café para su beneficio y preparación de la bebida*. Cenicafé.  
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/599/1/38912.pdf>
- Sarasty Zambrano, D. (2012). *Alternativas de tratamiento del mucilago residual producto del beneficiadero del café*. [Monografía de Especialización, Universidad Industrial de Santander].  
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7015/2/145122.pdf>
- Tamayo, A. (2014). *Recuperación energética y material de porquinaza y formulación de insumos para un sistema acoplado cerdos pasto leche en el Norte de Antioquia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.].  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54406>
- Zambrano, D. y Isaza, J. (1998). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total de los subproductos del proceso tradicional del beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 49(4), 279-289. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc049%2804%29279-289.pdf>

Zuluaga, V; Zambrano, D.A. (1993). *Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación*. Kimera

## Apéndices

### Apéndice A.

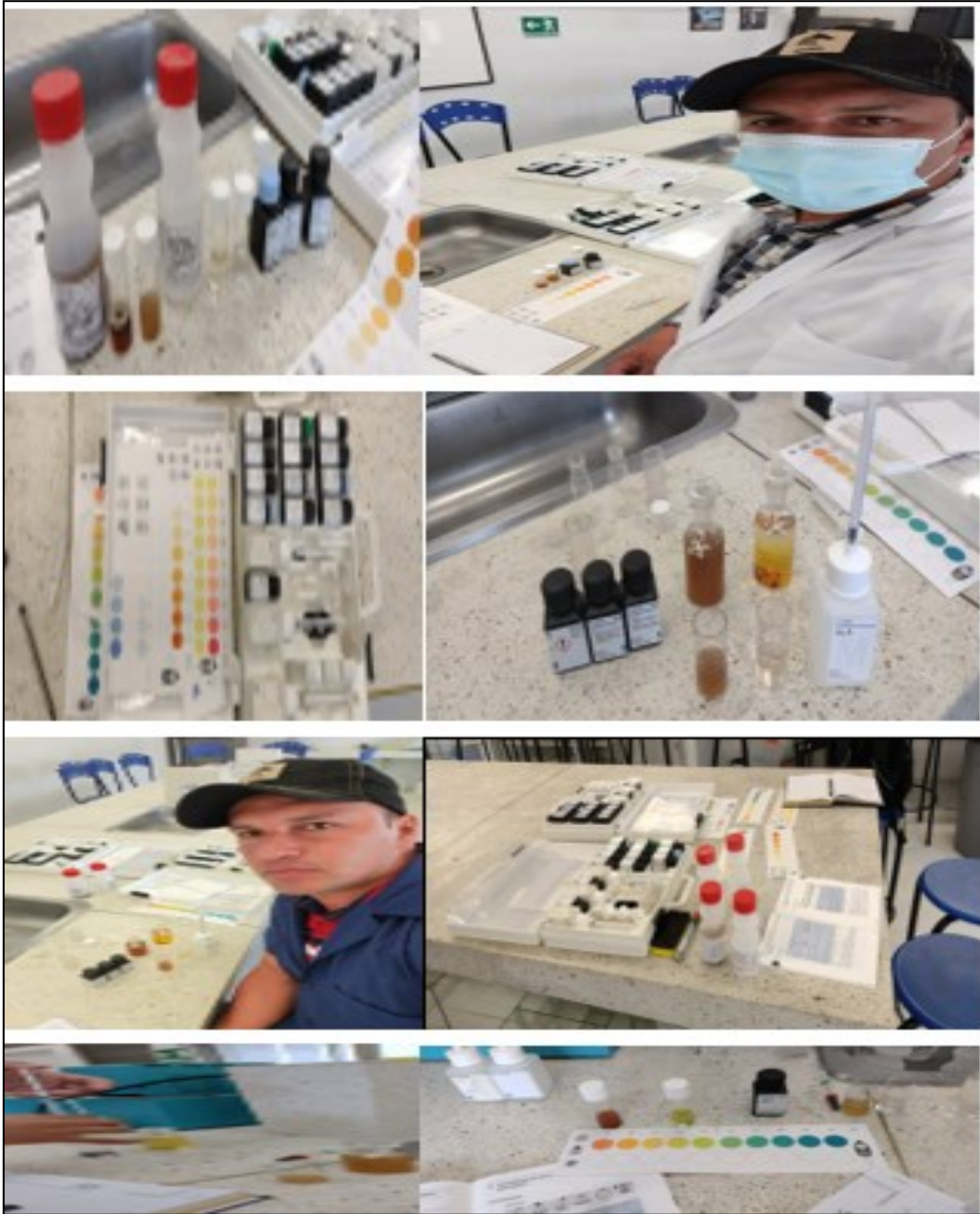
*Imagen de archivo realización de la estructura*



*Nota.* Podemos observar parte del proceso de construcción tanto del biodigestor como de la laguna estabilización y su funcionamiento.

**Apéndice B.**

*Imagen de archivo análisis de muestras en el laboratorio*



*Nota.* Imágenes de laboratorio y manejo de las muestras y reactivos que nos permitieron demostrar los buenos resultados de este proyecto.