

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA PLANTA
Y DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA MISERICORDIA,
EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO
DE CHIQUIMULA.

MARIA JOSE SOLIS FLORES

CHIQUIMULA, GUATEMALA, MARZO 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA PLANTA
Y DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA MISERICORDIA,
EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO
DE CHIQUIMULA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

MARIA JOSE SOLIS FLORES

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, MARZO 2020

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



RECTOR
M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Graduados:	Inga. Evelin Dee Dee Sumalé Arenas
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	P.E.M. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.A. Marlon Alcides Valdez Velásquez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. David Horacio Estrada Jeréz
Secretario:	Inga. Agr. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	M.Sc. José Ramiro García Álvarez

TERNA EVALUADORA

M.Sc. Fredy Samuel Coronado López
M.Sc. David Horacio Estrada Jeréz
M.A. Hugo David Cordón y Cordón

Guatemala, enero 2020

Señores:
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA PLANTA Y DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA MISERICORDIA, EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Maria Jose Solis Flores



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL LOCAL



Chiquimula, 14 de enero de 2020.

Ing. Edwin Filiberto Coy Cordón
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Ingeniero Coy:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **MARIA JOSE SOLIS FLORES** en el trabajo de investigación denominado **“EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO HUMEDO DE CAFÉ LA PLANTA Y DEL BENEFICIO HUMEDO DE CAFÉ LA MISERICORDIA EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que se ha procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En nuestra opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomendamos la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor Principal

cc. Archivo

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **MARIA JOSE SOLIS FLORES** titulado “**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA PLANTA Y DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ LA MISERICORDIA, EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a dieciocho de febrero de dos mil veinte.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
DIRECTOR
CUNORI - USAC



ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por llenarme de sabiduría, salud, paciencia y fortaleza para alcanzar tan valiosa y exitosa meta.
- A MIS PADRES:** Marco Vinicio Solis Villeda y Karin Emilia Flores de Solis por el amor que me brindan día a día, por creer siempre en mí, guiarme por el camino correcto, por nunca dejarme caer y por ser mi apoyo incondicional. ¡Lo logramos! Los amo.
- A MI HERMANA:** Jasmine Adriana Solis Flores por ser mi ejemplo a seguir, luchando siempre por lo que nos proponemos y por nunca rendirse ante cualquier adversidad que nos presenta la vida. Gracias por tu amor, apoyo y tus buenos consejos. Te amo.
- A MIS FAMILIARES:** A todos como muestra de cariño y respeto.
- A MI NOVIO:** Luis Fernando Lee del Cid por su amor, motivación, comprensión y paciencia durante los momentos más difíciles en el desarrollo de esta tesis. Eres mi inspiración. Te amo.

A MIS COMPAÑEROS (AS):

Mil gracias por la ayuda brindada en los momentos que más lo necesitaba, por cada aventura vivida; por aceptarme tal cual soy, por las risas, enojos, tristezas y alegrías compartidas. Los llevo siempre en mi corazón. Los (as) aprecio.

A MIS AMIGOS (AS):

Quienes forman parte de mi vida desde el inicio de esta aventura, y aunque nuestros caminos hayan tomado distintos rumbos, atesoro en mi corazón cada momento vivido.

A MIS CATEDRÁTICOS (AS):

Por cada conocimiento brindado durante mi formación profesional, por su paciencia, cariño, apoyo y respeto. Les recordaré siempre.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

**AL CENTRO UNIVERSITARIO
DE ORIENTE -USAC-CUNORI:**

Por permitir mi crecimiento y mi formación profesional.

**A LA CARRERA DE GESTIÓN
AMBIENTAL LOCAL:**

Por la motivación recibida para seguir adelante y formarme como profesional en el campo de la gestión ambiental.

A MIS ASESORES:

M.Sc. José Ramiro García Álvarez por asesorarme desde el inicio hasta el final de este trabajo de investigación.

**A INGENIERO HORACIO
ESTRADA:**

Por no permitir que a mitad del camino me rindiera. Gracias por sus consejos y su apoyo cuando más lo necesitaba.

**A LICENCIADA VILMA, INGA.
CECIBEL E ING. CLAUDIA
PINTO:**

Por la disponibilidad de orientarme en cada proceso desarrollado a nivel laboratorio.

**AL BENEFICIO DE CAFÉ “LA
PLANTA” Y AL BENEFICIO DE
CAFÉ “LA MISERICORDIA”:**

Por abrirme las puertas de su empresa, permitiéndome desarrollar este trabajo de investigación y por el tiempo e información brindada.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	6
4.1 General	6
4.2 Específicos	6
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1 Calidad del agua	7
5.2 Características que determinan la calidad del agua	8
5.3 Parámetros físicos del agua	8
5.4 Parámetros químicos del agua	10
5.5 Parámetros bacteriológicos	15
5.6 Contaminación del agua	15
5.7 Características de las aguas residuales	16
5.8 Características físicas de las aguas residuales	17
5.9 Características químicas de las aguas residuales	20
5.10 Tratamiento de las aguas residuales	23
5.11 Reúso de aguas residuales	24
5.12 Aguas residuales, producto del beneficiado de café	25
5.13 Tratamiento de aguas residuales (aguas mieles)	26
5.14 Subproductos del café	31
5.15 Impactos ambientales de las aguas residuales (aguas mieles)	33
5.16 Monitoreo de aguas residuales	34
5.17 Reglamento en Guatemala de descargas y reúso de aguas residuales	37
6. MARCO REFERENCIAL	38
6.1 Localización del área de estudio	38

6.2	Clima	40
6.3	Zonas de vida	41
6.4	Recursos naturales	41
6.5	Principales ríos del municipio	42
6.6	Importancia de la cuenca alta del Río Lempa	43
6.7	Estudios relacionados con el tema de investigación	43
7.	MARCO METODOLÓGICO	45
7.1	Área de estudio	45
7.2	Técnicas para la recolección de la muestra de agua	46
7.3	Análisis de la calidad del agua	47
7.4	Parámetros a evaluar para determinar la calidad del agua de fuentes naturales	47
7.5	Período de monitoreo	49
7.6	Análisis de la información	49
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
8.1	Ubicación de los puntos de muestreo en los beneficios evaluados	50
8.2	Caracterización de la calidad del agua utilizada en el proceso de beneficiado de café en del beneficio “La Planta” y “La Misericordia”	55
8.3	Caracterización de la calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas mieles de los beneficios bajo estudio	56
8.4	Eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residuales	62
8.5	Índice de biodegradabilidad	73
8.6	Relación de la calidad del agua residual de los beneficios bajo estudio y la normativa vigente para Guatemala	75
9.	CONCLUSIONES	78
10.	RECOMENDACIONES	80
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
12.	ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
1	Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes	11
2	Composición química del mucílago de café	12
3	Tipo de recipiente en el muestreo y volumen requerido	35
4	Zonas de vida en el municipio de Esquipulas	41
5	Caracterización físico-química y microbiológicamente del agua natural en el beneficio húmedo de café “La Planta” y el beneficio húmedo de café “La Misericordia”	55
6	Calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta”	57
7	Calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia”	60
8	Niveles de la Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”	65
9	Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO ₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO por el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”	64
10	Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO ₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO comparando el primer y último punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”	66
11	Niveles de la Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”	67
12	Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO ₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO por el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”	69

13	Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica De Oxígeno DBO ₅ y la Demanda Química de Oxígeno DQO comparando el primer y último punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”	71
14	Análisis estadístico de los principales parámetros de la calidad del agua para cada punto de monitoreo en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los beneficios bajo estudio, utilizando la prueba de T Student	72
15	Índice de biodegradabilidad para los puntos de monitoreo en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los beneficios “La Planta” y “La Misericordia”	74
16	Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO ₅ /DQO	75
17	Calidad del agua residual de los beneficios “La Planta” y “La Misericordia” al final de los sistemas de tratamiento y los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa	76

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	CONTENIDO	PÁGINA
1	Operaciones y recomendaciones generales del beneficio húmedo en el uso del agua	27
2	Características para el análisis cualitativo de las aguas residuales	28
3	Productos químicos para el control de pH	29
4	Ubicación de los puntos de monitoreo en el beneficio de café “La Planta”	51
5	Ubicación de los puntos de monitoreo en el beneficio de café “La Misericordia”	53

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA	CONTENIDO	PÁGINA
1	Demanda biológica de oxígeno DBO_5 y Demanda Química de Oxígeno DQO promedio en cada punto de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas mieles en el beneficio “La Planta”	63
2	Remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 y Demanda Química de Oxígeno DQO del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio “La Planta”	65
3	Demanda biológica de oxígeno DBO_5 y Demanda Química de Oxígeno DQO promedio en cada punto de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas mieles en el beneficio “La Misericordia”	68
4	Remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 y Demanda Química de Oxígeno DQO del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio “La Misericordia”	70

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
1	Manejo de los subproductos de café	33
2	Localización del municipio de Esquipulas – Chiquimula	39
3	Croquis del sistema del manejo de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio húmedo de café “La Planta”	52
4	Croquis del sistema del manejo de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio húmedo de café “La Planta”	54

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en dos sistemas de tratamiento de aguas mieles en el beneficio húmedo de café “La Planta”, el cual está ubicada en aldea Santa Rosalía y se abastece del agua del río Atulapa y en el beneficio húmedo de café “La Misericordia”, ubicado en aldea Chanmagua y se abastece por el río Chanmagua, ambos en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula.

El estudio de evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del proceso de beneficiado húmedo de café tiene como objetivo evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso húmedo de beneficiado húmedo de café en dos zonas del municipio de Esquipulas, caracterizando física, química y bacteriológicamente el agua residual en ambos sistemas para determinar la eficiencia de los mismos.

Para la ejecución del estudio se establecieron puntos de monitoreo en cada uno de los sistemas; estableciendo 7 puntos de muestreo en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta” y 8 puntos de muestreo en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”, dentro de ellos están dos puntos de muestreo que corresponden las fuentes de agua natural de donde se abastecen los mismos. En ambos beneficios los puntos de muestreo se ubicaron de forma estratégica para determinar si existe un cambio en la concentración de la contaminación que permita mejorar positivamente la calidad del agua.

Para ello, se analizaron 24 parámetros dentro de los cuales se encuentran 5 metales pesados (cromo, hierro, cianuro, arsénico y plomo), realizando 6 monitoreos en un período de tres meses en las cosechas 2017 – 2018.

La calidad del agua que es utilizada para el proceso de beneficiado de café en ambos beneficios, presentó altas concentraciones de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli.*, esta condición la califica como agua no apta para consumo humano según la Norma COGUANOR.

Las características físico-químicas de las aguas residuales en los sistemas de tratamiento de ambos beneficios, mostraron altas concentraciones de conductividad eléctrica, sólidos totales, disueltos, suspendidos y sedimentables, turbidez, dureza, demanda química y biológica de oxígeno y sulfatos. Lo cual indica que el agua residual proveniente del proceso de la agroindustria del café, contiene niveles altos de materia orgánica.

Así mismo, se analizó la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir de la remoción de la demanda biológica y la demanda química de oxígeno; los resultados muestran que en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio "La Planta", la remoción de la contaminación es de 29.21% de demanda biológica de oxígeno y de 4.53% de la demanda química de oxígeno. En el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio "La Misericordia", no muestra el sistema remoción de la contaminación al evaluar los niveles de demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

Además, se determinó el índice de biodegradabilidad en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir de la relación DBO_5/DQO , determinándose que de acuerdo a este índice el agua residual proveniente del proceso agroindustrial del café se clasifica como "no biodegradable", esto indica que es necesario realizar tratamiento químico para reducir los niveles de contaminación en el agua.

En el estudio se determinó la presencia de metales pesados en las aguas residuales (aguas mieles), identificando que existen bajas concentraciones de cromo, cianuro y plomo en el agua, el cual puede ser de origen natural o antrópico, pero para ello es necesario realizar estudios que puedan identificar la procedencia de estos metales en el agua.

El estudio permite concluir lo siguiente: los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen una baja eficiencia para remover la contaminación en el agua.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación hídrica es cada vez más grave debido a los diferentes tipos de contaminantes, convirtiéndose en factor peligroso para la flora, fauna y también para los seres humanos por las sustancias tóxicas, bacterias y microorganismos que el recurso agua contiene; producto de dos fuentes básicas de contaminación (naturales y antropogénicas). Esta última afecta en mayor escala, porque es proveniente de industrias y actividades agrícolas, que vierten sus aguas cargadas de sustancias químicas peligrosas.

El café es uno de los principales productos base de la economía guatemalteca. Existiendo dos tipos de procesos para tal producción conocidos como *beneficio seco* del café, en donde se exponen las cerezas al sol por varios días hasta alcanzar el grado de humedad adecuado; y el *beneficio húmedo* del café, que incluye el despulpado, fermentación, lavado y secado del grano utilizando el agua en el proceso y genera residuos.

Es importante mencionar la contaminación que genera el proceso de beneficiado húmedo de café, en donde produce desechos sólidos, como la pulpa; y líquidos, como las aguas residuales, mejor conocidas como “aguas mieles”. Ambos tipos de contaminantes, provocan polución de carga orgánica, afectando al recurso hídrico de manera física, química y biológica.

El municipio de Esquipulas se ubica la parte alta de la cuenca del río Lempa, drenando sus aguas hacia Honduras y El Salvador. Por lo tanto, haciendo referencia a la producción de café y los efectos adversos que el mismo provoca en el recurso hídrico, se ve en la necesidad de caracterizar físico-químico y microbiológicamente las aguas resultantes del mismo, a través de las plantas de tratamientos que en las centrales existen, y a su vez, poder medir la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Con el fin

de desarrollar información para mejorar y/o proponer medidas correctivas y preventivas.

El estudio se realizó en dos beneficios, el beneficio húmedo “La Planta”, que está ubicado en aldea Santa Rosalía; y el beneficio húmedo “La Misericordia”, que se encuentra en aldea Chanmagua; ambas del municipio de Esquipulas. Las muestras de agua recolectadas se analizaron en el laboratorio ambiental de CUNORI, en donde se determinaron 24 parámetros entre ellos 5 metales pesados, utilizando las metodologías establecidas por método ¹“Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater” y el análisis de los resultados se realizó con la prueba estadística “T Student” para determinar si existen diferencias en los niveles o concentraciones de contaminación.

En los resultados se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en los dos beneficios evaluados, así como la calidad del agua que es utilizada en el proceso de beneficiado de café que proviene de fuentes superficiales como el río Atulapa y el río Chanmagua, la caracterización de la calidad del agua en las diferentes fases de los sistemas de tratamiento para determinar si existe algún cambio positivo en su calidad, la eficiencia de los sistemas de tratamiento a partir de la relación DBO_5/DQO . El índice de biodegradabilidad de las aguas residuales durante el proceso de tratamiento y al final del mismo y la relación de la calidad del agua residual comparada con la normativa vigente para Guatemala en los parámetros potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, nitratos, fosfatos y bacterias coliformes fecales.

Así mismo, se presentan las principales conclusiones del estudio donde es importante indicar que la eficiencia de los sistemas de tratamiento es baja.

¹ CUNORI, Laboratorio Ambiental: Standar Methods of the Examination of Water and Wastewater, 2018.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La caficultura ha sido parte importante de la historia y de la economía del país. Ha sido por muchos años la base de la actividad agrícola de Guatemala, impulsando el desarrollo de todas aquellas personas que viven del cultivo del café.

La actividad del sector caficultor guatemalteco genera una serie de efectos positivos como la creación de empleos e ingreso de divisas; pero de igual manera ha creado una serie de efectos negativos, especialmente sobre el medio ambiente, debido a la generación de subproductos como las aguas mieles y pulpa de café, que pueden provocar contaminación de las corrientes superficiales de agua en muchas regiones (ver anexo 34).

El municipio de Esquipulas es de las zonas más importantes de cultivos de café en el oriente del país, que genera ingresos económicos a pequeños, medianos y grandes productores. Así mismo; este municipio se encuentra dentro de la Región Trifinio, un área de mucha importancia ecológica y considerada una de las principales áreas de recarga hídrica.

Dentro del proceso de producción de café, una actividad importante es el beneficiado húmedo que sirve para obtener el denominado café pergamino, que es la forma más utilizada para su comercialización. El proceso de beneficiado húmedo requiere la utilización de aproximadamente 100 litros de agua por 100 libras de café pergamino procesado, lo cual genera un subproducto denominado aguas mieles, las cuales contienen una alta concentración de material orgánico que reducen los niveles de oxígeno disuelto en el agua.

Actualmente en el municipio de Esquipulas, dicho proceso se lleva a cabo en instalaciones de beneficiado de empresas privadas, cooperativas y a nivel de pequeños productores, que generan aguas residuales (aguas mieles), las cuales

según la legislación vigente deben brindarle tratamiento para reducir los niveles de contaminación y poder reutilizar ese recurso, con el objetivo de evitar la contaminación de los cuerpos superficiales de agua.

La mayoría de centrales de beneficiado ubicadas en el municipio de Esquipulas poseen sistemas para el tratamiento de las agua mieles, sin embargo, dichos sistemas no están completos para desarrollar tratamiento primario, secundario y terciario de las aguas residuales, así mismo se desconoce la eficacia del proceso de tratamiento de las residuales en estos sistemas y, por lo tanto, actualmente no es posible proponer planes de mejora eficientes para dichos sistemas.

3. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de café en el territorio de Guatemala, genera ingresos por exportaciones agrícolas, convirtiéndolo así en uno de los principales productos de exportación del país. El café cultivado se procesa en beneficios húmedos, los cuales reciben este nombre porque utilizan cierta cantidad de agua para lograr la eliminación de la pulpa y del mucílago del grano del café, para su posterior secado.

Desde el punto de vista ambiental existe un alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales por agua mieles provenientes del beneficiado húmedo de café en el municipio de Esquipulas, principalmente en la parte alta de la cuenca del río Lempa.

Es importante indicar que en los últimos años se ha reportado contaminación del agua superficial, atribuida a la descarga de aguas mieles sin tratamiento adecuado directamente a las corrientes de agua.

El presente estudio busca evaluar la eficacia del sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de beneficiado húmedo del café en al menos dos beneficios del área de producción del municipio de Esquipulas, que permita implementar acciones para reducir los riesgos de contaminación ambiental y mejorar los sistemas de tratamiento existentes.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del proceso del beneficiado húmedo de café La Planta y del beneficiado húmedo de café La Misericordia, en las áreas de producción del municipio de Esquipulas para hacer el análisis de la calidad del agua y conocer su funcionamiento.

4.2 Específicos

- Caracterizar físico-químico y microbiológicamente el agua residual (agua miel) producida del beneficiado húmedo de café “La Planta” y del beneficiado húmedo de café “La Misericordia”.
- Evaluar los parámetros de la calidad del agua, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, turbidez, Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅, Demanda Química de Oxígeno DQO, nitratos, coliformes fecales, coliformes totales y *e. coli*, conductividad, porcentaje de saturación, nitritos, fosfatos, sulfatos y dureza; y los metales cromo, hierro, cianuro, arsénico y plomo del sistema de tratamiento de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café “La Planta” y del beneficiado húmedo de café “La Misericordia”.
- Determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficiado húmedo de café “La Planta” y del beneficiado húmedo de café “La Misericordia”.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que, el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo del uso que se quiera dar al agua, así se puede determinar la calidad para dichos usos (Guevara, 2015).

En Guatemala, existe una norma para agua potable establecida por la Comisión Guatemalteca de Normas -COGUANOR-; en donde se establecen límites máximos aceptables y permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y límites microbiológicos, así como las concentraciones de cloro y métodos de análisis bacteriológicos (Sandoval, 2014).

Hoy en día, los recursos hídricos están siendo altamente contaminados, tomando como contaminación de recursos hídricos a la presencia de niveles nocivos de impurezas en el agua, dentro de los cuales se encuentran bacterias, virus, minerales y sustancias orgánicas; su importancia radica en que el agua es uno de los principales vehículos para la transmisión de muchas enfermedades a los seres humanos, animales y plantas, pudiendo causar hasta la muerte de estos seres vivos. (Sandoval, 2014)

Según la norma COGUANOR (1999), define al agua potable, aquella que, por sus características de calidad específicas en dicha norma, es adecuada para el consumo humano.

5.2. Características que determinan la calidad del agua

5.2.1. Características químicas

Son las que permiten determinar las cantidades de material mineral y orgánico presente en el agua y que afectan su calidad, como: oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, nitritos, conductividad del agua, sólidos presentes (Guevara, 2015).

5.2.2. Características físicas

Son aquellas relativas a su comportamiento físico que determina su calidad (COGUANOR, 1999).

5.2.3. Características biológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces (Orellana, 2005).

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también proviene de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales como también por arrastre de las existentes en el suelo por acción de la lluvia (Orellana, 2005).

5.2.4. Características bacteriológicas

Relativas a la presencia de bacterias, que determinan su calidad (COGUANOR, 1999).

5.3. Parámetros físicos del agua

5.3.1. Color, olor y sabor

Se les denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor

al detectar colores, olores o sabores que no se asocian con “agua pura” (Guevara, 2015).

5.3.2. Turbiedad

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia (Xil, 2012).

5.3.3. Temperatura

La temperatura es una propiedad de los cuerpos que se define como el grado de agitación de las moléculas que los conforman. Esta propiedad se mide utilizando equipos denominados termómetros, los cuales vienen calibrados en diferentes escalas, siendo la utilizada por el sistema internacional la escala Celsius (°C). La importancia de tener control en la temperatura de los efluentes de descarga radica en las condiciones de vida acuática, ya que elevar la temperatura unos pocos grados Celsius el agua, puede ser letal para la mayoría de especies que viven en los cuerpos receptores (Sandoval, 2014).

5.3.4. Sólidos

Se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado a una temperatura de 103 a 105 °C (Xil, 2012).

5.3.5. Conductividad

Capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio) (Xil, 2012).

5.4. Parámetros químicos del agua

5.4.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Se refiere al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. La escala de pH tiene un rango que está de 0 a 14, un valor que se encuentre por debajo de 7 se considera como ácido y uno por encima de 7 se considera alcalino o básico. El agua en su estado natural tiene un pH alrededor de 7, en donde indica neutralidad (Sandoval, 2014).

Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues nos proveen mucha información con respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Generalmente un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales (Guevara, 2015).

5.4.2. Dureza

Es otra forma de indicar el contenido iónico de un agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica. Se obtiene a partir de la determinación por separado del contenido en calcio y magnesio de la muestra o de manera conjunta por compleximetría con EDTA (Guevara, 2015).

5.4.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente, se seca a 103-105°C hasta peso constante (Guevara, 2015).

Los sólidos suspendidos, como parámetro, miden la presencia de materiales corpusculares de tamaño mayor que unos 10⁻³ milímetros. Si fuesen menores se clasificarían como materiales coloidales (10⁻⁶ a 10⁻³ mm) o, definitivamente, como especies disueltas (menores que 10⁻⁶ mm). Además, los sólidos mayores que unos 10⁻² mm se definirían, como sólidos sedimentables pues su tamaño es tal que caen

por si mismos al dejarlos en agua quieta, los sólidos suspendidos, en cambio y tal como su nombre lo indica, permanecen en suspensión y sólo pueden ser retirados por una barrera física, por ejemplo, un filtro (Guevara, 2015).

Es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm (Xil, 2012).

5.4.4. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica mediante la fórmula $TDS = C.E. (mmhos/cm) \times 700$; se mide en ppm (Xil, 2012).

5.4.5. Oxígeno Disuelto (OD)

Es una substancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivientes tanto acuáticos como terrestres. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración (Guevara, 2015).

De esta forma, cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, entre otros, afectan sus niveles (Guevara, 2015).

Tabla 1. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

OD-mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	(OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
5-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Guevara, 2015

5.4.6. Nitrógeno Total

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado (Sandoval, 2014).

5.4.7. Fósforo Total

El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico (Sandoval, 2014).

5.4.8. Nitratos (NO_3^-)

En los nitratos está presente el anión nitrato (NO_3^-), éste se forma al unirse el nitrógeno en estado de oxidación con tres oxígenos. Los nitratos (que derivan en nitritos en condiciones reductores) originan un problema poco común de contaminación, además de estimular la eutrofización (Guevara, 2015).

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, entre otros. En esta descomposición se forma amoníaco o amonio respectivamente. El agua que contiene altas concentraciones de nitratos y que se emplea en alimentación de niños de seis meses, puede ser causa de una condición llamada metahemoglobinemia (Guevara, 2015).

5.4.9. Nitritos (NO_2^-)

Los nitritos, son sales del ácido nitroso, naturalmente los nitritos deben su formación a la oxidación de las aminas y del amoníaco o también a la reducción del nitrato en ausencia de oxígeno (Méndez, 2010).

Al tratarse de sales de un ácido de tipo débil, cuando está en contacto con un ácido fuerte de tipo sulfúrico, se realiza una liberación de ácido nitroso de manera inestable, que cuando se encuentra en disolución ácida se encuentra en equilibrio con un ion de nitrosonio (NO^+). El ion nitrito reacciona con los distintos ácidos con la finalidad de formar ácido nitroso. Cuando se encuentra a temperatura ambiente, el ácido nitroso se descompone con velocidad (Méndez, 2010).

5.4.10. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas en tiempo y temperatura. Es la principal prueba utilizada para la evaluación de la naturaleza del agua residual. La DBO se determina generalmente a 20°C después de incubación durante 5 días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, por cinco días a 20°C (Xil, 2012).

De acuerdo a la investigación de Xil (2012), la demanda de oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- Materia orgánica carbonosa: usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
- Nitrógenos oxidables y compuestos de nitrógeno orgánico: sirven de sustrato para bacterias específicas del género *nitrosomas* y *nitrobáctera*, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- Compuestos reductores químicos: como sulfitos (SO_3^{2-}), sulfuros (S^{2-}) y el ion ferroso (Fe^{+2}) que son oxidados por oxígeno disuelto.

5.4.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos como el dicromato de potasio (Xil, 2012).

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse (Xil, 2012).

5.4.12. Fosfatos (PO_4^{3-})

Los Fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales. Estos 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 negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas (Guevara, 2015).

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas. Los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas, ahogan a otros organismos (Guevara, 2015).

5.4.13. Sulfatos (SO_4)

El ion sulfato es uno de los principales aniones que se encuentran en aguas naturales. Los sulfatos llegan al medio acuático por los desechos provenientes de múltiples industrias. El dióxido de azufre atmosférico, que se libera por la combustión de hidrocarburos también puede contribuir al contenido de sulfatos del agua. El trióxido de azufre producido por la oxidación fotolítica o catalítica del dióxido, se combina con el vapor de agua y precipita como lluvia ácida. La concentración de sulfatos en la mayor parte de las aguas dulces es muy baja. Las dosis de sulfato de 1.0 a 2.0 gramos tienen efecto catártico en las personas, dando como resultado la purga del canal alimentario (Guevara, 2015).

5.5. Parámetros bacteriológicos

5.5.1. Coliformes fecales y totales

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos (Sandoval, 2014).

No todos los coliformes son de origen fecal, se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal. Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli* (Sandoval, 2014).

5.6. Contaminación del agua

Por contaminación, se entiende la introducción de desechos u otras materias en el mar, resultante directa o indirectamente de actividades humanas, que tenga o pueda tener efectos perjudiciales tales como causar daño a los recursos vivos o a los ecosistemas marinos, entrañar peligros a la salud del hombre, entorpecer las actividades marítimas, incluidas la pesca y otros usos legítimos del mar, deteriorar la calidad del agua de mar en lo que se refiere a su utilización y menoscabar las posibilidades de esparcimiento (Korbut, s.f.).

5.6.1. Fuentes de contaminación (Korbut, s.f.)

- Agrícola ganadero (tipo difusa, materia orgánica, nutrientes, microorganismos).
- Doméstico (aguas residuales, alimentos, basuras, jabones, biodegradable, tratamientos biológicos).
- Urbana (lluvia, aceites, materia orgánica, contaminantes de la atmósfera, pesticidas, abonos).
- Industrial (procesos, aguas de enfriamiento, sustancias tóxicas, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, etc.)

5.6.2. Tipos de contaminación

- Fuentes puntuales: fuentes puntuales de contaminación antrópica son aquellos puntos en que una masa de contaminantes se descarga en cuerpos de agua en lugares bien precisos, a través de tuberías o canales. Estas fuentes son fáciles de identificar, monitorear y regular (Korbut, s.f.).
- Fuentes difusas: se refieren a fuentes de contaminación provenientes de extensas superficies de tierra que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales y por filtración a aguas subterráneas. El control es más complejo ya que se desconoce el punto de entrada a los cursos de agua; para esto, es necesario poner más énfasis en prevención (Korbut, s.f.).

5.7. Características de las aguas residuales

5.7.1. Definición

Se definen como aguas residuales aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones, y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente (Lazcano, 2017).

5.7.2. Clases de aguas residuales (Lazcano, 2017)

- Aguas residuales domésticas, son flujos de agua conformados por la combinación de las excretas eliminadas por la población, que incluye heces y orina; además, contiene desechos de animales domésticos, residuos de lavandería, residuos de industrias caseras que algunas veces vierten sustancias recalcitrantes que pueden ser tóxicas y cancerígenas, y residuos de las actividades culinarias.
- Aguas residuales municipales, son aquellas provenientes tanto de los efluentes domésticos como de las pequeñas industrias y otras actividades realizadas en las áreas urbanas (comercios, oficinas, restaurantes, mercados de abasto, etc.) y que incrementan los contaminantes con algunos componentes que pueden resultar indeseables para los tratamientos convencionales.

- Aguas residuales industriales, son aquellas provenientes de las distintas industrias que existen generalmente fuera de las áreas urbanas y que deben tratar sus desagües antes de ser vertidos a los alcantarillados.
- Aguas residuales agropecuarias o agroindustriales, se refiere a las escurrimientos que provienen de la actividad agrícola de los mataderos, establos, granjas avícolas, etc., que generan gran cantidad de materia orgánica carbonácea, constituidas por el estiércol y purines de los animales, combinado con residuos tóxicos de los pesticidas y fertilizantes usados en la agricultura.
- Aguas residuales de origen minero-metalúrgico, los efluentes procedentes de las minas se consideran los más contaminantes y de mayor riesgo para su uso o disposición, debido a que mayormente lo constituyen metales pesados como el Pb, Hg, Cd, Zn, etc., y metaloide como el Sb y el As. Todos estos residuos son tóxicos, mutagénicos, carcinógenos y teratogénicos tanto para la biota acuática como para el hombre, si es el usuario final.
- Aguas pluviales, aguas provenientes de las lluvias que llegan a las alcantarillas, van a diluir la carga orgánica del desagüe; sin embargo, pueden variar las características del agua como el pH, debido a que muchas de estas aguas de lluvia se convierten en lluvias ácidas antes de llegar al suelo y a las alcantarillas; por otro lado, los caudales del desagüe durante el período de lluvias también se incrementan.

5.8. Características físicas de las aguas residuales

5.8.1. Sólidos (Lazcano, 2017)

Los sólidos se hallan representados por las partículas visibles y coloidales que se encuentran en la más de agua y conformados principalmente por materia orgánica: carbohidratos, lípidos, proteínas, etc., células de organismos vivos y muertos, partículas de fibras: celulosa, quitina, etc.; sustancias químicas disueltas orgánicas e inorgánicas, entre otras.

La clasificación de los sólidos es como sigue:

- Sólidos totales (ST), corresponden a los descritos anteriormente y se definen como los residuos que quedan después de que la muestra ha sido evaporada y secada a 105°C durante veinticuatro horas al calor seco.
 - a. Sólidos sedimentables, son aquellos que se sedimentan en el cono Imhoff después de dejar reposar 1 L de agua durante una hora.
 - b. Sólidos volátiles totales, son aquellos que se volatilizan después de calcinar los ST a 500 °C. están constituidos principalmente por material orgánico.
 - c. Sólidos fijos totales (SFT), corresponden a los residuos que permanecen después de incinerar los ST a 500 °C.
 - d. Sólidos suspendidos totales o no filtrables (SST), son aquellos que quedan después de filtrar el agua residual a través de un filtro de fibra de vidrio de 1,2 µm de tamaño de poro. Incluyen partículas flotantes mayores como la arcilla, material fecal, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y basura, etc.
 - e. Sólidos suspendidos volátiles filtrables (SSV), son aquellos que se volatilizan después de incinerar los SFT a 500°C, constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales representados por material orgánico.
 - f. Sólidos suspendidos fijos (SSF), es el residuo remanente después de calcinar los SST a 500°C; está conformado por material inerte.
 - g. Sólidos disueltos totales (SDT), son sólidos que pasan a través del filtro de 2 µm o menos y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos.
 - h. Sólidos disueltos volátiles (SDV), son sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados a 500 °C. están constituidos por materia orgánica.
 - i. Sólidos disueltos fijos (SDF), es el residuo remanente después de calcinar los SDT a 500 °C. se constituyen por las sales y otras sustancias inorgánicas en solución.

5.8.2. Temperatura

La temperatura de las aguas residuales siempre es mayor que la temperatura del agua de la red potable, debido a que generalmente se vierten líquidos calientes y también es mayor que la temperatura del aire, especialmente en los meses fríos. Por otro lado, la temperatura influye en la biodegradabilidad de la materia orgánica, ya que contribuye con los procesos cinéticos químicos y biológicos. Las altas temperaturas en el agua residual pueden contribuir al crecimiento de hongos y plantas no deseables (Lazcano, 2017).

5.8.3. Color

El color de las aguas residuales se debe principalmente a las partículas que contiene; se denomina color aparente al que se observa por la presencia de los sólidos suspendidos, y color verdadero al producido por las sustancias coloidales y disueltas. Por otro lado, se puede tomar en cuenta el color del agua residual cruda en forma cualitativa, que permite estimar en qué condiciones se encuentra actualmente el agua; así, un color café claro indica agua residual reciente con no más de seis horas de su descarga; un color gris claro es característico de aguas residuales con tiempos mayores de almacenamiento a seis horas debido a que presenta cierto grado de descomposición de la materia orgánica (Lazcano, 2017).

5.8.4. Olor

El olor de las aguas residuales recientes es un olor *sui generis*, casi inofensivo; sin embargo, cuando las aguas se vuelven sépticas, la liberación de gases producidos por la descomposición aerobia y anaerobia de la materia orgánica da como resultado olores fuertes que no son soportados por la mayoría de las personas; estos gases corresponden principalmente a la presencia de ácido sulfhídrico (olor a huevos podridos), amoníaco, indol, estacol, ácido indol acético, etc. (Lazcano, 2017).

5.8.5. Transmitancia

Corresponde a la fracción de luz incidente de una longitud de onda específica, que es transmitida a través de una solución. Se mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda específica, que disminuye según la cantidad de sustancias presentes en las aguas residuales capaces de absorber o dispersar la luz (Lazcano, 2017).

5.9. Características químicas de las aguas residuales

5.9.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH se define como el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrógeno presentes. La definición matemática es: el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno (Lazcano, 2017).

Los valores de pH oscilan entre 0 y 14, siendo el $\text{pH} = 7$, el neutro. La acidez corresponde a las soluciones cuyos valores se encuentran por debajo de 7 y la alcalinidad a aquellos que se encuentran por encima de 7 (Lazcano, 2017).

5.9.2. Alcalinidad

En la mayoría de aguas naturales y residuales la alcalinidad está asociada al sistema carbonato, bicarbonato y ácido carbónico presentes. Por esta razón, la alcalinidad suele tomarse como un indicativo de la concentración de estas sustancias sin que ello quiera decir que, para todos los casos, la alcalinidad esté asociada al sistema carbonato (Lazcano, 2017).

5.9.3. Carbohidratos

Están representados por el 25% de los componentes orgánicos de las aguas residuales domésticas, conformados por azúcares, almidones –que son los primeros en degradarse en los procesos de digestión de las aguas residuales, originando acidez en el medio-; además, existe el material celulósico (de difícil degradabilidad) y otros carbohidratos complejos (Lazcano, 2017).

5.9.4. Proteínas

Constituyen el 25% del material orgánico de las aguas residuales domésticas y son los principales componentes químicos presentes que se digieren en los sistemas de tratamiento.

5.9.5. Lípidos

Constituidos por los aceites y grasas presentes en las aguas residuales en proporción del 10% de los componentes orgánicos. Se les considera como componentes indeseables debido a que pueden contribuir a la obstrucción de las tuberías, producen malos olores, espumas e inhiben el crecimiento de los microorganismos (Lazcano, 2017).

5.9.6. Nitrógeno

Tanto el N como el P son los elementos considerados como esenciales para el crecimiento de los organismos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR-, por lo que se les denomina nutrientes (Lazcano, 2017).

5.9.7. Fósforo

Es el nutriente más importante para el crecimiento de algas y plantas y en los estanques, laos, lagunas, etc.; representa el nutriente limitante para el crecimiento de algas, por lo que un exceso de P en el agua conduce a una proliferación de algas en un proceso denominado eutrofización, impidiendo el desarrollo de otros organismos y desmejorando considerablemente el ecosistema. Generalmente es originado por el uso de detergentes que contienen grandes cantidades de fosfatos (Lazcano, 2017).

5.9.8. Oxígeno Disuelto (OD)

La cantidad de oxígeno presente en las PTAR determina sus condiciones aerobias, microaerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos (Lazcano, 2017).

La OD permite la respiración de las bacterias aeróbicas y facultativas, así como de todos los organismos presentes en el ecosistema acuático; algunos organismos van a servir como indicadores de la concentración de OD en el agua (Lazcano, 2017).

5.9.9. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Se define como la cantidad de OD consumido por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica carbonácea (DBO carbonácea: DBO_{c5}) e inorgánica (DBO nitrogenácea: DBO_n). Puede considerarse como un procedimiento en el cual los organismos vivos sirven como medio para la oxidación de la materia orgánica hasta dióxido de carbono y agua (Lazcano, 2017).

a. DBO carbonácea (DBO_{c5}): es la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos heterotróficos para oxidar los compuestos orgánicos en la oscuridad a 20 °C durante cinco días (Lazcano, 2017).

b. DBO nitrogenácea (DBO_n): corresponde a la demanda bioquímica ejercida por las bacterias nitrificantes que requieren oxígeno para oxidar NH₄⁺ a nitrato (Lazcano, 2017).

5.9.10. Carbono Orgánico Total (COT)

Representa el carbono orgánico de una muestra dada; se determina por la oxidación de la materia orgánica con calor, oxígeno y oxidantes químicos, seguido de la medición de CO₂ liberado con un analizador infrarrojo (Lazcano, 2017).

5.9.11. Carga orgánica en los desagües domésticos

La carga orgánica de un desagüe doméstico, medida en términos de DBO, está en función de una serie de factores: caudal, factor de dilución, ubicación del proyecto. Cuando existen muchas industrias que vierten sus desagües al sistema de alcantarillado, es necesario obtener las mediciones tanto de DBO como DQO, a fin de determinar el grado de biodegradabilidad de la materia orgánica (Lazcano, 2017).

5.10. Tratamiento de las aguas residuales

Los ecosistemas acuáticos que presentan contaminación de cualquier tipo están enfermos y que de su salud depende el bienestar de los seres vivos y que habitan en el (Lazcano, 2017).

Para recuperar los ecosistemas acuáticos es necesario el proceso de autopurificación; sin embargo, muchas veces la capacidad de carga del ecosistema ha superado la capacidad autopurificadora, por lo que es necesario darle un tratamiento especial físico, químico o biológico a fin de que mejoren las condiciones como fuente de agua natural. La remediación de las aguas marinas es mucho más complicada, pero el océano tiene una mayor capacidad de autopurificación debido a la gran masa de agua y al movimiento de esa masa de agua que, conjuntamente con las características químicas propias del agua, su tasa de recuperación es mayor que en los cuerpos de agua continentales (Lazcano, 2017).

Hoy en día existen innumerables modelos de sistemas de tratamiento de aguas residuales que pueden ser utilizados por los municipios, industrias, hoteles, etc., cuyos costos vienen finalmente siendo menores al costo final de la contaminación, que muchas veces puede resultar irreversible tanto para la biota como para cualquier uso (Lazcano, 2017).

5.10.1. Procesos operacionales y unitarios en sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los métodos de tratamiento originados por las fuerzas físicas se llaman procesos operacionales, que incluyen: captación, desarenación, homogeneización, sedimentación, filtración y flotación y los métodos basados en procesos químicos y biológicos se llaman procesos unitarios, que incluyen: coagulación, floculación, desinfección, estabilización de la materia orgánica, lodos activados, procesos anaeróbicos, etc. (Lazcano, 2017).

Según Lazcano (2017), el tratamiento de desagüe comprende los siguientes pasos:

1. *Tratamiento preliminar (pretratamiento)*: para remover objetos o partículas que pueden obstaculizar los procesos en plantas.
2. *Tratamiento primario*: se lleva a cabo en procesos operacionales tales como sedimentación y filtración.
3. *Tratamiento secundario*: biológicos: lodos activados, filtros goteadores, lagunas de oxidación, tratamientos anaeróbicos, etc., y químicos: coagulación y desinfección.
4. *Tratamiento terciario o avanzado*: son unidades operacionales y de procesos químicos y biológicos que remueven DBO, nutrientes, patógenos y parásitos, y, algunos, sustancias tóxicas.

5.11. Reúso de aguas residuales

En los países en vías de desarrollo y con escasos recursos hídricos, el reúso de desagües es una práctica común desde hace muchos años; generalmente, los desagües se han venido usando, y se siguen usando actualmente, en muchos casos crudos o con sistemas de tratamiento deficientes, incluso mezclados con aguas de río, especialmente en agricultura para el riego de cultivos de tallo corto, forrajeros, tubérculos, hortalizas, etc., muchos de ellos de consumo directo o con poca cocción, lo que ha originado que en diversos lugares haya enfermedades intestinales endémicas, principalmente salmonelosis y parasitosis (Lazcano, 2017).

5.11.1. Factores favorables para el reúso o reciclaje de aguas residuales (Lazcano, 2017)

1. Posibilidades de incrementar las fuentes primarias naturales de agua.
2. Prevención de una excesiva diversificación de usos alternativos del agua, incluyendo los ambientes naturales.
3. Posibilidades de manejar las fuentes de agua *in situ*.
4. Minimizar los costos de infraestructura, incluyendo costos de tratamiento y descarga.
5. Reducir drásticamente las descargas de efluentes, tratados o sin tratar, a las fuentes naturales de agua.

6. Posibilidades de alentar a las autoridades gubernamentales para mejorar las normas legales que permitan dar un mayor énfasis al reúso o reciclaje de las aguas residuales.

5.12. Aguas residuales, producto del beneficiado de café

5.12.1. Agua mieles

El agua utilizada para despulpar y lavar se convierte en residual (agua miel). Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia, originando así su capacidad contaminante. Su composición nos muestra materia orgánica, fósforo, nitrógeno, carbohidratos no fermentados, ácidos orgánicos, taninos, cafeína, ácido cafeico y ácido clorogénico; además de azúcares fácilmente biodegradables, el agua de despulpado tiene cierta concentración de polifenoles, que entre otros causan un color oscuro en las aguas (Sandoval, 2014).

En general, estos compuestos solo afectan la calidad del agua en el aspecto organoléptico (cambian color). En cuanto a este residuo, las aguas de lavado, o sea, las que arrastran la principal proporción de mucílago suelto o fermentado, son las más contaminantes (Sandoval, 2014).

5.12.2. Contaminación como resultado de las aguas mieles

La producción de “un buen café” tiene un costo social y ambiental (Montero y Sandí, 2009).

El procesamiento húmedo requiere de mucha agua, en un primer momento para lavar el café y posteriormente para lavarlo y mover la maquinaria, pues la fuerza animal se sustituyó paulatinamente (Montero y Sandí, 2009).

Las aguas mencionadas, son descargadas a cuerpos hídricos de donde se abastecen varias comunidades y ha llegado no solo a contaminarla, sino también a afectar la salud de los pobladores debido a su putrefacción. Además, despiden mal olor el cual

puede provocar una peste como resultado de la fetidez y los miasmas (Montero y Sandí, 2009).

Según Sandoval (2014), al descargar tanto la pulpa como las aguas residuales (aguas mieles) sobre cuerpos receptores de aguas superficiales se corre el riesgo de deteriorar este recurso y pueden afectar de la siguiente manera:

- Modifica drásticamente la acidez natural del agua bajando rápidamente hasta un pH de 3.3 a causa de los ácidos orgánicos que se producen durante la degradación de la materia orgánica.
- Se da un agotamiento del oxígeno disuelto en el agua a causa de la necesidad de abastecimiento por parte de los microorganismos encargados de la degradación de la alta cantidad de materia orgánica.
- Incremento de la turbidez en el agua a causa de los polifenoles presentes y de la gran cantidad de sólidos suspendidos.

5.13. Tratamiento de aguas residuales (aguas mieles)

En términos generales los beneficios húmedos tradicionales (no ecológicos) poseen cuatro operaciones básicas que pueden o no utilizar agua, según disponga el mismo productor o las condiciones del beneficio, las cuales se indican en el cuadro 1 (Sánchez *et al.* s.f.).

El objetivo del manual no es caracterizar los distintos tipos de beneficios húmedos que existen, sino, orientar hacia el manejo adecuado de las aguas residuales generadas en el procesamiento del café (Sánchez *et al.* s.f.).

Cuadro 1. Operaciones y recomendaciones generales del beneficio húmedo en el uso del agua.

Operación	Función	Recomendación
Recibo	Verificar la cantidad y calidad de café cereza que está ingresando al proceso	Lo ideal es que deposite el café en seco (sin agua). Para esto es importante recolectar café 100% maduro (rojo) lo cual también mejoraría su calidad. Si utiliza agua, debe clasificar el café por calidad (los granos flotan) entonces debe reutilizar el agua al menos dos días para la misma función antes de sustituirla
Despulpado	Eliminar la pulpa de grano	Si el café se recibe en seco, se podrá despulpar en seco también. Si utiliza agua para ayudar al despulpador, que sean en cantidades muy pequeñas, apenas para "ayudar" al grano
Fermentación	Separar el mucilago del café a través de la acción de las enzimas naturales durante el tiempo que los granos permanecen en tanques o recipientes	Deje el café en pilas de fermentación en seco permitiendo que la miel se evacue durante el proceso constantemente y de manera natural
Lavado y clasificación	Eliminar el mucilago digerido, es el único proceso donde es indispensable el uso de agua. Se realiza cuando el café ha alcanzado el punto de fermentación adecuado	Haga la primera lavada del café dentro de la pila de fermentación, evacuando las mieles hacia el tratamiento. La segunda lavada puede hacerla en el canal de clasificación. Trate de aprovechar la capacidad al máximo, depositando la mayor cantidad de café en el canal o caño que le permita aprovechar todo el volumen

Fuente: (Sánchez *et al.* s.f.)

Muchas veces se tiene la creencia que al revolver agua limpia con agua sucia se resolverá el problema de contaminación, es lo que llamamos dilución. Sin embargo, el resultado de esta combinación es una mayor cantidad de agua que continúa presentando niveles de contaminación. Por esta razón, es importante determinar las condiciones de las aguas después de ser utilizadas para evitar revolverlas.

Los productores pueden hacer su propio análisis a través de la observación, el olfato y el tacto, aunque es menos exacto, puede ser útil si se usa con criterio (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Características para el análisis cualitativo de las aguas residuales

Característica	Aguas que requieren ser tratadas	Aguas que no requieren ser tratadas
Color	Café claro-oscuro y/o amarillento	Gris muy claro o transparente
Olor	Dulce a miel	Ligero olor a descompuesto
Consistencia	Muchas partículas sólidos y espuma	Muy pocas partículas sólidas y sin espuma

Fuente: (Sánchez *et al.* s.f.)

5.13.1. Tratamiento primario o inicial de las aguas residuales

Según Sánchez *et al.* (s.f.), una vez que se miden los consumos de agua y se implementan acciones para reducirlos, se debe continuar con el siguiente paso: iniciar el tratamiento de las aguas residuales de café. En donde se logran dos objetivos: 1. Separar y eliminar las partículas sólidas del agua y 2. Eliminar la acidez de las aguas hasta valores neutros.

1. Separación y eliminación de sólidos

Las aguas residuales generadas en el beneficio traen impurezas que deben ser removidas y con ello se mejora el funcionamiento del tratamiento secundario (Sánchez *et al.* s.f.).

Normalmente a la salida del beneficio las aguas se depositan en pilas o pequeños tanques. Siendo el punto adecuado para hacer esta separación. Si el beneficio posee varias salidas, se deben canalizar todas las tuberías a un mismo punto, a menos que los flujos sean en unos casos de agua limpia, y otros con agua contaminada (Sánchez *et al.* s.f.).

Para separar los sólidos de una manera sencilla y económica se colocan filtros o tamices que son mallas metálicas con agujeros de un tamaño muy pequeño que permiten que el agua traspase y que las partículas de mayor tamaño queden atrapadas (Sánchez *et al.* s.f.).

2. Eliminar la acidez de las aguas residuales de café a valores neutros

Antes de ingresar las aguas al tratamiento secundario o final, se debe regular el pH. Es por ello que se deben almacenar todas las aguas contaminadas en un recipiente para realizar este procedimiento. Ya que, si no se regula, la acidez en las aguas residuales del café provoca, con el pasar de las horas, un color amarillento que produce malos olores (Sánchez *et al.* s.f.).

Para la neutralización se pueden usar diferentes químicos. En el cuadro 3 se muestra la información de los químicos usados en el ajuste de pH de las aguas residuales (aguas mieles); agregándose en el tanque de almacenamiento (Sánchez *et al.* s.f.).

Cuadro 3. Productos químicos para el control de pH

Nombre	Cantidad	Comentarios
Cal normal	Hay que agregar mucho para llegar a un pH de 7	Contiene muchos sólidos que producen sedimento y costras
Cal dolomita	1 libra por cada 2 m ³	Se ajusta hasta pH 6.5 (para subir más hay que agregar mucha más cantidad). Es más lenta que la CaOH, pero más estable. La mezcla se agrega con cuidado para evitar la introducción de los sólidos a las aguas
Cal hidratada	1-2 kg/m ³	Fácil de usar
Hidróxido de sodio / soda cáustica	Con Medición	Fácil de usar. La corrección es más estable con cal. Es más caro y su manejo requiere cuidados para la protección del usuario

Fuente: (Sánchez *et al.* s.f.)

5.13.2. Tratamiento secundario o final de las aguas residuales

Según Sánchez *et al.* (s.f.), se presentan cinco sistemas de tratamiento a pequeña escala que deben ser escogidos por los productores según las condiciones topográficas que posea el área posterior al beneficio en donde se instalarían los sistemas. Y son:

- Biodigestor tubular: bolsa de plástico resistente, donde se introduce estiércol de puerco o vacuno (bacterias), que limpia las aguas residuales de café y al mismo tiempo produce y almacena biogás.
- Mini reactor de cúpula: tanque plástico donde el agua residual pre tratada (sin sólidos y con pH 7) entra desde la parte superior hasta la parte inferior del tanque, atravesando de manera ascendente una cama de bacterias (estiércol) depositada en el fondo. El agua se evacua por un costado del tanque y el biogás sale por la parte de arriba.
- Humedal por biofiltración: son sistemas que usan plantas como parte activa del tratamiento. Las plantas crecen encima de un lecho largo y poco profundo (humedal artificial), relleno de grava y/o arena. Las aguas residuales ingresan en un extremo y percolan entre la grava y las raíces de las plantas, recolectándose al final del lecho.
- Escurrimiento superficial controlado: consiste en proporcionar humedad suficiente en un área sembrada con plantas para su crecimiento óptimo, las cuales absorben el agua y eliminan la contaminación por evaporación o transpiración en la vegetación.
- Laguna anaerobia: funcionan a base de la degradación aerobia y anaerobia, debe ser construidas con una profundidad no mayor a los 5 m para lograr la oxigenación aerobia completa en la parte superior y anaerobia en la inferior, la eficiencia del tratamiento principal determina el tamaño necesario de las lagunas y deben ser construidas con poca profundidad para lograr la oxigenación del volumen completo sin necesidad de aireación forzada.

5.13.3. Disposición final

Para los tres primeros sistemas y el último, indicados anteriormente; las aguas de salida posterior al tratamiento junto con las aguas “limpias” que no requieren ser tratadas, se pueden depositar en una fosa de infiltración, la cual muchos productores ya poseen (Sánchez *et al.* s.f.).

De igual manera, si por espacio físico, la fosa no es opción y existe una quebrada o río, las aguas pueden depositarse directamente, siempre y cuando se haya cumplido con todos los pasos indicados en pasos anteriores (Sánchez *et al.* s.f.).

Se puede también colocar en la fosa lirios acuáticos (*Eichhornia*) en una proporción no mayor al 20% de la fosa. El exceso de lirios debe removerse y puede usarse como alimento para ganado (Sánchez *et al.* s.f.).

Se ha comprobado que las aguas ya tratadas por los sistemas mencionados anteriormente, pueden utilizarse en el mismo cafetal como abono foliar en una concentración de 250 ml de aguas tratadas en 17 litros de agua (Sánchez *et al.* s.f.).

La pulpa con volteos con pala y agregándole la misma cal utilizada para el control del pH en las aguas, puede convertirse en un mejorador de suelos para el mismo cafetal o a su vez convertirse en abono orgánico con el uso de lombrices. Si la pulpa es transportada desde la salida del beneficio en seco, los lixiviados o jugos que esta produzca pueden enviarse a los sistemas de tratamiento inicial y secundario (Sánchez *et al.* s.f.).

5.13.4. Monitoreo y evaluación

Para tener un buen control del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles), se deben monitorear cierta información importante para conocer si e sistema funciona o no (Sánchez *et al.* s.f.).

La mejor manera es mediante registros ya que son instrumentos útiles que ayudarán a llevar un control documentado de los parámetros importantes de funcionamiento de cualquiera de los sistemas explicados (Sánchez *et al.* s.f.).

5.14. Subproductos del café

Los subproductos del beneficiado húmedo del café son: la pulpa, el mucílago y el pergamino (Sandoval, 2014).

5.14.1. Pulpa del café

La pulpa del café está compuesta por epicarpio y mesocarpio; representando el 40% del peso total del fruto y tiene una humedad del 85% (Sandoval, 2014).

5.14.2. El mucílago

El mucílago del café es constituido por el mesocarpio del fruto representando del 15 al 20% del fruto fresco; el pH del mucílago fresco varía entre 5, 5-6, y 2 teniendo un contenido de pectina variante entre 15.9% y 33%, además el mucílago se compone de otras sustancias relevantes (ver tabla 2) (Sandoval, 2014).

Tabla 2. Composición química del mucílago de café

Pectina 33%	Azúcar reducente 30%	Azúcar no reducente 20%	Celulosa- minerales 17%
-------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------

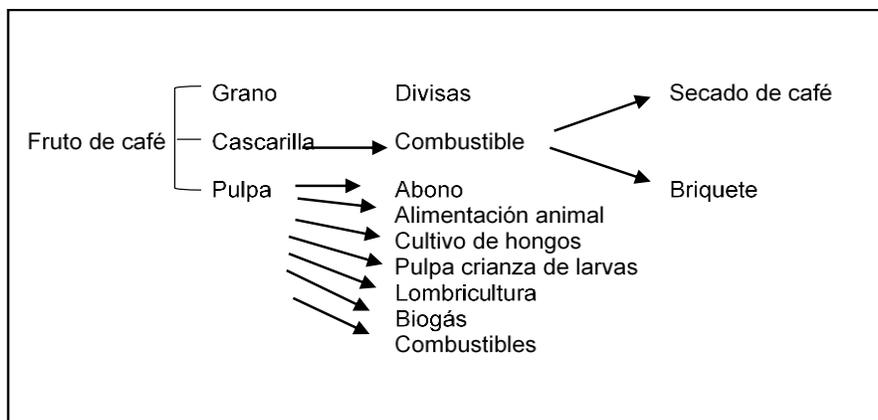
Fuente: Sandoval, 2014.

5.14.3. Cascarilla o cascabillo

Es importante en términos de las cantidades que se encuentran disponibles. Debido a su composición química, la cascarilla de café no ofrece tantas posibilidades de utilización como la pulpa de café. Su composición química indica que existen cantidades muy pequeñas de sustancias solubles en éter, que por ser tan pequeñas no son importantes económicamente. En nuestros días, la cascarilla se utiliza como combustible en el proceso de secado del fruto del cafeto (Braham y Bressani, 1978).

5.14.4. Manejo de los subproductos de café

Si los subproductos de café se manejan de la manera adecuada, puede ser una fuente de aprovechamiento (ver figura 1) (Sandoval, 2014).



Fuente: Sandoval, 2014.

Figura 1. Manejo de los subproductos de café

5.15. Impactos ambientales de las aguas residuales (aguas mieles)

Según Granados 2004, el impacto ambiental de la caficultura puede resumirse diciendo que:

- a. Reclama a la tierra cantidades excesivas de unos pocos nutrientes, que esta no es capaz de dar. Esto, sumado a los limitados aportes de humus que una vegetación escasa y unidimensional puede ofrecer, lleva a un empobrecimiento del suelo, e incita a un mayor uso de fertilizantes artificiales;
- b. Entraña una mayor aplicación de sustancias tóxicas para la lucha contra las plagas, que antes eran en gran medida controladas por la biodiversidad,
- c. Precisa de grandes inversiones en herbicidas químicos, para eliminar formas vegetales que rivalizan con la especie cultivada,
- d. Supone obras de infraestructura para informar las condiciones del cultivo (por ejemplo, drenar las tierras demasiado húmedas o irrigar las muy secas)
- e. Elimina el hábitat de centenares de especies, animales y vegetales, que se ven obligadas a migrar,
- f. Desprovee el suelo de una fracción cuantiosa de la capa vegetal, exponiéndolo a la erosión hídrica.

- g. Todo lo anterior que podríamos denominar *transformación in situ*, repercute en el ambiente externo: los ríos arrastrarán aguas cargadas de sedimentos e impurezas químicas y la depositarán aguas abajo, a la vez que verán reducida o suprimida la capacidad para sustentar vida en sus aguas; las especies desplazadas invadirán otros ambientes, planteándose problemas de competencia territorial y afectándose el dinamismo de poblaciones autóctonas.

Las investigaciones destinadas a medir el efecto real sobre el ambiente de las nuevas modalidades de cultivo de café son todavía pocas, y no se conocen intentos de estimar el resultado conjunto de las distintas causas individuales. No existen, por ejemplo, estudios de naturaleza regional, que indaguen, en contextos específicos, el daño total causado al ambiente por los diferentes procesos y agentes perturbándose. Varios de estos vectores, no obstante, han sido analizados separadamente y permiten dibujar un panorama de las complicaciones que la nueva caficultura ha engendrado (Granados 2004).

5.16. Monitoreo de aguas residuales

La teoría de la planificación del desarrollo define el seguimiento o monitoreo como un ejercicio destinado a identificar de manera sistemática la calidad del desempeño de un sistema, subsistema o proceso a efecto de introducir los ajustes o cambios pertinentes y oportunos para el logro de sus resultados y efectos en el entorno. Así, el monitoreo permite analizar el avance y proponer acciones a tomar para lograr los objetivos; identificar los éxitos o fracasos reales o potenciales lo antes posible y hacer ajustes oportunos a la ejecución (Rivera y Valle, s.f.).

5.16.1. Recipientes para el muestreo

Según Sandoval, 2014, para evitar cambios físicos y químicos de alguna de los componentes que se desea evaluar, es importante seguir las recomendaciones de la tabla 3, donde se indica el tipo de recipiente a utilizar para almacenar la muestra dependiendo del parámetro a ser evaluado:

Tabla 3. Tipo de recipiente en el muestreo y volumen requerido

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen
Turbidez	Plástico	100 ml
Conductividad	Plástico	200 ml
Temperatura	Plástico	100 ml
pH	Plástico	
Sólidos totales	Plástico	100 ml
Sólidos disueltos totales	Plástico	
Oxígeno Disuelto	Plástico o vidrio	300 ml
Fosfatos	Plástico o vidrio	100 ml
Nitratos	Plástico o vidrio	
DBO ₅	Plástico o vidrio	1000 ml
Coliformes totales	Plástico y bolsa de nylon estériles	100 ml
Coliformes fecales	Plástico y bolsa de nylon estériles	

Fuente: Sandoval, 2014.

5.16.2. Materiales necesarios para los muestreos o pruebas que se pueden realizar “in situ”

Según AGACE (s.f.):

- Guantes
- Materiales para identificación de la muestra; cinta adhesiva y rotulador permanente, previo a salir al campo se debe colocar la cinta adhesiva a cada uno de los recipientes de las muestras para el análisis físico-químico.
- Termómetro
- Recipientes plásticos (para parámetros físico-químicos)
- Recipientes de vidrio (análisis de grasas y aceites)
- Bolsa de basura; para depositar los desechos sólidos generados
- Conos Imhoff (para sólidos sedimentables)
- Recipiente para el examen bacteriológico, el cual se solicita al laboratorio, pues tiene que estar esterilizado para garantizar el resultado de dicho análisis.

Según Sandoval (2014):

- Hielera grande (45 litros) y hielera pequeña (5 a 10 litros); se debe preparar una hielera grande para las muestras físico-químico y una hielera pequeña para las muestras microbiológicas.
- Piseta y agua destilada; se utilizará para lavar instrumentos de campo.
- Papel absorbente; se debe llevar suficiente para la limpieza del equipo de campo, de acuerdo al número de muestreos al día.
- Boleta de campo; se debe preparar una boleta de campo con la información requerida por el laboratorio y para las anotaciones de los análisis in situ.

5.16.3. Puntos de muestreo para descargas de aguas residuales

Es el punto que se encuentra antes de que la descarga ingrese a un curso de agua o cuerpo receptor (una corriente natural o un río). Puede ser que este punto sea de difícil acceso o poco seguro; de ser así, la muestra debe ser recolectada en el primer punto accesible que se localice aguas abajo del vertido de la planta de tratamiento (AGACE, s.f.).

5.16.4. Técnicas de muestreo

Según Reutelshöfer y Guzmán (2015):

- a. Muestra simple:** es solo una muestra tomada en un instante. Ya que se toma con un recipiente el agua de la tubería o de una caída. En sus desventajas indica la composición del agua en el momento en que fue tomada, además los errores durante el muestreo no son relativos.
- b. Muestra compuesta:** es un término genérico que se le otorga a la mezcla de un número de muestras simples, tomadas durante un cierto período de tiempo. Se utiliza para conocer las condiciones promedio del agua, con el fin de controlar la eficiencia de una PTAR.
- c. Muestra cualificada:** (es un tipo de muestra compuesta) consiste en 5 muestras simples mezcladas y tomadas por lo menos en 8 minutos; así cada muestra se toma en un intervalo de por lo menos 2 minutos.

5.16.5. Preservación y manejo de la muestra de agua

Después de tomadas las muestras, estas deben ser colocadas de inmediato en una hielera para preservarlas a 4 °C, separando las muestras para el análisis microbiológico en una hielera diferente. Es importante evitar daños en los recipientes durante el muestreo y traslado al laboratorio especialmente los recipientes de vidrio (Sandoval, 2014).

5.17. Reglamento en Guatemala de descargas y reúso de aguas residuales

Según el Congreso de la República de Guatemala (2006) en el reglamento de descarga de aguas residuales y disposición de lodos Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el capítulo 10 en el artículo 55, se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado. En el artículo 56, se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático. En el artículo 57, se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contempla en el presente Reglamento se puede alcanzar diluyendo. Cabe mencionar de igual manera lo que indica el artículo 58, en donde prohíbe el reúso de aguas residuales en los siguientes casos:

- En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre.
- En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de aves acuáticas.
- En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad, la salud y seguridad humana.
- Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Localización del área de estudio

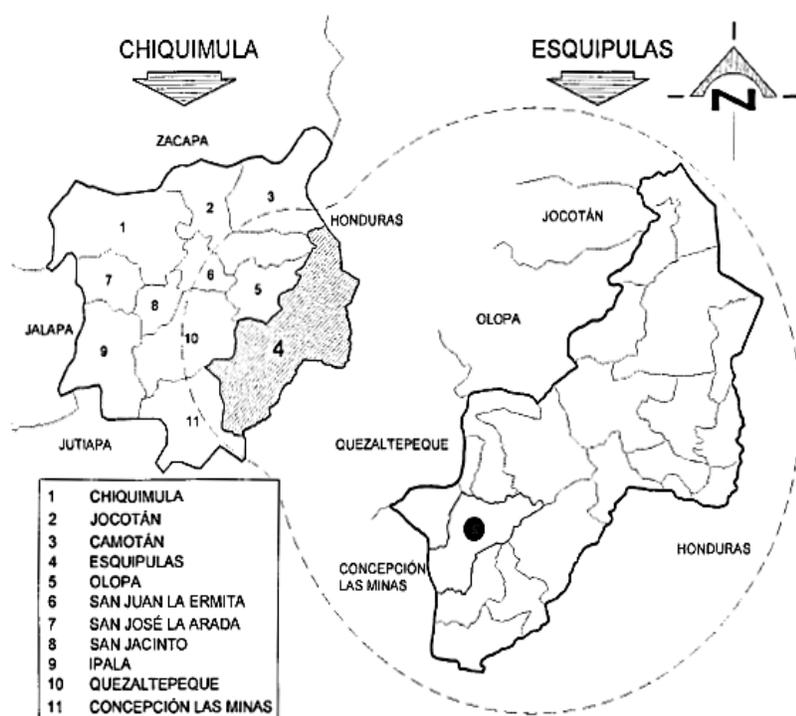
Para desarrollar la investigación se definió como área de estudio el municipio de Esquipulas, considerando que es uno de los principales productores de café en la región y en la última época se han instalado centrales de beneficiado de café con el objetivo de procesar en estas centrales el café que se produce en el municipio y en áreas cercanas al mismo.

El Municipio de Esquipulas está situado en la parte sur-oriental del departamento de Chiquimula, República de Guatemala, Centro América, en el área del Trifinio de las líneas divisorias entre las repúblicas de El Salvador, Honduras y Guatemala, a una altitud que oscila entre los 600 metros SNM y 2,500 metros en las montañas más altas; este (UTMX): 246609.9 y norte (UTMY): 1611337.7 (Guevara, 2005).

Colinda al norte con los Municipios de Olopa, Jocotán y Camotán del departamento de Chiquimula. Al Sur con municipio de Metapán, El Salvador. Al oriente con los departamentos de Copan y Ocotepeque, Honduras y al poniente con el municipio de Concepción las Minas y parte de Quezaltepeque del departamento de Chiquimula, Guatemala (Guevara, 2005).

El municipio cuenta con una extensión territorial de 532km² (Guevara, 2005).

Municipio de Esquipulas - Chiquimula
Localización del Municipio
Año: 2011



Fuente: Hernández 2012.

Figura 2. Localización del municipio Esquipulas – Chiquimula

Así mismo, se identificaron dos beneficios que actualmente operan como centrales de beneficiado; siendo el beneficio “La Planta” y el beneficio “La Misericordia”.

6.1.1. Beneficio húmedo “La Planta”

El beneficio se encuentra ubicado en la aldea Santa Rosalía, del municipio de Esquipulas. Su principal vía de acceso es por la carretera a BENCOR por la ruta nacional CA-10 Km. 224.700.

Este beneficio cuenta con un sistema básico para el tratamiento de las aguas residuales (aguas mieles), el cual consiste en un equipo para la separación de sólidos, una batería de tanques de concreto y una laguna para sedimentación.

El beneficio procesa aproximadamente 125,00 quintales (qq) de café maduro por temporada.

6.1.2. Beneficio húmedo “La Misericordia”

El beneficio “La Misericordia” es propiedad de la Cooperativa Integral Agrícola Adelante Chanmagua. CADECH R.L. Está ubicado en la aldea Chanmagua del municipio de Esquipulas.

La principal vía de acceso a la aldea Chanmagua, es por medio de una carretera asfaltada que conduce de la ciudad de Esquipulas a la aldea Cafetales (Ruta Nacional 18 RN-18), a una distancia de 22 Km.

El beneficio está ubicado próximo al río Chanmagua, el cual le surte de agua para el proceso de beneficiado.

El beneficio procesa aproximadamente 193,000 quintales (qq) de café maduro por temporada.

6.2. Clima

Esquipulas tiene un clima muy variable, cálido templado seco, su temperatura promedio es de 25 grados centígrados, bajando hasta 10 grados centígrados ocasionalmente. Con un invierno benigno, especialmente el de las estribaciones de sus montañas, las de La Granadilla que favorecen al clima de la ciudad, también las de Miramundo y San Isidro por el lado de la zona de Chanmagua. Los meses más calientes son marzo y abril y los más fríos diciembre y enero. La época de lluvia es de mayo a octubre, habiendo semanas de chubascos en noviembre, diciembre y enero, que se conoce como lluvias temporales (Sandoval, 2014).

La precipitación para el municipio de Esquipulas tomando un promedio de 10 años según la estación climatológica de Esquipulas tipo A es de 1718.55 mm al año y La velocidad del viento en promedio es de 6.8 Km/h con dirección dominante Noreste (Sandoval, 2014).

6.3. Zonas de vida

En Esquipulas se identifica tres de las cinco zonas de vida reportadas en el departamento de Chiquimula (Sandoval, 2014).

Tabla 4. Zonas de vida en el municipio de Esquipulas

Zona de vida	Área (km2)	% área que cubre al depto.
Bosque húmedo Subtropical templado (bh-St)	452.932	18.90%
Bosque muy húmedo Subtropical frío	67.088	2.80%
Bosque húmedo muy húmedo montano bajo	11.98	0.50%

Fuente: Sandoval, 2014

6.4. Recursos naturales

El territorio de Esquipulas se constituye en 70% por montañas, el resto corresponde a lomeríos y un valle donde se ubica la cabecera municipal, en el cual predominan las pendientes (Hernández, 2012).

6.4.1. Flora

Esquipulas se caracteriza por sus bosques de pino oocarpa, especie que predomina en las áreas nororiente y norponiente del municipio. En el área sur existe pino, pero en menor cantidad. También existen bosques de liquidámbar, roble, encino y muchas especies de árboles como palo blanco, palo negro, madre (Sandoval, 2014).

6.4.2. Fauna

Son muchas las especies de animales mamíferos silvestres, propias de esta zona, sin embargo, por el aumento de la población, la caza indiscriminada y expansión de la frontera agrícola, se han ido ahuyentando e incluso desapareciendo algunas, tal es el caso de los felinos y especies como el venado. Aun así, se cuenta todavía con

especies como el zorrillo, mapaches, armadillos, conejos, cotuzas, coyotes, gato de monte, comadreas, nutrias, tepezcuintes, entre otras (Sandoval, 2014).

6.5. Principales ríos del municipio

Las aguas están distribuidas en dos grandes corrientes. La primera nace en las montañas de Santa María Olopa y cruza el valle de Olopita, la segunda en Atulapa y se dirige hacia el sur. A continuación, se muestran los principales ríos del municipio (Hernández, 2012):

- Olopita
- Atulapa
- Zepoctún
- Chantigo
- Chacalapa
- Nejapa
- San Juan
- Blanco
- Chanmagua
- Mapa
- Playón
- Panela
- Jupilingo
- Valle de Dolores

Las principales quebradas del Municipio son: las Cañas, el Arenal, el Amatillo, Blanca, Blanca II, de la Brea, la Calera y la Cocha (Hernández, 2012).

6.6. Importancia de la cuenca alta del Río Lempa

El Río Lempa con vertiente al Océano Pacífico es el más largo de Centroamérica, su cuenca abarca tres países: Guatemala, Honduras y El Salvador. Nace entre las montañas volcánicas de las mesetas centrales de la región a una elevación aproximada de mil 500 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el Departamento de Chiquimula en Guatemala, ingresando a El Salvador al noreste del Departamento de Chalatenango y desemboca en la planicie costera del Océano Pacífico, entre los Departamentos de San Vicente y Usulután. La elevación máxima es de 2 mil 805 msnm en las montañas de Honduras (Hernández, 2005).

La cuenca trinacional del Río Lempa posee un área total de 17 mil 790 km² de los cuales, 10 mil 082 km² corresponden a El Salvador, 5 mil 251 km² a Honduras y 2 mil 457 km² a Guatemala. La longitud del cauce principal es de 422 Km de los cuales 360.2Km. Corren dentro de territorio salvadoreño (Hernández, 2005).

6.7. Estudios relacionados con el tema de investigación

6.7.1. Determinación de la contaminación provocada por los subproductos del café (aguas mieles y pulpa) en la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa.

En el año 2016, se realizó una investigación con el fin de determinar la contaminación de la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, generada por los subproductos del café y a su vez, proponer lineamientos para el manejo adecuado del recurso hídrico en la microcuenca. Los resultados definieron que dentro de la microcuenca existen 84 beneficios de café, de los cuales 28 están en operación y 6 tienen sistemas de tratamiento de aguas mieles. Se muestra que en la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), el 100% de los puntos de control, presentan valores superiores al límite máximo permisible. De igual manera, en la demanda química de oxígeno (DQO), se muestra que el 95% de los puntos de control presentan por encima de 40mg/l de DQO. Y en lo que son los parámetros físicos-químicos los únicos que se encuentran dentro de

los límites máximos permisibles establecidos son pH, nitratos, turbidez, temperatura, dureza, sólidos disueltos y conductividad.

6.7.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas mieles a partir de las características físicas, químicas y microbiológicas en el beneficio húmedo de la finca el Cascajal.

En el año 2014, se llevó a cabo una evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas mieles en el beneficio húmedo de la finca El Cascajal con el fin de proponer alternativas que permitan realizar una mejor gestión de manejo. En donde se muestra que las aguas generadas en el proceso de beneficiado húmedo de café poseen alto contenido de materia orgánica lo cual provoca que los niveles de oxígeno presenten valores de 0.37 mg/l, los sólidos totales 8701.67 mg/l, la turbidez 908.33 NTU y el pH valores de 4.3 unidades. Y que el agua tratada tiene potencial de uso agrícola para riego por la alta concentración de nitratos (NO₃) y fosfatos (PO₄), así mismo, los lodos obtenidos de las pilas de sedimentación y los reactores pueden ser utilizados para la elaboración de abono orgánico.

6.7.3. Evaluación de la eficacia del tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café, localizado en San Juan La Laguna, Sololá.

En el año 2012, se realizó una investigación en donde su objetivo era determinar la eficacia del esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) de un beneficio húmedo de café que se encuentra en la cuenca del lago de Atitlán. Se describieron los parámetros físico-químicos a través de las unidades del sistema de tratamiento, la eficacia global del mismo y de las unidades individuales. Teniendo como resultado que los parámetros de operación en el sistema de tratamiento de aguas mieles, fueron ineficaces durante el período de la investigación, según los resultados de las eficacias calculadas. Así como también se conoció que la eficacia en reducción de concentración de parámetros físico-químicos fue mayor para el proceso estacionario, con tiempo de retención de una semana en el sedimentador. En este punto se obtuvieron eficacias de reducción de nitrógeno de 4% y 84% en procesos continuo y estacionario, respectivamente.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. Área de estudio

El área de estudio está definida dentro de los dos beneficios de café ubicados en el municipio de Esquipulas: beneficio “La Planta” y beneficio “La Misericordia”; y específicamente dentro del área de estos beneficios el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) de cada uno.

7.1.1. Beneficio “La Planta”

El beneficio “La Planta” cuenta con un beneficio húmedo de café, el cual utiliza agua para el proceso de beneficiado; de acuerdo a información proporcionada por el propietario, se procesan 120,000 quintales (qq) de café maduro por temporada. Posee un sistema para el manejo de las aguas residuales (aguas mieles) donde se utiliza aproximadamente 2, 250,000 m³ de agua por temporada.

El sistema utilizado para el manejo de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio se presenta en la figura 3.

7.1.2. Beneficio “La Misericordia”

El beneficio “La Misericordia” cuenta con un beneficio húmedo de café, el cual utiliza agua para el proceso de beneficiado; de acuerdo a información proporcionada por la Cooperativa Agrícola Adelante Chanmagua CADECH, R.L., se procesan 193,000qq de café maduro por temporada. Posee un sistema para el manejo de las aguas residuales (aguas mieles) donde se utiliza aproximadamente 3, 474,000 m³ de agua por temporada.

El sistema utilizado para el manejo de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio se presenta en la figura 4.

Con base al diseño de cada uno de los dos sistemas de tratamiento, se ubicaron los puntos de monitoreo sobre el flujo del proceso utilizado para el tratamiento de las aguas residuales (aguas mieles), enfatizando en los puntos donde la calidad del agua sufre un cambio como resultado del tratamiento.

En el beneficio húmedo “La Planta”, se ubicaron un total de 6 puntos de monitoreo en todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales (aguas mieles). Los puntos de muestreo, se presentan en el cuadro 4 y la figura 3. Y en el beneficio húmedo “La Misericordia”, se ubicaron un total de 8 puntos de monitoreo en todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales (aguas mieles). Los puntos de muestreo, se presentan en el cuadro 5 y la figura 4.

7.2. Técnicas para la recolección de la muestra de agua

En cada punto de muestreo se recolectaron muestras de agua considerando el siguiente criterio: para agua natural, se recolectaron dos muestras, una de un volumen de 1 L. para realizar análisis fisicoquímico y una de un volumen de 120 cc para el análisis microbiológico; para el caso de las aguas servidas en los diferentes puntos, se recolectaron una sola muestra de un volumen de 3.75 L (1 galón).

Para la recolección de las muestras de agua se utilizaron botellas plásticas, las cuales fueron previamente lavadas para evitar cualquier contaminación de las muestras, posteriormente se identificaron de acuerdo a la identificación de cada punto para proceder a tomar la muestra asegurándose que el recipiente quedara completamente lleno para evitar el movimiento del agua dentro del mismo.

Las muestras de agua se almacenaron en hieleras a una temperatura de aproximadamente 4°C para su transporte al laboratorio, se utilizaron hieleras separadas para las muestras fisicoquímicas y microbiológicas.

Para evitar riesgos a la salud, al momento del muestreo se utilizaron guantes para reducir el riesgo de contacto directo con las aguas residuales.

7.3. Análisis de la calidad del agua

El análisis de la calidad del agua se realizó en el laboratorio ambiental de la carrera de Gestión Ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI, de acuerdo a la metodología utilizada por el laboratorio para cada parámetro estudiado, la cual está basada en el “Standar Methods of the Examination of Water and Wastewater” (Método estándar para examinar agua).

7.4. Parámetros a evaluar para determinar la calidad del agua de fuentes naturales

Los parámetros analizados para determinar la calidad del agua natural, son los siguientes:

Parámetros físicos

1. Turbidez
2. Temperatura (°C)

Parámetros químicos

3. pH
4. Oxígeno disuelto
5. Porcentaje de saturación de oxígeno
6. Nitritos
7. Nitratos
8. Fosfatos
9. Sulfatos
10. Dureza
11. Sólidos disueltos totales
12. Sólidos totales

Parámetros microbiológicos

13. Coliformes totales

14. Coliformes fecales
15. *Escherichia coli*

7.4.1. Parámetros a evaluar para determinar la calidad del agua residual (aguas mieles)

Los parámetros analizados para determinar la calidad del agua residual (aguas mieles), son los siguientes:

Parámetros físicos

1. Turbidez
2. Temperatura (°C)

Parámetros químicos (agregar números)

3. pH
4. Oxígeno disuelto
5. Porcentaje de saturación de oxígeno
6. Nitritos
7. Nitratos
8. Fosfatos
9. Sulfatos
10. Dureza
11. Sólidos disueltos totales
12. Sólidos totales
13. Sólidos sedimentables
14. Demanda Química de Oxígeno
15. Demanda Biológica de Oxígeno

Parámetro microbiológico

16. Coliformes totales
17. Coliformes fecales

18. *Escherichia coli*

7.5. Período de monitoreo

El estudio se llevó a cabo en dos fases, la primera fase, correspondió a una primera serie de monitoreos que se realizó en los meses de marzo y abril del 2018, en esta primera fase se realizaron tres monitoreos con intervalo de 15 días. La segunda fase, correspondió a la serie de monitoreos que se realizó en el mes de octubre y noviembre de 2018, de igual manera, en esta fase se llevó a cabo en tres monitoreos en intervalos de 15 días.

7.6 Análisis de la información

Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio se utilizaron para determinar la calidad del agua en los diferentes puntos de monitoreo que corresponde a las distintas fases de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles), realizando inicialmente una comparación en los niveles de los diferentes parámetros en cada monitoreo para observar si existió algún cambio positivo o negativo en la calidad del agua en cada punto y comparando los resultados con lo establecido en el reglamento de “manejo de aguas residuales y disposición de lodos”.

En el caso de las muestras de agua natural, los resultados obtenidos se relacionaron con los establecidos en la norma COGUANOR para poder determinar la calidad del agua.

También a los datos obtenidos, se le realizó la prueba estadística de T de Student con el propósito de interpretar los valores en cada uno de los parámetros y medir la calidad del agua y el comportamiento de esta en las distintas fases de tratamiento para observar si existen cambios.

La información analizada se presentó de forma descriptiva en tablas y de forma gráfica para su mejor comprensión y análisis, utilizando para ello, programas informáticos de Word y Excel.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Ubicación de los puntos de muestreo en los beneficios evaluados.

Los puntos de muestreo se ubicaron de forma estratégica en los beneficios de café “La Planta” y “La Misericordia”, donde se consideró que existe un cambio físico tanto en la calidad de las aguas naturales antes del proceso del beneficiado húmedo, como en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles).

8.1.1 Beneficio “La Planta”.

Para realizar el estudio se establecieron puntos de muestreo en el beneficio “La Planta”, donde para poder determinar la calidad del agua utilizada para el proceso de beneficiado de café se establecieron dos puntos siendo el (P01) que corresponde al río Atulapa de donde se obtiene el agua para el proceso y el (P02) que corresponde al tanque de almacenamiento del agua utilizada para el beneficiado de café; también se establecieron cinco puntos de monitoreo en el sistema de tratamiento de agua residuales (agua mieles) de beneficio con el propósito de caracterizar la calidad del agua residual y evaluar la eficiencia en sistema de tratamiento de aguas mieles PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles).

En el cuadro 4, se muestra la ubicación de cada punto de muestreo en el beneficio “La Planta”, donde se establecieron un total de 7 puntos; los puntos en el sistema de tratamiento de agua residuales (aguas mieles) se ubicaron con base el diseño del mismo y con base las distintas fases del sistema con objeto de contar una presentación de calidad del agua en cada etapa del proceso de tratamiento.

**Cuadro 4. Ubicación de los puntos de muestreo en el beneficio húmedo de café
“La Planta”.**

Beneficio "La Planta"	
Punto de muestreo	Descripción
P 01	Río Atulapa
P 02	Tanque de almacenamiento de agua natural
PST 01	Tanque de recirculación de aguas mieles
PST 02	Pila de sedimentación de aguas mieles
PST 03	Tanque de almacenamiento de aguas mieles
PST 04	Canal de lavado con aguas mieles
PST 05	Fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles

El río Atulapa abastece de agua al beneficio “La Planta”, esta es almacenada en el tanque de almacenamiento. Posteriormente, es conducida al proceso de beneficiado, convirtiéndose en aguas residuales (aguas mieles) en el tanque de recirculación, se reutilizan de 4 a 5 veces y se almacenan en el mismo tanque. Luego se desechan en un tanque en donde se aplica hidróxido de calcio (cal), con el fin de regular su pH. Dicha agua es transportada por un tubo que es el lugar donde fue tomada la muestra del punto PST02, que cae a la pila de sedimentación en donde se almacenan estas aguas, refiriéndose al tanque del punto PST03. El canal de lavado, es el agua utilizada para expulsar todo el café después de lavado en las pilas del beneficio; las cuales se unen en la fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles junto con las que salen del sistema de tratamiento (ver figura 3).

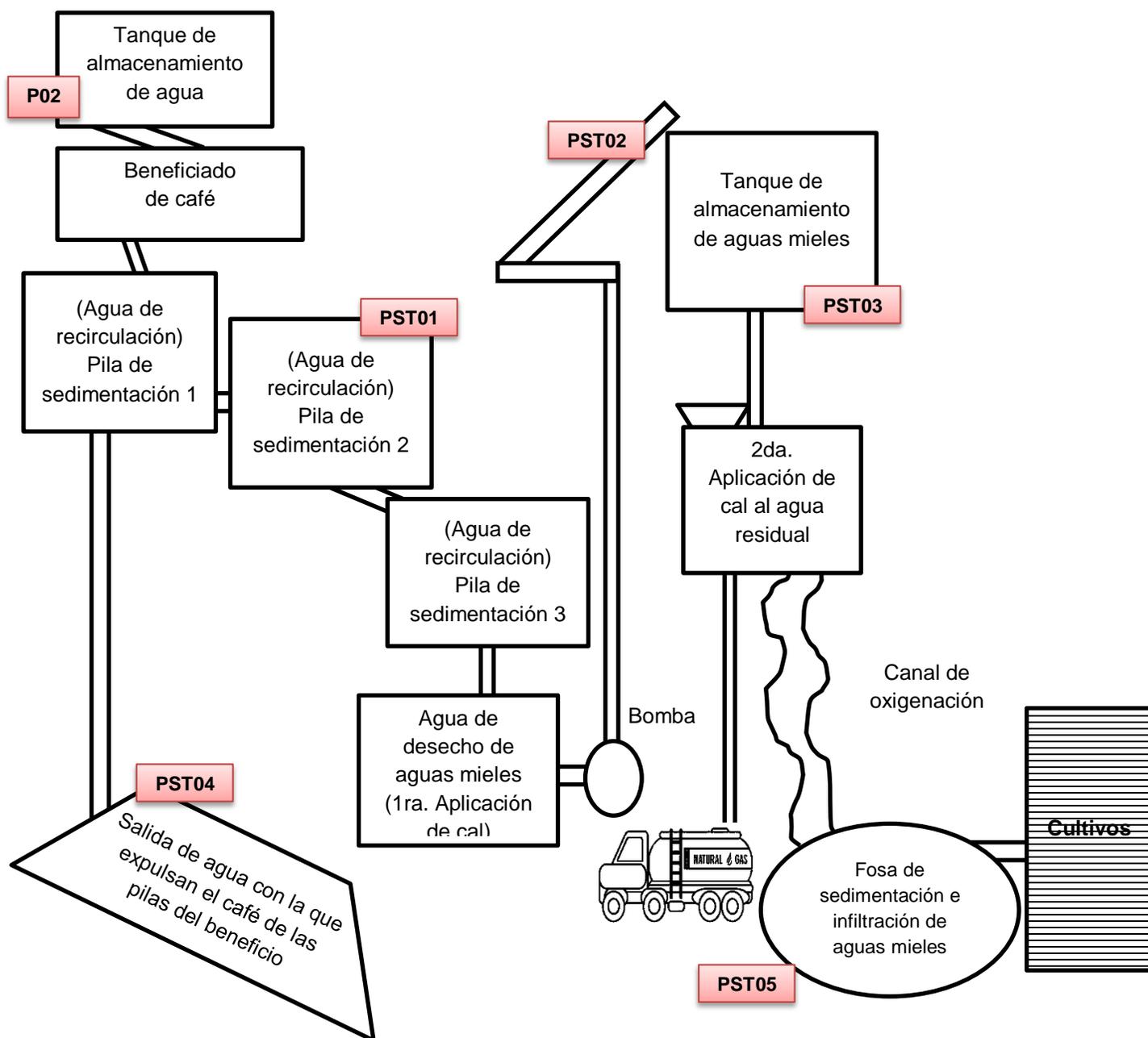


Figura 3. Croquis del sistema del manejo de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio húmedo de café de “La Planta” con la ubicación de puntos de monitoreo.

8.1.1 Beneficio “La Misericordia”.

Se establecieron seis puntos de muestreo en el beneficio “La Misericordia” para determinar la calidad del agua utilizada en el proceso de beneficiado de café, se estableció un punto (P01) en el río Chanmagua, de donde se obtiene el agua para el proceso de beneficiado, otro punto (P02) en el tanque de almacenamiento del agua utilizada para el beneficiado de café; también se establecieron seis puntos de monitoreo en el sistema de tratamiento de agua residuales (agua mieles) de beneficio en propósito de caracterizar la calidad del agua residual y evaluar la eficiencia en sistema de tratamiento de aguas miles PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles).

En el cuadro 5, se muestra la ubicación de cada punto de muestreo en el beneficio “La Misericordia”, donde se establecieron un total de 8 puntos; los puntos en el sistema de tratamiento de agua residuales (aguas miles) se ubicaron con base el diseño del mismo y con base las distintas fases del sistema con objeto de contar una presentación de calidad del agua en cada etapa del proceso de tratamiento.

Cuadro 5. Ubicación de los puntos de muestreo en el beneficio húmedo de café “La Misericordia”.

Beneficio "La Misericordia"	
Punto de muestreo	Descripción
P 01	Río Chanmagua
P 02	Tanque de almacenamiento de agua natural
PST 01	Tanque de agua de recirculación de guas mieles
PST 02	Tanque de aguas mieles de desecho
PST 03	Pila 1 de sedimentación de aguas mieles
PST 04	Pila 3 de sedimentación de aguas mieles
PST 05	Pila 6 de sedimentación de aguas mieles
PST 06	Fosa de sedimentación e infiltración de agua mieles

El río Chamagua abastece de agua al beneficio “La Misericordia”, esta es almacenada en el tanque de almacenamiento. Posteriormente, es conducida al proceso de beneficiado, convirtiéndose en aguas residuales (aguas mieles) en el tanque de recirculación, se reutilizan de 4 a 5 veces y se almacenan en el mismo tanque. Luego se desechan en un tanque en donde se aplica hidróxido de calcio (cal) con el fin de regular su pH que pertenece al punto (PST02). Posteriormente, pasa por una criba separadora de aguas y sólidos y son conducidas a las 6 pilas de sedimentación en donde se van almacenando estas aguas, tomando la primera pila como punto (PST03), la tercera pila como punto (PST04) y la última pila como punto (PST05), dichas aguas a través de una bomba caen en la fosa de sedimentación e infiltración de aguas residuales (aguas mieles) (ver figura 4).

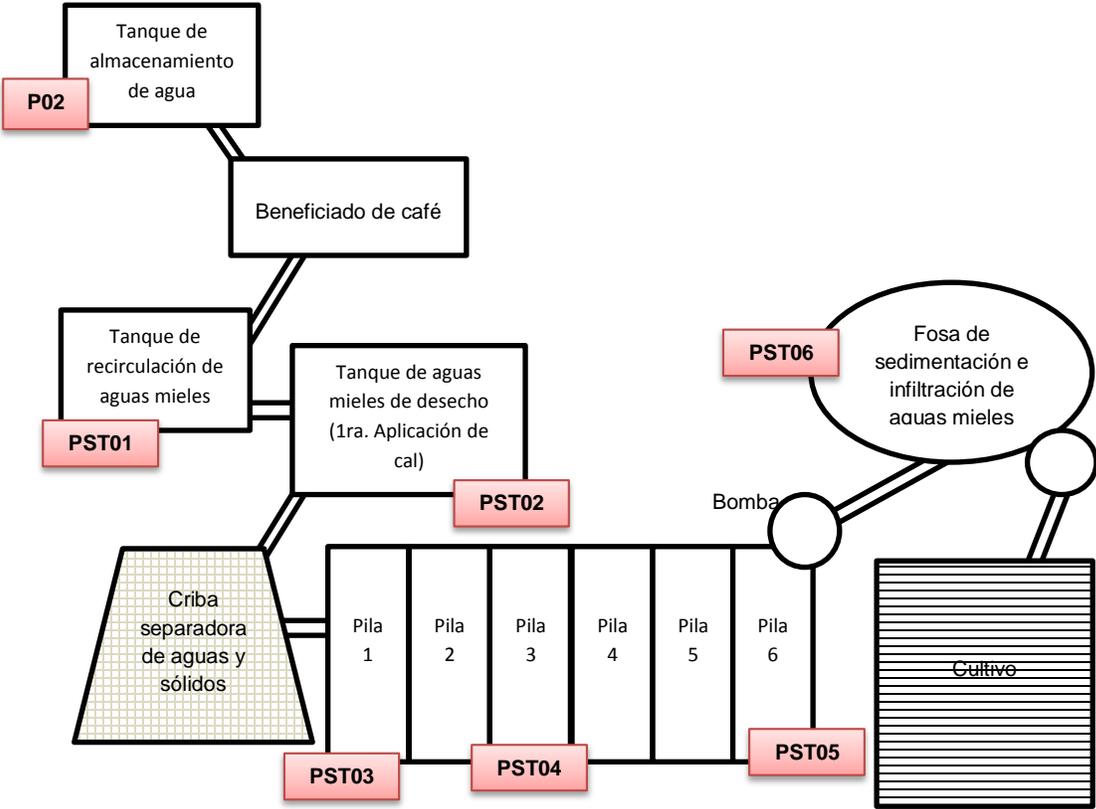


Figura 4. Croquis del sistema del manejo de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio húmedo de café de “La Misericordia” con la ubicación de puntos de monitoreo.

8.2 Caracterización de la calidad del agua utilizada en el proceso de beneficiado de café en el beneficio “La Planta” y “La Misericordia”.

Como se indicó anteriormente, para conocer la calidad del agua que se utiliza en el proceso de beneficiado de café, se establecieron dos puntos de muestreo para cada beneficio, realizando dos monitoreos en cada uno de los puntos al inicio de la investigación.

En la tabla 5, se muestran los niveles promedio de los dos monitoreos realizados para cada punto de muestreo en los beneficios bajo estudio, donde se analizaron 20 parámetros con el propósito de conocer la calidad del agua que se utiliza en el proceso de beneficiado de café.

Tabla 5. Caracterización físico-química y microbiológicamente del agua natural en el beneficio húmedo de café “La Planta” y el beneficio húmedo de café “La Misericordia”.

Parámetros		Beneficio "La Planta"		Beneficio "La Misericordia"		Límite Máximo Permissible (Norma COGUANOR)
		P 01	P 02	P 01	P 02	
		Río Atulapa	Tanque de almacenamiento de agua natural	Río Chanmagua	Tanque de almacenamiento de agua natural	
Potencial de Hidrógeno	Unidades	6.66	7.06	7.33	7.91	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	22.8	23.27	24.35	23.05	34
Oxígeno Disuelto	mg/l	7.76	7.59	7.95	7.51	N/A
Oxígeno Disuelto	%SAT	112.7	103.58	112.45	85.57	N/A
Conductividad	µS/cm	148.9	465.87	280.5	288.33	< 1500
Turbidez	NTU	1	17.49	7	18.7	15
Sólidos Totales	mg/l	148	1513.33	510	12688	N/A
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	73.6	241.22	140.65	149.3	1000
Sólidos Suspendidos	mg/l	24	1616.67	120	193.33	N/A
Sólidos Sedimentables	mg/l	0	0	0	0.2	N/A
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	4.2	16.8	1.74	4.04	N/A
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	73	326.33	77	154.5	N/A
Dureza	mg/l	35	61	145	149	500.000
Nitratos (NO ₃)	mg/l	0.6	13.44	0.35	0.65	10
Nitritos (NO ₂)	mg/l	0	0.01	0.07	0.05	1
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	0.12	4.14	1.4	3.7	N/A
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	70.73	3.14	51.83	201.51	250.000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	210	1265.5	1201.5	1277.67	N/A
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	150	1228.5	2400	1630.67	N/A
Escherichia Coli	NMP/100 ml	460	1024.33	1305	1388.17	N/A

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que el potencial de hidrógeno presenta valores dentro del límite máximo permisible -LMP- según la norma COGUANOR; con respecto a la temperatura esta se encuentra dentro los límites establecidos en dicha norma; la

conductividad del agua en ambos beneficios, es menor de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo tanto, este se encuentra dentro de dicho rango adecuado. La turbidez del agua en el río, es inferior a los límites establecidos en la normativa, pero se pudo determinar que ésta aumenta en los tanques de almacenamiento de los dos beneficios con valores superiores a 15 NTU, probablemente porque en los tanques existen sedimentos que aumentan la turbidez del agua.

Respecto a los nitratos, únicamente en el tanque de almacenamiento del beneficio “La Planta” se encontró concentraciones superiores a 10 m/l (13.44 mg/l) el cual está sobre lo establecido por la norma COGUANOR.

Es importante indicar que el agua presenta altas concentraciones de bacterias coliformes totales, fecales y E. Coli, tanto en agua de los ríos como en el tanque de almacenamiento, esto es un indicador de la contaminación del agua por fuentes antrópicas.

8.3 Caracterización de la calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas mieles de los beneficios bajo estudio.

Para caracterizar la calidad del agua en los dos sistemas de tratamiento de agua residuales (agua mieles), se establecieron puntos de muestreo en el sistema, considerando las diferentes etapas del proceso de tratamiento de cada beneficio, por lo que el número de puntos de muestreo difiere en los dos beneficios. Se realizaron seis monitoreos en cada punto en los meses de noviembre - diciembre del año 2017, y en marzo – abril del año 2018, los resultados se pueden observar del anexo 7 al 33.

8.3.1 Caracterización de la calidad del agua en sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”.

Para caracterizar la calidad del agua en el sistema de tratamiento de agua residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta”, se establecieron cinco puntos de muestreo que corresponde a cada una de las etapas identificadas del proceso de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del sistema; para lo cual se realizaron seis monitoreos

en cada punto, determinando 20 parámetros a nivel del laboratorio. Los análisis fueron realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI.

En la tabla 6, se presentan los niveles promedio de los 20 parámetros analizados para determinar la calidad del agua en las diferentes etapas del sistema de tratamiento de agua residuales (aguas mieles) que corresponden a los puntos de muestreo del punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST05 (fosa de sedimentación de aguas mieles).

Tabla 6. Calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta”.

Beneficio "La Planta"						
Parámetros		Puntos de Muestreo (valores promedio)				
		PST01	PST02	PST03	PST04	PST05
Potencial de Hidrógeno	Unidades	3.82	4.38	4.39	4.51	4.41
Temperatura	°C	22.45	21.92	22.6	22.8	22.57
Oxígeno Disuelto	mg/l	0.19	0.14	0.16	1.58	0.26
Oxígeno Disuelto	% SAT	2.73	1.82	2.63	4.84	3.63
Conductividad	µS/cm	1087.33	1398.5	2124.33	191.3	1234.25
Turbidez	NTU	1818.33	2633.33	2441.67	224.67	746.67
Sólidos Totales	mg/l	40920	67490	105020	246560	30260
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	572.5	1088	885.66	98.14	690.38
Sólidos Suspendidos	mg/l	3180	16506.67	24453.33	4160	1913.33
Sólidos Sedimentables	mg/l	205.83	532.5	693.33	50.18	45.35
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	1922	1944.5	1760.75	966	1360.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	12415	16501.67	15323.33	8632	11853.33
Dureza	mg/l	550	926	1970	440	655
Nitratos (NO ₃)	mg/l	51.23	58.04	28.31	14.14	20.53
Nitritos (NO ₂)	mg/l	0.93	0.97	1.39	0.23	0.46
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	35.47	42.85	96.67	22.72	45.2
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	512.61	458.39	617.17	151.33	408.33
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1295.5	1320	1277.67	1202.33	960.5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1247.67	1247.67	2400	2000	670.33
Escherichia Coli	NMP/100 ml	567.67	887.67	1284.33	1225.5	418.17

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que el pH, sufre un ligero incremento en el sistema de tratamiento del punto PST01 al punto PST05, esto es un cambio positivo que sufre el agua ya que, en el punto de inicio del sistema, el agua residual tiene un pH bajo por las acciones realizadas en el sistema de tratamiento, pero este se incrementa, sin embargo, este aumento está por debajo de la neutralidad del agua. Otro de los parámetros que es importante resaltar es el oxígeno disuelto, que no sufre ningún cambio significativo en el sistema de tratamiento donde muestra el agua que es

producto de contaminación que tiene bajos niveles de oxígeno y se mantiene de esta forma en los diferentes puntos del sistema. La demanda biológica de oxígeno, alcanzó su nivel más alto en el punto PST02 (pila de sedimentación de agua mieles) luego en los siguientes puntos de monitoreo en el sistema, esta disminuye a 1360.5 mg/l, e indica que el agua residual reduce el nivel de la demanda biológica de oxígeno; lo mismo sucede con la demanda química de oxígeno que registra el nivel más alto en el punto PST02 y se reduce a 11,853.33 mg/l en el punto PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles).

La turbidez se ve afectada por el agotamiento de oxígeno que se da durante el tratamiento que recibe el agua residual (agua miel). Dicho parámetro inicia con 1818.33 NTU, pero durante el proceso se logra una disminución, llegando a la fosa de sedimentación e infiltración con un valor de 746.67 NTU.

Los nitratos (NO_3) muestran una reducción en los niveles de 50.23 mg/l en el punto PST01 a 20.53mg/l en el punto PST05, así mismo los nitritos (NO_2) también tienen una reducción de 0.93 mg/l a 0.46 mg/l en los mismo puntos; por el contrario los fosfatos (PO_4) muestran un incremento de 35.47 mg/l a 45.2 mg/l, este aumento probablemente se debe al proceso de descomposición de la materia orgánica.

Así mismo, los resultados muestran la presencia de bacterias Coliformes totales, fecales y E. Coli por contaminación bacteriana; en el caso de los coliformes totales, no indican exactamente que sea contaminación de origen fecal, dado a que se encuentran en el ambiente como organismos libres. Lo contrario con los coliformes fecales, quienes sí representan contaminación fecal y de bacterias patógenas; y las bacterias E. coli, presentando niveles altos de colonias altamente nocivas.

El tratamiento que presentan las aguas residuales (aguas mieles) es bajo, lo cual afecta el proceso biológico de depuración que pudiese existir por la cantidad de sales existentes. Dicho beneficio presenta aguas turbias incidiendo en la penetración de la luz, por la cantidad de materias en suspensión, partículas visibles y coloidales que están incorporados en el agua y que, en su mayoría, están conformados por materia orgánica.

Los sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables presentaron un comportamiento no homogéneo, ya que aumentan y disminuyen, asociando tal situación a que exista una falla en alguno de estos puntos, porque al final del proceso los 4 parámetros se reducen en la fosa de sedimentación e infiltración.

Como resultado de la cantidad de sedimentos presentes, se observa la existencia de lodos que se dan por los mismos al depositarse al fondo de los tanques; así como también la presencia de sulfatos presentando un valor al final del tratamiento de 408.33 mg/l que se dan de manera orgánica e inorgánica, incidiendo en el incremento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas.

8.3.2 Caracterización de la calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas mieles del beneficio “La Misericordia”.

Para caracterizar la calidad del agua en el sistema de tratamiento de agua residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia”, se establecieron seis puntos de muestreo que corresponde a cada una de las etapas identificadas en el proceso de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del sistema; para lo cual se realizaron seis monitoreos en cada punto, determinando 20 parámetros a nivel del laboratorio. Los análisis fueron realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-.

En la tabla 7, se presentan los niveles promedio en los 20 parámetros analizados para determinar la calidad del agua en las diferentes etapas del sistema, correspondiente a los puntos de muestreo del PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles).

Tabla 7. Calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia”.

Beneficio "La Misericordia"							
Parámetros		Puntos de Muestreo (valores promedio)					
		PST01	PST02	PST03	PST04	PST05	PST06
Potencial de Hidrógeno	Unidades	4.41	5.12	4.3	4.42	4.25	4.54
Temperatura	°C	22.78	22.87	22.92	22.77	22.87	22.02
Oxígeno Disuelto	mg/l	0.21	0.32	0.07	0.13	0.19	0.14
Oxígeno Disuelto	% SAT	2.86	4.75	1.01	1.78	2.42	2.17
Conductividad	µS/cm	562.38	822.78	629.5	823.67	1197	1542.2
Turbidez	NTU	1736.67	411.67	4056.67	2361.67	5818.6	2312
Sólidos Totales	mg/l	78940	25766.67	113333.3	65333.3	102780	70088
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	854.52	439.05	1264.03	834.97	1044.7	687.2
Sólidos Suspendidos	mg/l	4906.67	7286.67	7393.33	3313.3	8653.3	2640
Sólidos Sedimentables	mg/l	262.83	7.18	416.68	129.6	331.97	41.8
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	1581.75	1441.5	1939.75	1982	1977.25	2006.4
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	12443.3	17116.6	18540	15510	17126.7	21902
Dureza	mg/l	880	530	1020	1380	1500	1100
Nitratos (NO ₃)	mg/l	30.96	9.88	29.76	14.73	16.38	18.72
Nitritos (NO ₂)	mg/l	3.04	1.57	4.87	2.78	4.54	1.98
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	56.08	13.24	112.84	93.55	92.62	76.13
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	784.17	325.5	900.11	882.78	1116.4	869.9
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1244.33	1242.83	1063.83	1280.5	1283.83	1071
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2035	1784.83	1783.83	2003.83	1244.5	627.67
Escherichia Coli	NMP/100 ml	1244	2183.33	63	10	42.5	42

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que los niveles de pH no sufren un cambio significativo, dado que inician en el proceso con 4.41 unidades y finaliza con 4.54 unidades, así mismo la temperatura y el oxígeno disuelto, tampoco sufren cambios significativos en el proceso de tratamiento; la conductividad en el primer punto del sistema de tratamiento es de 562.38 mg/l, luego tiene un comportamiento aleatorio para luego sufrir un cambio drástico elevándose a 1542.2 mg/l en el último punto del sistema al PST06 que corresponde a la fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles.

La presencia de materia orgánica, tiene incidencia en el agotamiento de oxígeno por la alta demanda que existe para biodegradar dichas sustancias que a su vez influye en la turbidez incidiendo en la penetración de la luz por las partículas en suspensión visibles y coloidales del agua, dicho parámetro presentó valores de 1736.67 NTU en el inicio del tratamiento, el segundo punto de monitoreo disminuye a 411.67 NTU y luego aumenta, este comportamiento se da al concentrarse el agua en este punto donde aumenta la contaminación, pero que al final del proceso la turbidez disminuye, pero los niveles permanecen altos.

Los sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables disminuyen del punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST06 (fosa de almacenamiento); la alta concentración de sólidos no permite que la luz se introduzca en las aguas residuales (aguas mieles), lo que detiene el proceso natural de depuración.

Los resultados muestran que la demanda biológica de oxígeno en el punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) es de 1581.75 mg/l y en el punto PST06 (fosa de almacenamiento) se incrementa a 2006.4 mg/l, lo mismo sucede con el demanda química de oxígeno la cual, al inicio del sistema de tratamiento presenta niveles de 12443.3 mg/l y el punto final del sistema tiene niveles de 21902.0 mg/l, estos resultados indican que el proceso no contribuye a reducir los niveles de la demanda biológica y química de oxígeno.

Los niveles de nitratos y nitritos disminuyen del punto inicial en el sistema de tratamiento al final del mismo; los valores para el caso de los nitratos, descienden de 80.96 mg/l a 18.72 mg/l y los nitritos, de 3.04 mg/l a 1.98 mg/l. Sucede lo contrario con los niveles de fosfatos, los cuales aumentaron del tanque de recirculación de aguas mieles (PST01) a la fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles (PST06), iniciando con 56.08 mg/l e incrementándose a 76.13 mg/l, probablemente por el proceso de descomposición de la materia orgánica.

La concentración de bacterias Coliformes totales, fecales y E. Coli, registró una disminución en su concentración del PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles), los niveles para las bacterias Coliformes fecales disminuyeron de 2035 NMP/100 ml a 627.67 NMP/100 ml, quienes si representan contaminación fecal y de bacterias patógenas. Y para las bacterias E. coli, presentaron niveles bajos de colonias altamente nocivas.

8.4 Eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles)

Para determinar la eficiencia de los dos sistemas de tratamiento de aguas mieles, correspondiente al beneficio “La Planta” y al beneficio “La Misericordia”, se analizó la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno en cada uno de los puntos de monitoreo que se establecieron en los sistemas de tratamiento. Para el caso del sistema de tratamiento del beneficio “La Planta”, con 5 puntos de muestreo PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles), y para el beneficio “La Misericordia”, con 6 puntos de muestreo PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al PST06 (tanque de recirculación de aguas mieles), con base al diseño de cada sistema.

8.4.1 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”.

En la tabla 8, se presentan los niveles promedio de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, en los seis monitoreos para cada uno de los puntos de muestreo del sistema de tratamiento del beneficio “La Planta”.

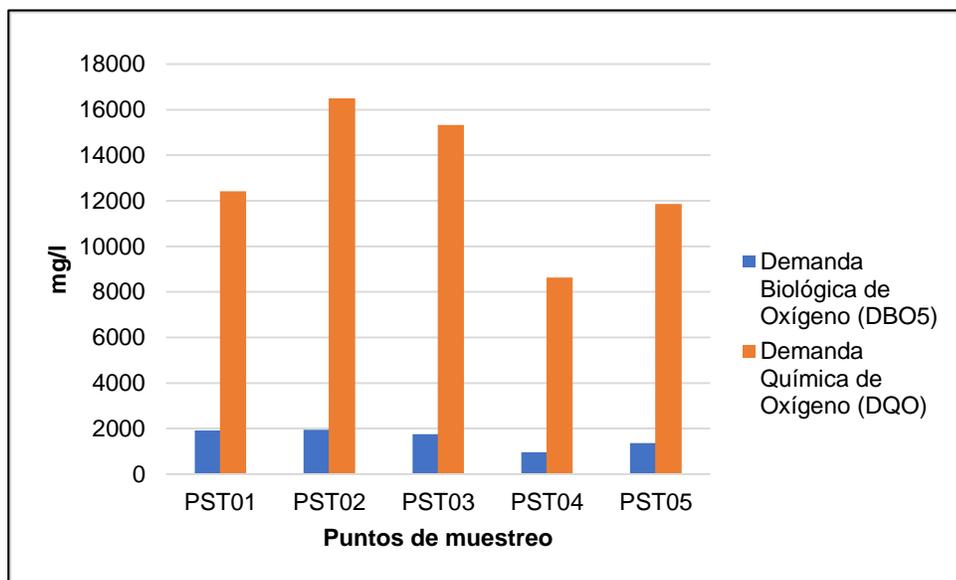
Tabla 8. Niveles de la Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”.

Beneficio "La Planta"						
Parámetros		Puntos de Muestreo (valores promedio)				
		PST01	PST02	PST03	PST04	PST05
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	1922	1944.5	1760.75	966	1360.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	12415	16501.7	15323.3	8632	11853.3

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que en el punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) la demanda biológica de oxígeno inicia con una concentración de 1922 mg/l, luego esta se incrementa levemente a 1944.5 mg/l, para luego disminuir en los puntos

PST03 y PST04, para finalizar con una concentración de 1360.5 mg/l en el punto PST05 (fosa de sedimentación de infiltración de aguas mieles). Es importante indicar que el punto PST04 (canal de lavado de aguas mieles) muestra un nivel bajo de la DBO₅ debido a que, en este punto, el agua que se utiliza es natural (sin contaminación por aguas residuales) y su uso es únicamente para expulsar el café lavado de las pilas del proceso de beneficiado; sin embargo, se consideró este punto debido a que es vertida en la fosa de sedimentación e infiltración. Comparando la concentración de la demanda biológica de oxígeno al inicio del sistema de tratamiento y la final, se puede concluir que esta disminuye en un 29.22%. La demanda química de oxígeno inicial con una concentración de 12415 mg/l en el punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) pero luego incrementa la concentración en el punto PST02 (pila de sedimentación de aguas miles) y PST03 (tanque de almacenamiento de aguas mieles), luego disminuye en el PST04 (canal de lavado con aguas mieles) y al final del proceso la concentración de la demanda química de oxígeno tiene 11853.3 mg/l, al comparar la concentración de la demanda química de oxígeno del punto de inicio del sistema de tratamiento con el punto final, esta se reduce en un 4.5%.



Fuente: elaboración propia, 2019.

Gráfica 1. Demanda Biológica De Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO promedio en cada punto de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas mieles en el beneficio “La Planta”.

En la gráfica 1, se presentan los niveles de la demanda biológica y química de oxígeno en cada punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta”, donde se observa que el punto PST04 (canal de lavado de aguas mieles), se reduce a una menor concentración en el sistema debido a que el agua en este punto se utiliza únicamente para expulsar el café lavado en el proceso. En el punto PST03 (tanque de almacenamiento de aguas mieles) y el punto PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles) los niveles de demanda biológica de oxígeno se reducen en comparación con el punto inicial.

En la tabla 9, se presenta los resultados de la eficiencia de la remoción de la demanda biológica y química de oxígeno, para el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta”, donde se puede observar que no hay remoción de la demanda biológica de oxígeno del punto PST01 al punto PST02; del Punto PST02 al punto PST03, existe una remoción de la demanda biológica de oxígeno de 9.45% y de la demanda química de oxígeno de 7.14%; del punto PST03 al punto PST05, una remoción de demanda biológica de oxígeno de 22.73% y de demanda química de oxígeno de 22.65%.

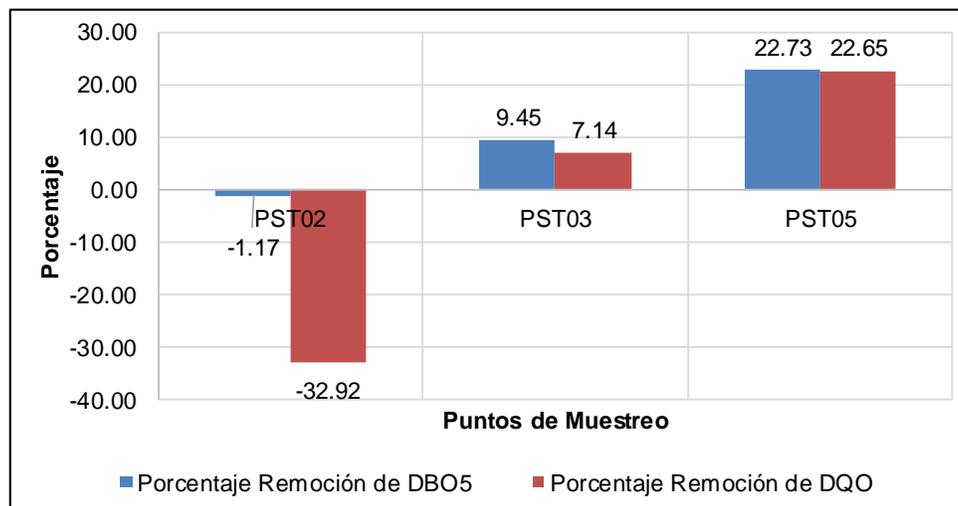
En este análisis, no se presenta la remoción en el punto PST04, porque se indicó anteriormente, que se utiliza el agua natural para extraer el café lavado y no corresponde al flujo de agua continuo del tratamiento, sin embargo, el agua utilizada se vierte a la fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles.

Tabla 9. Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO por el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”.

Beneficio "La Planta"				
Punto Monitoreo	DBO ₅ mg/l (promedio)	Porcentaje de remoción DBO ₅	DQO mg/l (Promedio)	Porcentaje Remoción de DQO
PST01	1922.00	—	12415.00	—
PST02	1944.50	-1.17	16501.67	-32.92
PST03	1760.75	9.45	15323.33	7.14
PST05	1360.50	22.73	11853.33	22.65

Fuente: elaboración propia, 2019.

En la siguiente gráfica se presenta la remoción de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, en tres puntos de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles).



Fuente: elaboración propia, 2019.

Gráfica 2. Remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio “La Planta”.

La remoción de la demanda biológica de oxígeno en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles), es de 22.73% y para la demanda química de oxígeno es de 22.65%.

En la tabla 10, se presenta la remoción de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno del punto inicial del sistema de tratamiento PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) con el punto final del sistema correspondiente PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles), estos resultados muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta” tiene la capacidad de remover el 29.1% de demanda biológica de oxígeno y el 4.52% de la demanda química de oxígeno.

Tabla 10. Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y la Demanda Química De Oxígeno DQO comparando el primer y último punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Planta”.

Beneficio "La Planta"				
Punto Monitoreo	DBO ₅ mg/l (promedio)	Porcentaje de remoción DBO ₅	DQO mg/l (Promedio)	Porcentaje Remoción de DQO
PST01	1922.00	–	12415.00	–
PST05	1360.50	29.21	11853.33	4.52

Fuente: elaboración propia, 2019.

8.4.2 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”

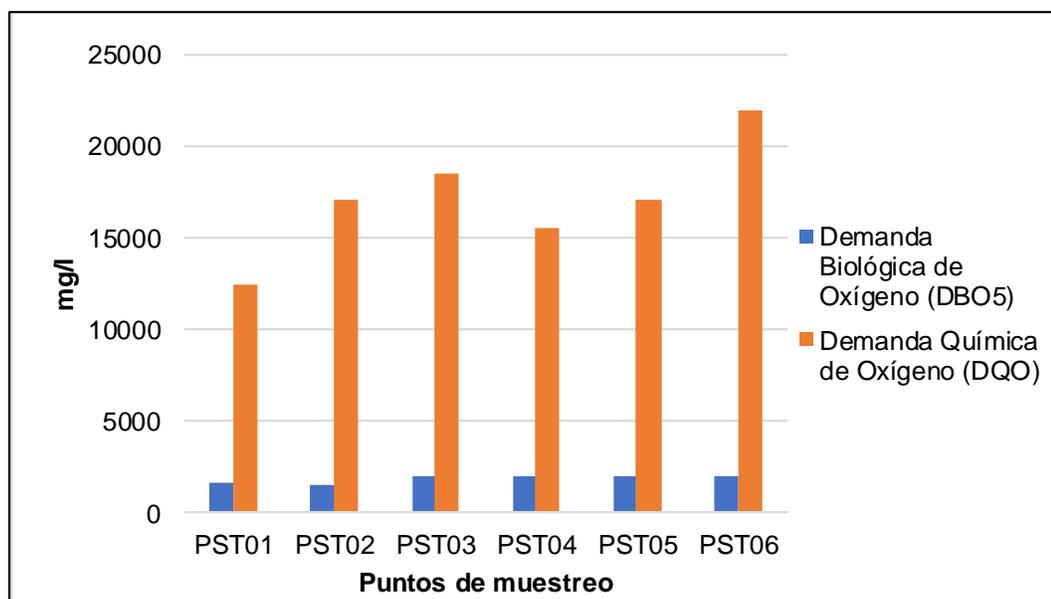
En la tabla 11, se presentan los niveles promedio de la demanda biológica y la demanda química de oxígeno, en los seis monitoreos para cada uno de los seis puntos de muestreo del sistema de tratamiento del beneficio “La Misericordia”.

Tabla 11. Niveles de la Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”.

Beneficio "La Misericordia"							
Parámetros		Puntos de Muestreo (valores promedio)					
		PST01	PST02	PST03	PST04	PST05	PST06
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	1581.8	1441.5	1939.75	1982	1977.3	2006.4
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	12443.3	17116.7	18540	15510	17126.7	21902

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que en el punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) la demanda biológica de oxígeno inicia con una concentración de 1581.8 mg/l, luego esta se reduce a 1441.5 mg/l para luego aumentar en los puntos PST03 y PST04, reducirse levemente en el punto PST05 y finalizar con una concentración de 2006.4 mg/l en el punto PST06 (fosa de sedimentación de infiltración de aguas mieles). Comparando la concentración de la demanda biológica de oxígeno al inicio del sistema de tratamiento y la final, se puede concluir que esta aumenta de 1581.8 mg/l a 2006.4 mg/l, que corresponde al 26.22%. La demanda química de oxígeno inicia con una concentración de 12443.3 mg/l en el punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) pero luego incrementa la concentración en el punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) y PST03 (pila 1 de sedimentación de aguas mieles), luego disminuye en el PST04 (pila 3 de sedimentación de aguas mieles), posteriormente en el punto PST05 (pila 6 de sedimentación de aguas mieles) esta se incrementa a 17126.7 mg/l y al final del proceso la concentración tiene 21902 mg/l; al comparar la concentración de la demanda química de oxígeno del punto de inicio de la sistema de tratamiento con el punto final, esta incrementa en un 76.01%.



Fuente: elaboración propia, 2019.

Gráfica 3. Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO promedio en cada punto de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas mieles en el beneficio “La Misericordia”.

En la gráfica 3, se presentan los niveles de la demanda biológica de oxígeno y de la demanda química de oxígeno en cada punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia”, donde se observa que ambos parámetros incrementan sus niveles con forme el agua circula en el sistema de tratamiento del punto inicial PST01 al punto final PST06.

En la tabla 12, se presentan los resultados de la eficiencia de la remoción de la demanda biológica de oxígeno y de la demanda química de oxígeno, para el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia”, donde observa que hay remoción de la demanda biológica de oxígeno del punto PST01 al punto PST02; del punto PST02 al punto PST03, no existe remoción por el contrario, esta se incrementa; esto mismo sucede en el punto PST03 al punto PST04; del punto PST04 al punto PST05 existe una remoción del 0.2% y del punto PST05 al punto PST06 no se encontró remoción, sino que incrementa un 1.5%. Para la demanda química de oxígeno no se observó remoción en el punto PST01 al PST02 y al PST03;

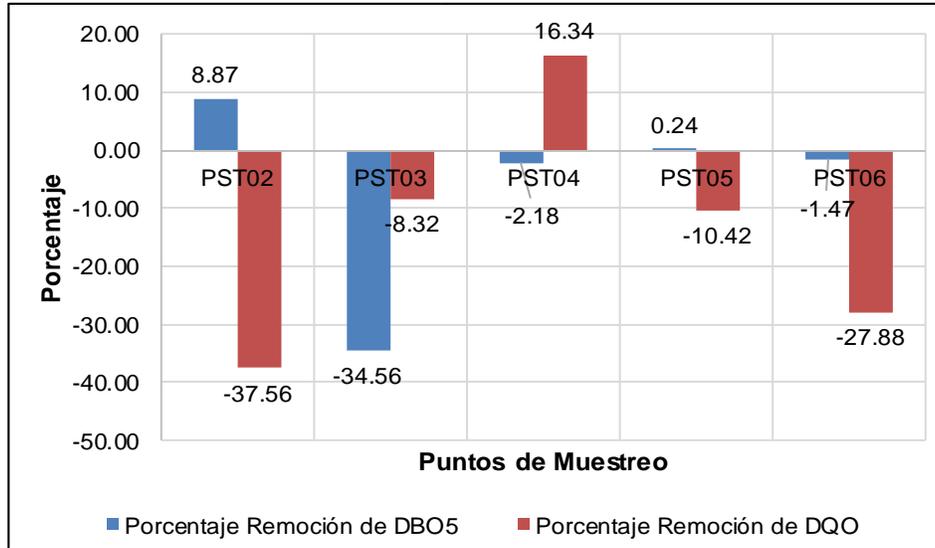
del punto PST03 al punto PST04, sí existe remoción de un 16.3%; sin embargo, luego del punto PST04 al punto PST05, no existe remoción, así como del punto PST05 al punto PST06, con estos resultados se puede concluir que en el sistema no se remueve la demanda química de oxígeno en el proceso.

Tabla 12. Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO por el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”.

Beneficio "La Misericordia"				
Punto Monitoreo	DBO ₅ mg/l (Promedio)	Porcentaje Remoción de DBO ₅	DQO mg/l (Promedio)	Porcentaje Remoción de DQO
PST1	1581.75	_	12443.33	_
PST2	1441.5	8.87	17116.67	-37.56
PST3	1939.75	-34.56	18540	-8.32
PST4	1982	-2.18	15510	16.34
PST5	1977.25	0.24	17126.67	-10.42
PST6	2006.4	-1.47	21902	-27.88

Fuente: elaboración propia, 2019.

En la gráfica siguiente se presenta la remoción de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, en los seis puntos de monitoreo del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles).



Fuente: elaboración propia, 2019.

Gráfica 4. Remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y Demanda Química de Oxígeno DQO del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio “La Misericordia”.

La remoción de la demanda biológica de oxígeno en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) es de -1.47% por lo tanto esta se incrementa, es decir, que no existe remoción en este parámetro y para la demanda química de oxígeno es de -27.88% donde se puede concluir que sufre un incremento.

La tabla 13, presenta la remoción de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno del punto inicial del sistema de tratamiento PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) con el punto final del sistema correspondiente al PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles), los resultados muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia” no tiene la capacidad de remover la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno ya que ambas, aumentan.

Tabla 13. Eficiencia de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ y la Demanda Química De Oxígeno DQO comparando el primer y último punto de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio “La Misericordia”.

Beneficio "La Misericordia"				
Punto Monitoreo	DBO ₅ mg/l (promedio)	Porcentaje de remoción DBO ₅	DQO mg/l (promedio)	Porcentaje remoción de DQO
PST01	1581.75	–	12443.33	–
PST06	2006.4	-26.85	21902	-76.01

Fuente: elaboración propia, 2019.

8.4.3 Análisis estadístico de los principales parámetros de la calidad del agua residual en los beneficios bajo estudio.

Para realizar el análisis estadístico se consideraron únicamente los parámetros como el potencial de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅), de los cinco puntos de muestreo ubicados en el sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en el beneficio “La Planta”, y los seis puntos de muestreo ubicados en el sistema de tratamiento de aguas residuales (agua mieles) en el beneficio “La Misericordia”. Donde se compararon los resultados de los parámetros indicados en cada punto de monitoreo con el objetivo de identificar si existe cambio positivo en los mismos con forme el agua circula en el sistema de tratamiento para determinar en qué medida el sistema contribuye a reducir la contaminación del agua que es utilizada en el proceso de beneficiado de café en los beneficios bajo estudio e inferir en su eficiencia.

En la tabla 14, se presenta el análisis estadístico utilizando la prueba de T Student para los parámetros pH, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno en el beneficio “La Planta” y “La Misericordia”.

Tabla 14. Análisis estadístico de los principales parámetros de la calidad del agua para cada punto de monitoreo en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los beneficios bajo estudio, utilizando la prueba de T Student.

Beneficio "La Planta"																	
Punto Muestreo (a)	Punto Muestreo (b)	pH				Oxígeno Disuelto				Demanda Química de Oxígeno (DQO)				Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)			
		Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.
PST01	PST02	3.82	4.38	0.0622	NS	0.19	0.14	0.025	*	12415	16502	0.1671	NS	1922	1945	0.2727	NS
PST01	PST03	3.82	4.39	0.4897	NS	0.19	0.16	0.4914	NS	12415	15323	0.2184	NS	1922	1761	0.5104	NS
PST01	PST04	3.81	4.51	0.0811	NS	0.17	1.58	0.2973	NS	13480	8632	0.2442	NS	1888	966	0.0352	*
PST01	PST05	3.82	4.41	0.0099	*	0.19	0.26	0.6125	NS	12415	11853	0.8947	NS	1922	1361	0.166	NS
PST02	PST03	4.38	4.39	0.9965	NS	0.14	0.16	0.6475	NS	16502	15323	0.5911	NS	1945	1761	0.4439	NS
PST02	PST04	4.21	4.51	0.473	NS	0.1	1.58	0.282	NS	15876	8632	0.1263	NS	1908	966	0.0386	*
PST02	PST05	4.38	4.41	0.9412	NS	0.14	0.26	0.3686	NS	16502	11853	0.1407	NS	1945	1361	0.1515	NS
PST03	PST04	4.11	4.51	0.7105	NS	0.14	1.58	0.2905	NS	15482	8632	0.0313	*	1693	966	0.1681	NS
PST03	PST05	4.39	4.41	0.977	NS	0.16	0.26	0.2901	NS	15323	11853	0.4348	NS	1761	1361	0.4472	NS
PST03	PST05	4.51	4.41	0.8148	NS	1.58	0.27	0.3467	NS	8632	10398	0.7321	NS	966	1249	0.6885	NS
Beneficio "La Misericordia"																	
Punto Muestreo (a)	Punto Muestreo (b)	pH				Oxígeno Disuelto				Demanda Química de Oxígeno (DQO)				Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)			
		Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.
PST01	PST02	4.41	5.12	0.1425	NS	0.21	0.32	0.1307	NS	12443	17117	0.5799	NS	1582	1442	0.679	NS
PST01	PST03	4.41	4.3	0.6058	NS	0.21	0.07	0.0066	NS	124433	18540	0.3297	NS	1582	1940	0.2231	NS
PST01	PST04	4.41	4.42	0.9426	NS	0.21	0.13	0.1909	NS	12443	15510	0.5014	NS	1582	1982	0.165	NS
PST01	PST05	4.41	4.25	0.7451	NS	0.21	0.19	0.8016	NS	12443	17127	0.0914	NS	1582	1977	0.194	NS
PST01	PST06	4.39	4.54	0.4065	NS	0.22	0.14	0.0848	NS	14546	21902	0.119	NS	1649	2006	0.3119	NS
PST02	PST03	5.12	4.3	0.0527	NS	0.32	0.07	0.0077	*	17117	18540	0.9139	NS	1442	1940	0.0679	NS
PST02	PST04	5.12	4.42	0.0718	NS	0.32	0.13	0.0389	NS	17117	15510	0.8957	NS	1442	1982	0.0558	**
PST02	PST05	5.12	4.25	0.0723	NS	0.32	0.19	0.1945	NS	17117	17127	0.9991	NS	1442	1977	0.0521	**
PST02	PST06	5.17	4.54	0.1877	NS	0.35	0.14	0.0056	*	19820	21902	0.8701	NS	1514	2006	0.1174	NS
PST03	PST04	4.3	4.42	0.1452	NS	0.07	0.13	0.0954	NS	18540	15510	0.8701	NS	1940	1982	0.133	NS
PST03	PST05	4.3	4.25	0.854	NS	0.07	0.19	0.1641	NS	18540	17127	0.769	NS	1940	1977	0.0563	**
PST03	PST06	4.26	4.54	0.0951	NS	0.07	0.14	0.0805	NS	19974	21902	0.6153	NS	1941	2006	0.0095	*
PST04	PST05	4.42	4.25	0.5571	NS	0.19	0.19	0.4552	NS	15510	17127	0.5996	NS	1982	1977	0.9024	NS
PST04	PST06	4.37	4.54	0.13	NS	0.11	0.14	0.6135	NS	16608	21902	0.1887	NS	1990	2006	0.7034	NS
PST05	PST06	4.12	4.54	0.3638	NS	0.15	0.14	0.8473	NS	18354	21902	0.2229	NS	1984	2006	0.026	**

*Significativo ** Altamente Significativo NS=No Significativo

Fuente: elaboración propia, 2019.

Se observa que en los principales parámetros de la calidad del agua en el beneficio “La Planta”, se da un cambio significativo en el pH, del punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST05 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles); en el oxígeno disuelto del punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST02 (pila de sedimentación de aguas mieles); en la demanda química de oxígeno, del punto PST03 (tanque de almacenamiento de aguas mieles) al punto PST04 (canal de lavado de aguas mieles); y en la demanda biológica de oxígeno, del punto PST01 (tanque de recirculación de aguas mieles) al punto PST04 (canal de lavado de aguas mieles); y del punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) al punto PST04 (pila 3 de sedimentación de aguas mieles). Mientras que en el beneficio “La Misericordia”, únicamente presentó un cambio significativo en el oxígeno disuelto del punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) al punto PST03 (pila 1 de sedimentación de aguas mieles) y del punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) al punto PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles). Se observa un cambio altamente significativo en la demanda química de oxígeno del punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) al punto PST04 (pila 3 de sedimentación de aguas mieles), del punto PST02 (tanque de aguas mieles de desecho) al punto PST05 (pila 6 de sedimentación de aguas mieles), del punto PST03 (pila 1 de sedimentación de aguas mieles) al punto PST05 (pila 6 de sedimentación de aguas mieles) y del punto PST05 (pila 6 de sedimentación de aguas mieles) al punto PST06 (fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles).

8.5 Índice de biodegradabilidad

La biodegradabilidad y las aguas residuales, son dos conceptos estrechamente vinculados, se sabe que gran parte de las sustancias que transporta el agua, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica, la cual en una importante fracción es biodegradable.

La biodegradabilidad de estas sustancias es la propiedad que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción. Es precisamente la depuración de las aguas residuales, lo que genera disponibilidad del

recurso agua y evita la contaminación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

La relación DBO_5/DQO es un indicador de la biodegradabilidad del agua residual a tratar, de tal forma que valores inferiores a 0,3 se considera que utilizar procesos de tratamiento por vía biológica no es la decisión más adecuada.

En la tabla 15, se presenta el índice de biodegradabilidad en los 5 puntos de muestreo del sistema de tratamiento de “La Planta” y de los 6 puntos de muestreo del sistema de tratamiento “La Misericordia”.

Tabla 15. Índice de biodegradabilidad para los puntos de monitoreo en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los beneficios “La Planta” y “La Misericordia”.

Beneficio La Planta				
Punto Monitoreo	Valores promedio en mg/l		Índice de Biodegradabilidad IB (DQO/DBO_5)	Criterio de Biodegradabilidad
	DBO_5	DQO		
PST1	1922.00	12415.00	0.15	No biodegradable
PST2	1944.50	16501.67	0.12	No biodegradable
PST3	1760.75	15323.33	0.11	No biodegradable
PST4	966.00	8632.00	0.11	No biodegradable
PST5	1360.50	11853.33	0.11	No biodegradable
Beneficio La Misericordia				
Punto Monitoreo	Valores promedio en mg/l		Índice de Biodegradabilidad IB (DQO/DBO_5)	Criterio de Biodegradabilidad
	DBO_5	DQO		
PST1	1581.75	12443.33	0.13	No biodegradable
PST2	1441.50	17116.67	0.08	No biodegradable
PST3	1939.75	18540.00	0.10	No biodegradable
PST4	1982.00	15510.00	0.13	No biodegradable
PST5	1977.25	17126.67	0.12	No biodegradable
PST6	2006.40	21902.00	0.09	No biodegradable

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados muestran que las aguas residuales producto de beneficiado de café, de acuerdo al índice de biodegradabilidad en los dos sistemas y en todos los puntos de monitoreo, se clasifica en base de los criterios que se muestran en la tabla 16, como “no biodegradable”, por lo tanto, en este tipo de agua residual es necesario utilizar métodos

físicos y químicos, previo a uso de métodos biológicos para remover la contaminación, por la alta concentración de materia orgánica que esta tiene.

Tabla 16. Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO₅/DQO

DBO ₅ /DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 – 0.8	Biodegradable
0.3 – 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

Fuente: elaboración propia,

8.6 Relación de la calidad del agua residual de los beneficios bajo estudio y la normativa vigente para Guatemala.

El reglamento de descarga de aguas residuales y disposición de lodos acuerdo gubernativo 236-2006, establece los criterios y requisitos que se deben cumplir al momento de descargar y reusar aguas residuales, con el fin de proteger cuerpos receptores de agua de la contaminación por actividades humanas, así como para recuperar a los que se encuentran en proceso de eutrofización; además, busca promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

En la tabla 17, se presentan las características de la calidad del agua que se logra alcanzar al final de cada sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) de acuerdo a los 20 parámetros analizados y los límites máximos permisibles que establece el reglamento de descarga de aguas residuales y disposición de lodos acuerdo gubernativo 236-2006.

Tabla 17. Calidad del agua residual de los beneficios “La Planta” y “La Misericordia” al final de los sistemas de tratamiento y los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa.

Parámetro		Beneficio "La Planta"	Beneficio "La Misericordia"	Límite Máximo Permissible (Acuerdo Gubernativo 236-2006)	Valor (Red de Agricultura Sostenible - RAS-)
		PST05	PST06		
		Fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles	Fosa de sedimentación e infiltración de aguas mieles		
Potencial de Hidrógeno	Unidades	4.41	4.54	6 a 9	N/A
Temperatura	°C	22.57	22.02	N/A	N/A
Oxígeno Disuelto	mg/l	0.26	0.14	N/A	N/A
Oxígeno Disuelto	%SAT	3.63	2.17	N/A	N/A
Conductividad	µS/cm	1234.25	1542.2	< 1500	N/A
Turbidez	NTU	746.67	2312	15	≤ 5
Sólidos Totales	mg/l	30260	70088	N/A	N/A
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	690.38	687.23	1000	< 600
Sólidos Suspendidos	mg/l	1913.33	2640	150	< 50
Sólidos Sedimentables	mg/l	45.35	41.8	N/A	N/A
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	1360.5	2006.4	N/A	N/A
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	11853.33	21902	150	< 50
Dureza	mg/l	655	1100	N/A	N/A
Nitratos (NO ₃)	mg/l	20.53	18.72	100	N/A
Nitritos (NO ₂)	mg/l	0.46	1.98	N/A	N/A
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	45.2	76.13	15	20
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	408.33	869.87	N/A	N/A
Coliformes Totales	NMP/100 ml	960.5	1071	N/A	N/A
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	670.33	627.67	1x10 ⁴	Ausentes
Escherichia Coli	NMP/100 ml	418.17	42	N/A	N/A
N/A = No aplica					

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los resultados permiten comparar la calidad al final de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) con la normativa vigente para Guatemala, en los beneficios bajo estudio para que esta pueda ser descargada en cuerpos de agua o reutilizada.

De acuerdo a la calidad del agua al finalizar el proceso de tratamiento en el beneficio “La Planta”, esta cumple con lo establecido en la normativa en los siguientes parámetros: conductividad, sólidos disueltos totales, nitratos y coliformes fecales y no cumple en los parámetros potencial de hidrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza, nitritos, fosfatos, sulfatos, coliformes totales y Escherichia coli. Es decir, cumple un 20% con dicho Acuerdo. Sin embargo, con lo que

indica la RAS, los parámetros sólidos disueltos totales y en la presencia de coliformes fecales sobrepasan el LMP un 10%.

La calidad del agua al finalizar el proceso de tratamiento en el beneficio “La Misericordia” esta cumple con lo establecido en la normativa en los siguientes parámetros: sólidos disueltos totales, nitratos y coliformes totales y no cumple en los parámetros potencial de hidrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza, nitratos, fosfatos, sulfatos, coliformes fecales y Escherichia coli. Esto indica un 15% con respecto al cumplimiento de la ley. Además, al igual que en el beneficio “La Planta”, se observa que no cumple con lo que indica la RAS en los parámetros sólidos disueltos totales ni en coliformes fecales, ya que están sobre el LMP.

9. CONCLUSIONES

1. La caracterización del agua utilizada en el proceso de beneficiado húmedo de café en los beneficios bajo estudio, muestra que los parámetros, bacterias coliformes totales, fecales y *E. coli*, tienen niveles superiores a los establecidos en la Norma COGUANOR, indicando que no es apta para consumo humano ni actividades domésticas sin tratamiento.
2. La calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (agua mieles) del beneficio “La Planta”, muestra un cambio positivo, pero no significativo estadísticamente en el pH, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda biológica de oxígeno, nitratos, nitritos, sulfatos y bacterias coliformes.
3. La calidad del agua en el sistema de tratamiento de aguas residuales (agua mieles) del beneficio “La Misericordia”, muestra un cambio positivo, pero no significativo estadísticamente en el oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos, nitratos, nitritos, sulfatos y bacterias coliformes; y no presenta cambios positivos en la concentración de la conductividad, la demanda biológica y demanda química de oxígeno, fosfatos y sulfatos.
4. Al evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta” a partir de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, se determinó que el sistema remueve el 29.22% de la demanda biológica de oxígeno y el 4.5% de la demanda química de oxígeno.
5. Al evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Misericordia” a partir de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, se determinó que el sistema no remueve la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno.

6. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) de los beneficios “La Planta” y “La Misericordia”, son diferentes en diseño, y de acuerdo al análisis estadístico, estos sistemas no reducen de forma significativa la contaminación, por lo tanto, no tienen un impacto positivo en la calidad del agua.
7. De acuerdo al índice de biodegradabilidad las aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta” y el beneficio “La Misericordia”, se clasifican como “no biodegradables” a lo largo de los sistemas.
8. El análisis estadístico muestra que no existe diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%, en el cambio de la calidad del agua en los puntos de muestreo establecidos en los sistemas de tratamiento de agua residuales (agua mieles) del beneficio “La Planta” y del beneficio “La Misericordia”.
9. Las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua residual al final del sistema de tratamiento de aguas residuales (agua miles) del beneficio “La Planta”, muestra que en los parámetros, potencial de hidrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda biológica y química de oxígeno, dureza, nitritos, fosfatos, sulfatos, coliformes totales y Escherichia coli, no cumple con los límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006.
10. Las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua residual al final del sistema de tratamiento de aguas residuales (agua miles) del beneficio “La Misericordia”, muestra que en los parámetros, potencial de hidrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda biológica y química de oxígeno, dureza, nitratos, fosfatos, sulfatos, coliformes fecales y Escherichia coli, no cumple con los límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006.

10. RECOMENDACIONES

1. Revisar el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el beneficio “La Planta” y el beneficio “La Misericordia” para mejorar la eficiencia de los mismos.
2. Para remover significativamente la contaminación de las aguas residuales (agua mieles) en los beneficios bajo estudio, es necesario implementar métodos químicos, porque de acuerdo al índice de biodegradabilidad, se consideran como “no biodegradables”.
3. El sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio “La Planta” y del beneficio “La Misericordia”, debe tener una fase de biodigestión o de digestión anaerobia para reducir significativamente la contaminación.
4. Continuar con el monitoreo de los cambios que pudiesen existir en el agua al someterse al sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) en los puntos ya establecidos tanto en el beneficio de café “La Planta” y del beneficio de café “La Misericordia”, posterior a realizar cambios en el diseño de los mismos.
5. Evaluar los impactos positivos y negativos del uso para riego del agua residual de los sistemas de tratamiento de los beneficios bajo estudio, con la carga de contaminación actual en los campos de cultivo, para determinar conveniencia de uso para el fin.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGACE (Acreditación y Gestión Ambiental en América Central). s.f. Manual de muestreo de aguas (en línea, diapositivas). México. Diapositivas 21, 26. Consultado 22 ene. 2018. Disponible en www.cegesti.org/agace/presentaciones/08_manual_aguas_muestreo_de_aguas.pdf
- Braham, JE; Bressani, R. 1978. Pulpa de café: composición, tecnología y utilización (en línea). Bogotá, Colombia, CIID. Consultado 09 dic. 2017. Disponible en <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/4722/IDL-4722.pdf?sequence=1>
- COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 1999. Agua potable, especificaciones, Norma COGUANOR – NGO 29 001:99 (en línea). Guatemala. 15 p. Consultado 15 dic. 2017. Disponible en www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99
- Congreso de la República de Guatemala. 2005. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos; acuerdo gubernativo no. 236-2006 (en línea). Guatemala. p. 21. Consultado 20 ene. 2019. Disponible en <https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2016/04/07-Acuerdo-Gubernativo-236-2006.pdf>
- Granados, C. 2004. El impacto ambiental del café en la historia costarricense (en línea). Diálogos Revista Electrónica de Historia 4(2):16-17. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43940206>

- Guevara Paz, MR. 2015. Calidad el agua superficial y propuesta de manejo en la microcuenca del río Atulapa, del área protegida Trinacional Montecristo, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2014 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI, Ingeniería en Gestión Ambiental Local. 154 p. Consultado 20 ene. 2018. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Calidad_del_agua_superficial_y_propuesta_de_manejo_en_la_microcuenca_del_rio_atulapa_del_area_protegida_trinacional_Montecristo_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2014.pdf
- Guevara, M. 2005. Ubicación de Esquipulas (en línea, sitio web). Chiquimula Online. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en <http://www.chiquimulaonline.com/esquipulas/ubicacion.htm>
- Hernández Choc, NE. 2012. Costos y rentabilidad de unidades turísticas (hotelería) (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. p. 6-7, 13. Consultado 19 ene. 2018. Disponible en biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0804_v2.pdf
- Hernández, W. 2005. Nacimiento y desarrollo del río Lempa (en línea). San Salvador, SNET. Consultado 19 ene. 2018. Disponible en www.snet.gob.sv/Geologia/NacimientoEvolucionRLempa.pdf
- Korbut, S. s.f. Contaminación en agua (en línea, blog). 53 p. Consultado 21 ene. 2018. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>
- Lazcano Carreño, CA. 2017. Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales. 2 ed. Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones; Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p. 232-249, 261-264, 39.
- Méndez, A. 2010. Nitritos (en línea, blog). La guía. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en <https://quimica.laguia2000.com/acid-y-bases/nitritos>

Montero Mora, A; Sandí Morales, JA. 2009. La contaminación de las aguas mieles en Costa un conflicto de contenido ambiental (1840 - 1910) (en línea). *Diálogos Revista Electrónica de Historia* 10(1):4-15. Consultado 22 ene. 2018. Disponible en www.redalyc.org/articulo.oa?id=43913137001

Orellana, JA. 2005. Características del agua potable (en línea). *In Ingeniería Sanitaria*. Santa Fe, Argentina, UTN – FRRO. 7 p. Consultado 21 ene. 2018. Disponible en https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

RAS (Red de Agricultura Sostenible). 2010. Norma para agricultura sostenible (en línea). Estados Unidos de América. p 15. Consultado 31 jul. 2019. Disponible en https://www.rainforest-alliance.org/lang/sites/default/files/publication/pdf/SAN-S-1-4S-Norma-para-Agricultura-Sostenible_es.pdf

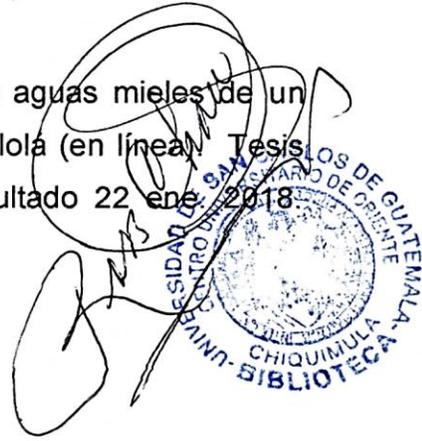
Reutelshöfer, T; Guzmán Bejarano, L. 2015. Guía para la toma de muestras de agua residual (en línea). La Paz, Bolivia, PERIAGUA/SENASBA/BMZ/GIZ. p. 12-13. Consultado 22 ene. 2018. Disponible en https://periagua.webmo.info/img_auth.php/7/7f/Guia_para_la_toma_de_muestra_de_agua_residual.pdf

Sánchez Hernández, L; Espindola Rafael, V; Rikxoort, H Van; Cipriani, G. s.f. Mejor ambiente: manual para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en beneficios pequeños de café (en línea). Amsterdam, UTZ Certified/Aceres Consultores. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en https://utz.org/wp-content/uploads/2016/07/Sistema-de-Tratamiento-de-aguas-residuales_Manual.pdf

Sandoval Roque, VA. 2014. Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas mieles a partir de las características físicas, químicas y microbiológicas en el beneficio húmedo de la finca El Cascajal, ubicado en el municipio de Esquipulas, Chiquimula 2013 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI, Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local. 149 p. Consultado 20 ene. 2018. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion_de_la_eficiencia_del_sistema_de_tratamiento_de_aguas_mieles_a_partir_de_las_caracteristicas_fisicas_quimicas_microbiologicas_en_el_beneficio_humedo_de_la_finca_el_cascajal_ubicado_en_Esquipulas.pdf

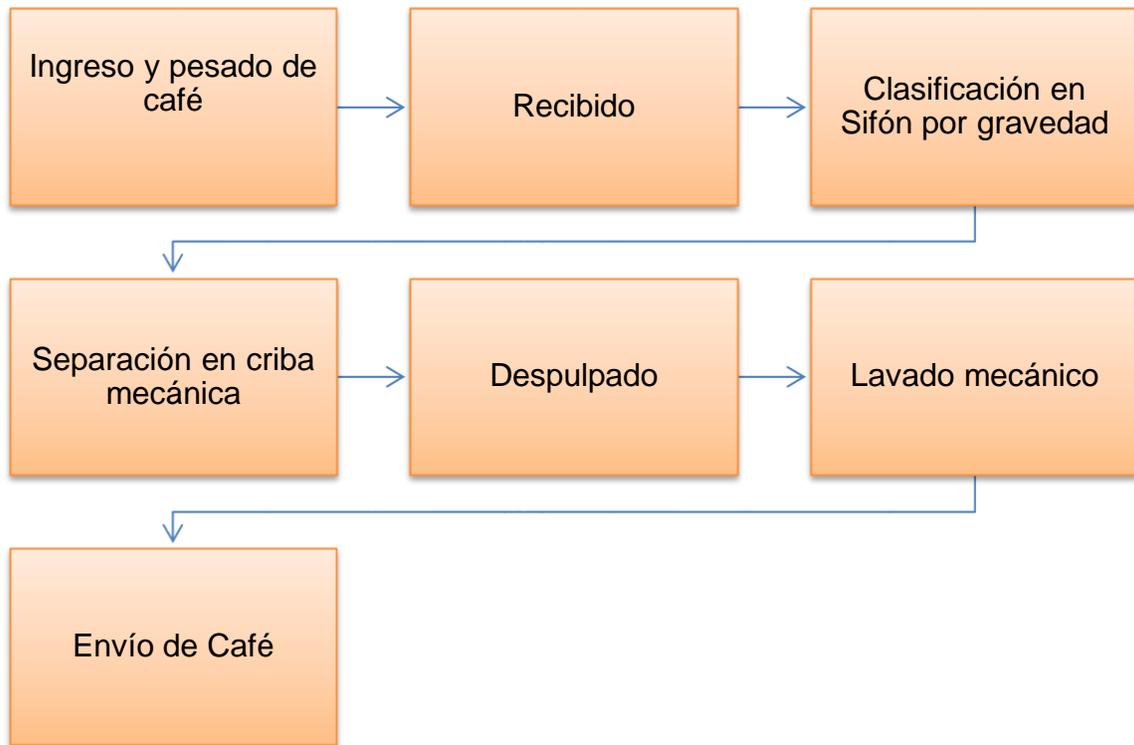
Valle, O; Rivera, O. s.f. Monitoreo e indicadores: texto de apoyo al proceso de construcción de un sistema regional de indicadores sobre atención y educación inicial (en línea). Guatemala, OEI/IDIE/Junta de Andalucía. 20 p. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en <https://www.oei.es/historico/idie/mONITOREOEINDICADORES.pdf>

Xil Barrios, WA. 2012. Evaluación de la eficacia del tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café, localizado en San Juan La Laguna, Solola (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 123 p. Consultado 22 ene. 2018. Disponible en biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1279_Q.pdf

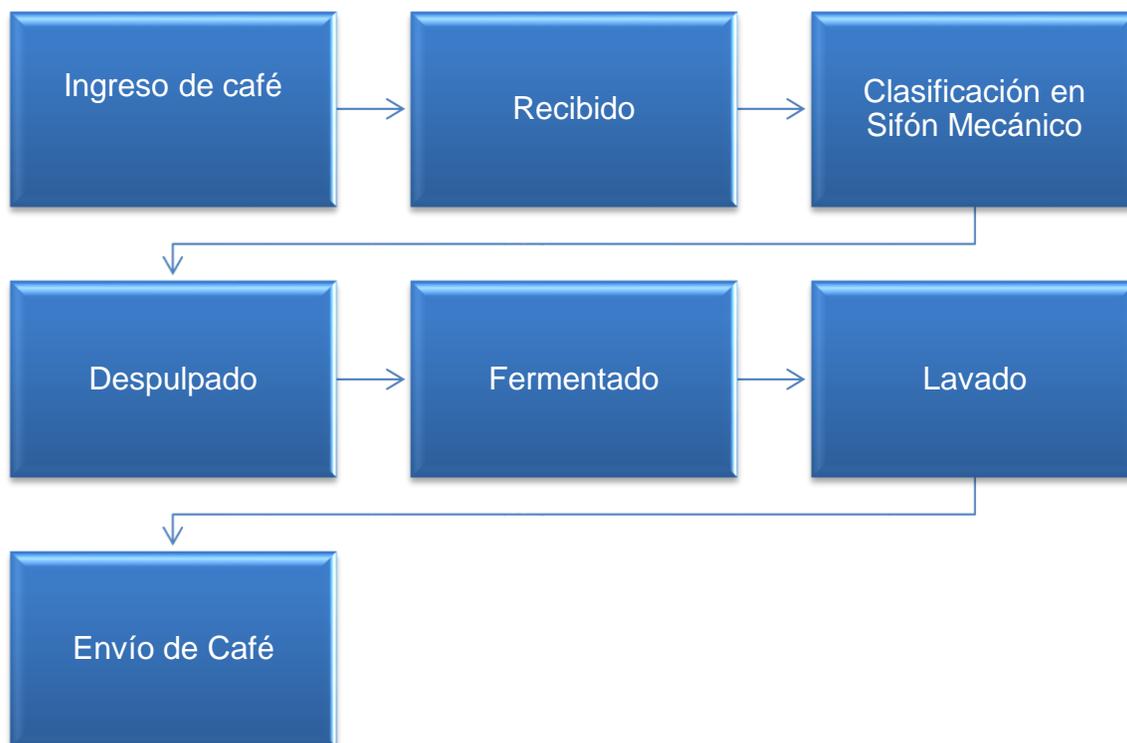


12. ANEXOS

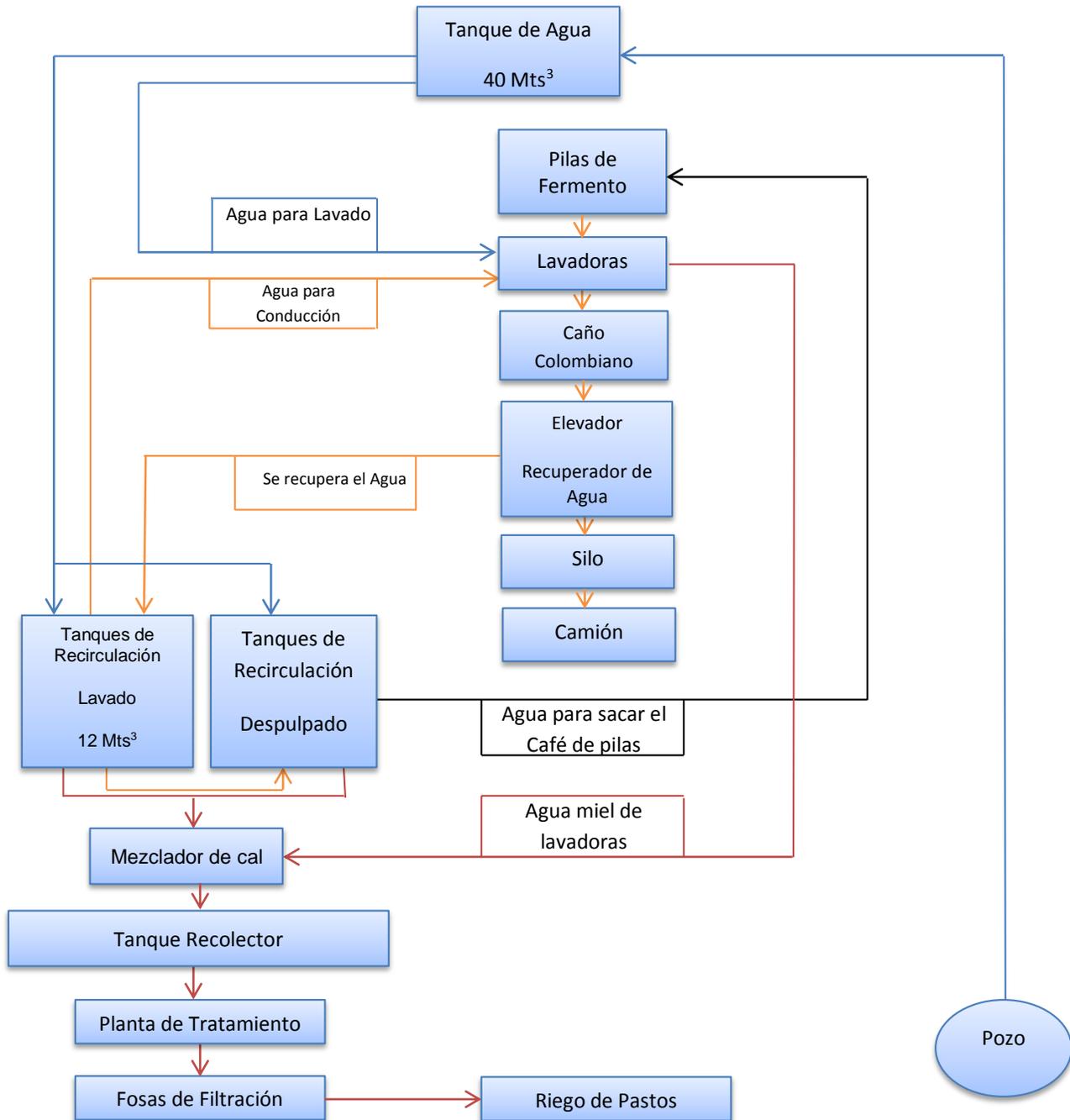
Anexo 1. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “La Planta”



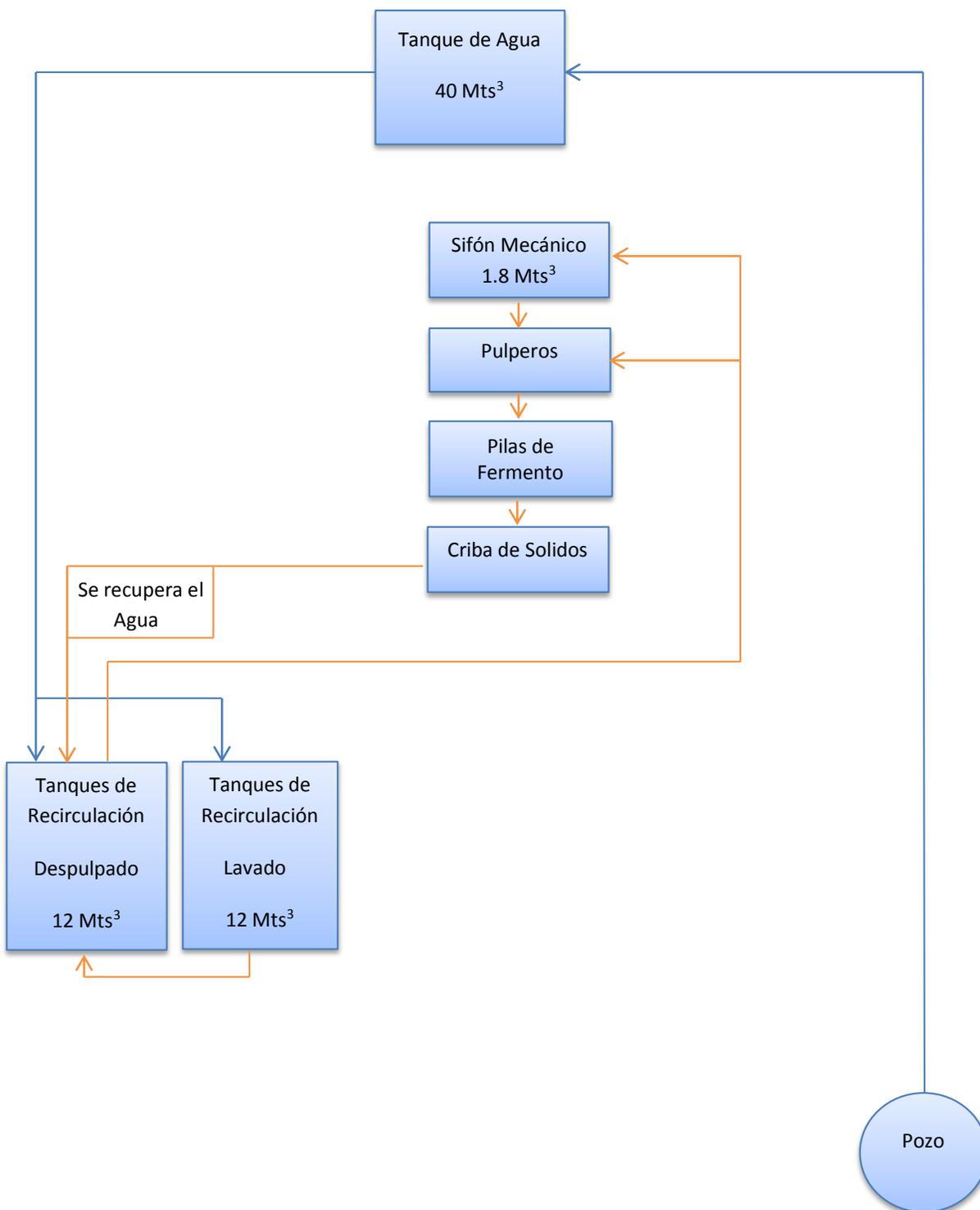
Anexo 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “La Misericordia”



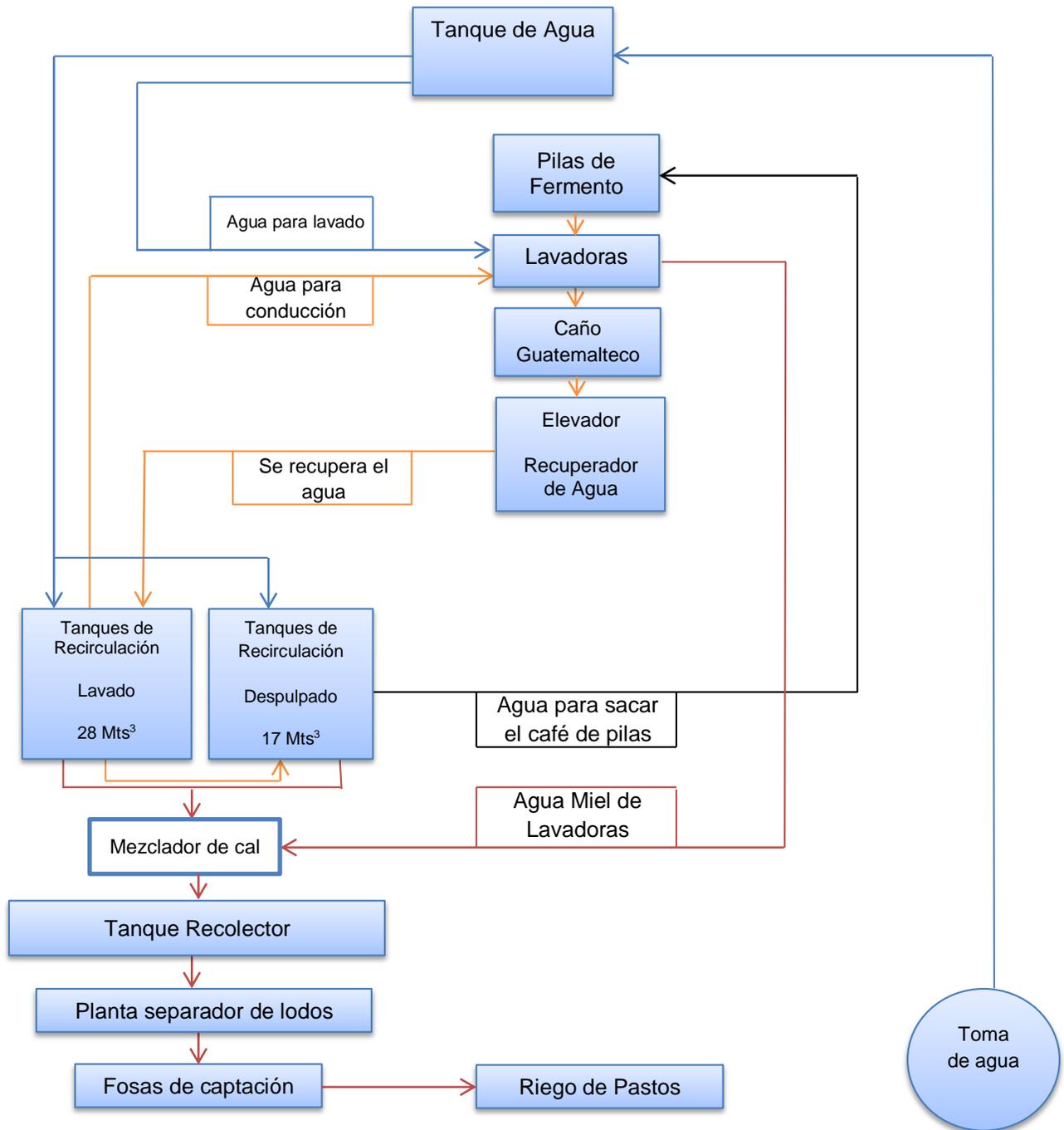
Anexo 3. Diagrama de flujo de agua en el lavado del beneficio húmedo “La Misericordia”.



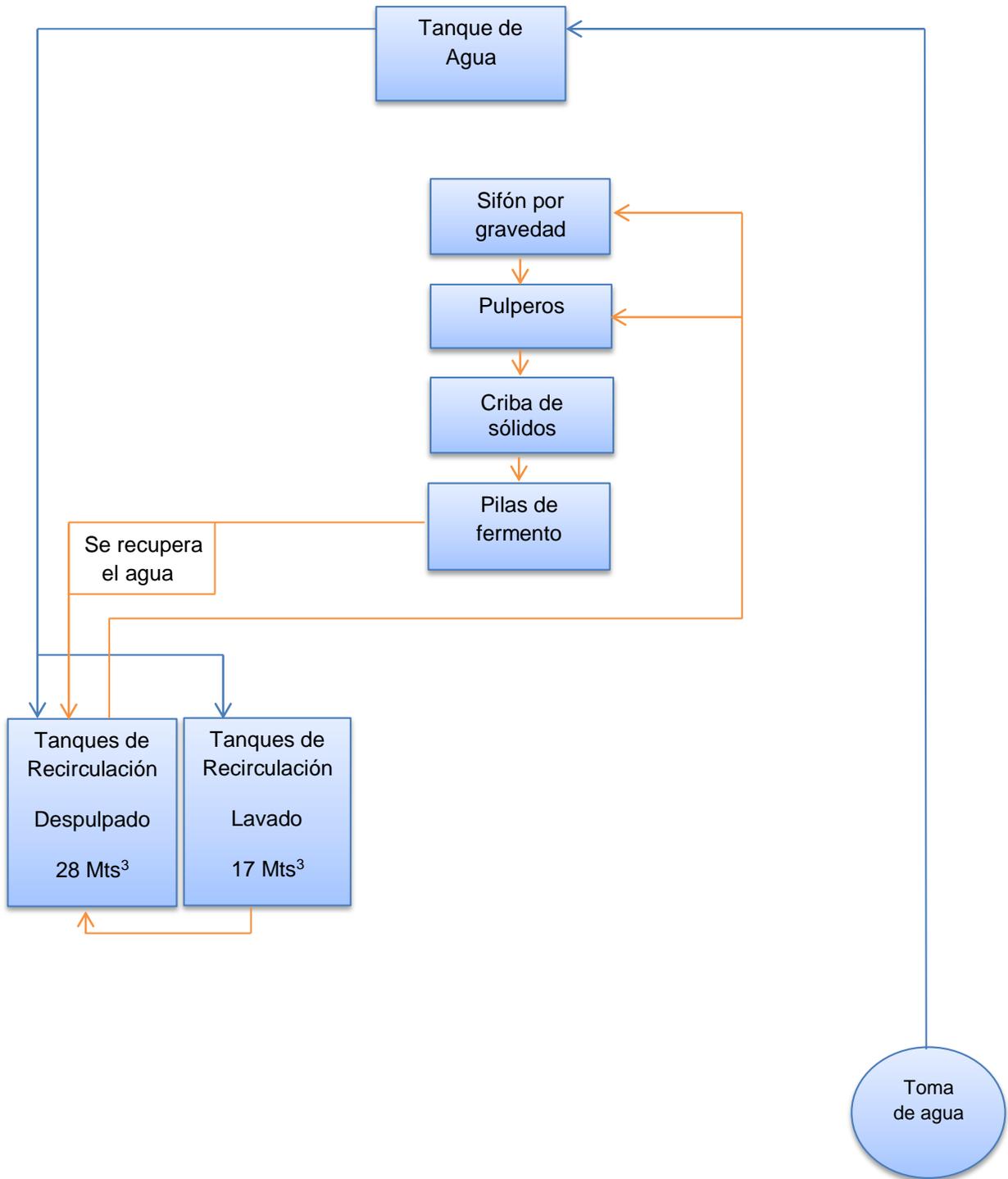
Anexo 4. Diagrama del flujo de agua del despulpado del beneficio húmedo “La Misericordia”.



Anexo 5. Diagrama de flujo de agua en el lavado del “Beneficio Húmedo La Planta”



Anexo 6. Diagrama de flujo de agua del despulpado del beneficio “La Planta”



Anexo 7. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua del potencial de hidrógeno (pH).

Potencial de Hidrógeno (pH)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	6.66	-	-	-	-	-	6.66
P02	6.14	6.96	6.69	7.43	7.37	7.74	7.06
PST01	3.66	3.6	3.82	3.56	4.01	4.24	3.82
PST02	4.33	4.66	5.23	3.52	4.12	4.43	4.38
PST03	5.78	3.62	5.74	4.84	5.03	1.3	4.39
PST04	3.67	4.47	ND	3.69	5.7	5.04	4.51
PST05	4.26	3.9	4.41	4.84	4.44	4.59	4.41
Beneficio "La Misericordia"							
P01	8.32	-	-	6.33	-	-	7.33
P02	9.37	8.06	7.65	6.7	7.51	8.17	7.91
PST01	4.68	4.07	4.58	4.46	4.48	4.16	4.41
PST02	4.26	4.22	5.68	4.85	5.04	6.64	5.12
PST03	3.69	4.03	4.5	4.53	4.68	4.39	4.3
PST04	3.84	4.23	4.38	4.69	4.65	4.73	4.42
PST05	2.33	4.43	4.47	4.87	4.61	4.79	4.25
PST06	4.37	4.4	4.5	ND	4.67	4.77	4.54

Anexo 8. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la temperatura del agua en grados Celcius.

Temperatura (°C)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	22.8	-	-	-	-	-	22.8
P02	22.6	23	24.5	25	21.4	23.1	23.3
PST01	22.9	21.8	20.2	25.2	22.1	22.5	22.5
PST02	22.5	21.3	19	25.4	21.2	22.1	21.9
PST03	22.8	21.6	20.7	25.6	23.2	21.7	22.6
PST04	22.6	21.8	ND	28	20.1	21.5	22.8
PST05	22.6	21.9	21.6	26	22.1	21.2	22.6
Beneficio "La Misericordia"							
P01	22.8	-	-	25.9	-	-	24.4
P02	22.6	21.3	24	26.1	22.2	22.1	23.1
PST01	22.8	20.3	24	26.1	22.1	21.4	22.8
PST02	23	20.5	24	26.2	22.1	21.4	22.9
PST03	22.7	20.3	24	26.3	22.1	22.1	22.9
PST04	23	21	22.2	26.4	22.2	21.8	22.8
PST05	23.2	21.4	22.1	26.4	22	22.1	22.9
PST06	22.4	21.3	22	ND	22.2	22.2	22

Anexo 9. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua del oxígeno disuelto.

Oxígeno Disuelto (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	7.76	-	-	-	-	-	7.76
P02	7.82	7.48	7.47	7.55	8.02	7.17	7.59
PST01	0.24	0.15	0.28	0.12	0.24	0.1	0.19
PST02	0.16	0.1	0.29	0.09	0.13	0.04	0.14
PST03	0.1	0.09	0.24	0.3	0.18	0.02	0.16
PST04	0.11	0.74	ND	0.33	0.33	0.38	0.38
PST05	0.2	0.12	0.2	0.82	0.16	0.04	0.26
Beneficio "La Misericordia"							
P01	8.49	-	-	7.4	-	-	7.95
P02	7.64	7.94	7.06	7.5	7.47	7.47	7.51
PST01	0.28	0.25	0.2	0.17	0.12	0.25	0.21
PST02	0.38	0.5	0.35	0.15	0.39	0.15	0.32
PST03	0.04	0.09	0.07	0.09	0.09	0.06	0.07
PST04	0.05	0.12	0.06	0.2	0.25	0.09	0.13
PST05	0.05	0.46	0.15	0.39	0.07	0.02	0.19
PST06	0.15	0.25	0.07	ND	0.13	0.09	0.14

Anexo 10. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua del oxígeno disuelto en % de saturación.

Porcentaje de Saturación (%)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	112.7	-	-	-	-	-	112.7
P02	102.1	103.1	99.9	107.3	107.5	101.6	87.13
PST01	3.4	2.9	3.8	1.7	3.2	1.4	2.55
PST02	2.3	1.4	3.7	1.24	1.7	0.6	1.67
PST03	1.4	1.2	3.7	4.3	4.9	0.3	2.65
PST04	1.5	10.1	ND	4.7	2.5	5.4	5.1
PST05	2.8	1.7	2.9	11.7	2.1	0.6	3.55
Beneficio "La Misericordia"							
P01	120.4	-	-	104.5	-	-	112.45
P02	108.5	107.7	90.5	5.5	96.6	104.6	85.57
PST01	4	3.6	2.18	2.3	1.6	3.5	2.86
PST02	5.4	6.7	7	2.1	5.2	2.1	4.75
PST03	0.6	1.2	0.98	1.3	1.1	0.9	1.01
PST04	0.7	1.6	0.97	2.8	3.3	1.3	1.78
PST05	0.7	6.3	0.94	5.5	0.9	0.2	2.42
PST06	2.2	3.5	2.25	ND	1.7	1.2	2.17

Anexo 11. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la conductividad.

Conductividad (µs/cm)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	148.9	-	-	-	-	-	148.9
P02	1678	46.7	66.5	623	190.5	190.5	465.9
PST01	1356	875	721	1259	1110	1203	1087.3
PST02	3000	270	1557	606	1527	1431	1398.5
PST03	1870	570	2950	237	1949	5170	2124.3
PST04	162	107.7	ND	272	91.8	323	191.3
PST05	1089	1154	557	136.5	3120	1349	1234.3
Beneficio "La Misericordia"							
P01	282	-	-	279	-	-	280.5
P02	250	300	293	275	282	330	288.3
PST01	464	1384	142.3	734	363	287	562.4
PST02	498	826	72.7	731	766	2043	822.8
PST03	2320	286	352	234	249	336	629.5
PST04	2950	297	578	269	400	448	823.7
PST05	5250	331	477	240	391	493	1197
PST06	5570	561	709	ND	394	477	1542.2

Anexo 12. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la turbidez.

Turbidez (NTU)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	1	-	-	-	-	-	1
P02	17.1	10.2	61.6	7.3	4.2	4.6	17.5
PST01	3390	2110	780	280	2620	1730	1818.3
PST02	1970	550	1760	1200	4720	5600	2633.3
PST03	2670	1090	4680	1060	4950	200	2441.7
PST04	690	80	ND	310	20	248	224.7
PST05	70	960	1910	30	670	840	746.7
Beneficio "La Misericordia"							
P01	7	-	-	10	-	-	7
P02	8	32.7	6.5	11	41	13	18.7
PST01	160	1810	300	790	3960	3400	1736.7
PST02	490	270	70	320	290	1030	411.7
PST03	2940	6770	300	1330	5640	7360	4056.7
PST04	1780	830	1440	410	1270	8440	2361.7
PST05	950	71.3	810	480	7500	25100	5818.6
PST06	980	2340	2040	ND	4970	1230	2312

Anexo 13. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los sólidos totales.

Sólidos Totales (mg/l)							
No.	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo	Cuarto Monitoreo	Quinto Monitoreo	Sexto Monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	148	-	-	-	-	-	1480
P02	80	320	400	3840	1120	3320	1513
PST01	58360	4240	3200	18120	73120	88480	40920
PST02	44160	4840	7920	88740	141280	118000	67490
PST03	252120	1800	6640	68440	108000	193120	105020
PST04	55560	1480	ND	1115000	5640	55120	246560
PST05	6320	4280	10600	5400	91200	63760	30260
Beneficio "La Misericordia"							
P01	328	-	-	692	-	-	510
P02	248	28720	3360	6680	4920	32200	12688
PST01	10400	14680	4560	53600	215040	175360	78940
PST02	13760	2160	600	21400	22480	94200	25767
PST03	114560	6320	6800	53440	262880	236000	113333
PST04	93320	3840	5480	45240	101360	142760	65333
PST05	111720	20360	5680	40800	189120	249000	102780
PST06	114720	13640	10240	ND	95280	116560	70088

Anexo 14. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los sólidos disueltos totales.

Sólidos Disueltos Totales (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	73.6	-	-	-	-	-	73.6
P02	888	23.2	35.2	308	99.5	93.4	241.22
PST01	707	460	393	644	603	628	572.5
PST02	1614	1247	891	1177	840	759	1088
PST03	989	297	1679	1261	1085	2.94	885.66
PST04	80.9	59.4	ND	135.9	47.7	166.8	98.14
PST05	750	830	3.2	67.1	1765	727	690.38
Beneficio "La Misericordia"							
P01	142.2	-	-	139.1	-	-	140.65
P02	124.9	156.2	159.8	137	149	168.9	149.3
PST01	236	762	73.1	375	2085	1596	854.52
PST02	253	446	36.3	372	413	1114	439.05
PST03	1236	1646	179.2	1241	1408	1874	1264.03
PST04	1595	1685	298	1427	2.29	2.52	834.97
PST05	2890	1862	245	1266	2.28	2.79	1044.68
PST06	3060	3.21	368	ND	2.27	2.66	687.23

Anexo 15. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los sólidos suspendidos.

Sólidos Suspendidos (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	24	-	-	-	-	-	24
P02	24	444	4	8200	692	336	1616.67
PST01	400	5040	920	4240	6920	1560	3180
PST02	1600	6680	2320	79680	6120	2640	16506.67
PST03	2200	3960	93080	6160	8600	32720	24453.33
PST04	1040	2800	ND	6160	5760	5040	4160
PST05	1040	2800	2120	1200	3360	960	1913.33
Beneficio "La Misericordia"							
P01	20	-	-	220	-	-	120
P02	108	152	160	32	680	28	193.33
PST01	480	4440	1840	17760	1000	3920	4906.67
PST02	1080	2520	6200	25280	7720	920	7286.67
PST03	1840	4960	360	16240	12120	8840	7393.33
PST04	200	1560	680	1800	11240	4400	3313.33
PST05	1440	1320	80	20400	8720	19960	8653.33
PST06	2360	4560	1120	ND	2760	2400	2640

Anexo 16. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los sólidos sedimentables.

Sólidos Sedimentables (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	0	-	-	-	-	-	0
P02	0	0	0	0	0	0	0
PST01	450	105	30	200	100	350	206
PST02	225	110	680	700	500	980	533
PST03	1000	360	650	800	550	800	693
PST04	0.8	0.1	ND	250	0	0	50
PST05	16	6	250	0	0.1	0	45
Beneficio "La Misericordia"							
P01	0	-	-	0	-	-	0
P02	0	0	0	0	0.7	0.5	0
PST01	10	12	25	50	890	590	263
PST02	20	1	5	3	0.1	14	7
PST03	450	15	0.1	35	1000	1000	417
PST04	380	0.1	35	0.5	12	350	130
PST05	1.5	0.1	0.1	0.1	990	1000	332
PST06	1	5	25	ND	150	28	42

Anexo 17. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la Demanda Biológica de Oxígeno.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	4.2	-	-	-	-	-	4.2
P02	2.22	3.3	10.8	74.58	7.68	2.22	16.8
PST01	2086.5	1659	2092.5	1852.5	1986	1855.5	1922
PST02	2040	1690.5	2127	1933.5	2031	1845	1944.5
PST03	2146.5	1693.5	2100	1987.5	2077.5	559.5	1760.75
PST04	2143.5	264	ND	973.5	342	1107	966
PST05	408	1611	1917	231	2064	1932	1360.5
Beneficio "La Misericordia"							
P01	0.6	-	-	2.88	-	-	1.74
P02	3.06	6.3	3.3	1.62	6.12	3.84	4.04
PST01	601.5	1627.5	2070	1245	2005.5	1941	1581.75
PST02	1666.5	1582.5	682.5	1080	1704	1933.5	1441.5
PST03	2112	1644	2050.5	1933.5	1966.5	1932	1939.75
PST04	2110.5	1641	2118	1944	2113.5	1965	1982
PST05	2190	1720.5	2082	1944	1950	1977	1977.25
PST06	2191.5	1749	2115	ND	1986	1990.5	2006.4

Anexo 18. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la Demanda Química de Oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	73	-	-	-	-	-	73
P02	181	1426	108	59	116	68	326.33
PST01	20870	14620	7090	4870	13100	13940	12415
PST02	16030	16800	19630	14550	16200	15800	16501.67
PST03	22940	9790	14530	13220	18180	13280	15323.33
PST04	16100	790	ND	3540	19460	3270	8632
PST05	3570	16260	19130	1640	18460	12060	11853.33
Beneficio "La Misericordia"							
P01	79	-	-	75	-	-	77
P02	68	64	469	183	104	39	154.5
PST01	7670	16750	10400	1930	20200	17710	12443.33
PST02	6160	8670	2240	3600	63390	18640	17116.67
PST03	23540	16900	15570	11370	3240	40620	18540
PST04	22210	17060	18710	10020	4670	20390	15510
PST05	21070	16990	12350	10990	19530	21830	17126.67
PST06	22480	17000	18010	ND	18030	33990	21902

Anexo 19. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la dureza.

Dureza CaCO ₃ (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	35	-	-	-	-	-	35
P02	125	45	65	45	25	25	61
PST01	350	550	650	700	500	450	550
PST02	180	1200	1450	900	900	750	926
PST03	3500	500	1900	1400	2550	6100	1970
PST04	150	450	ND	300	1300	400	550
PST05	250	400	1275	250	1100	450	655
Beneficio "La Misericordia"							
P01	95	-	-	195	-	-	145
P02	145	130	145	170	155	175	149
PST01	600	750	1200	400	1450	700	880
PST02	500	750	700	400	300	450	530
PST03	900	400	1300	1250	1250	850	1020
PST04	1000	900	1750	1600	1650	1300	1380
PST05	1050	950	1850	1950	1700	1650	1500
PST06	1200	1500	1500	ND	1300	2800	1375

Anexo 20. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los Nitratos.

Nitratos NO ₃ ⁻ (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	0.6005	-	-	-	-	-	0.6005
P02	76.6576	0.25	0.9701	0.038	1.4185	1.3098	13.4407
PST01	136.0054	25.4348	19.8098	2.337	50.1902	73.6141	51.2319
PST02	77.9891	9.0761	72.2283	25.0543	99.2391	64.6739	58.0435
PST03	32.7174	11.7663	52.1196	15.9783	48.0163	9.2663	28.3107
PST04	57.4457	2.7174	ND	2.5272	4.7554	17.4185	14.144
PST05	57.4457	10.7609	21.8207	1.0054	21.6033	10.5163	20.5254
Beneficio "La Misericordia"							
P01	0.5489	-	-	0.1467	-	-	0.3478
P02	0.375	0.6875	0.3043	0.4348	0.875	1.2011	0.6463
PST01	18.0978	65.9783	32.337	18.1522	5.2989	45.8967	30.9601
PST02	17.0109	7.5815	3.3152	1.6033	5.625	24.1576	9.8822
PST03	94.8641	52.5815	13.4511	6.7391	4.9457	5.9511	29.7554
PST04	14.1304	12.4728	18.8587	3.0435	15.8967	23.9674	14.7283
PST05	54.7011	10.2717	14.1304	3.3967	5.625	10.163	16.3813
PST06	42.0109	19.1576	18.8587	ND	17.4457	14.8641	18.7228

Anexo 21. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los nitritos.

Nitritos NO ₂ - (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	0.0022	-	-	-	-	-	0.0022
P02	0.0047	0.0039	0.0195	0.0057	0.0018	0.0282	0.0106
PST01	1.2013	0.9569	0.4502	1.2311	0.6322	1.133	0.9341
PST02	1.0936	0.4034	0.4673	1.1887	1.0037	1.6679	0.9708
PST03	4.8358	0.6263	0.8091	0.6523	1.0877	0.3477	1.3931
PST04	0.6285	0.1055	ND	0.1367	0.0267	0.2467	0.2288
PST05	0.2132	0.6077	0.7994	0.0409	0.3551	0.7266	0.4572
Beneficio "La Misericordia"							
P01	0.1278	-	-	0.0139	-	-	0.0708
P02	0.0171	0.0093	0.0044	0.0129	0.0195	0.2215	0.0474
PST01	0.2771	1.1657	1.8462	0.4212	1.7667	12.77	3.0412
PST02	2.3811	0.3715	0.1048	0.3254	0.2585	5.955	1.5661
PST03	1.7585	2.2273	0.5706	1.2058	3.815	19.635	4.8687
PST04	1.3782	0.6374	0.6456	0.5453	1.2259	12.23	2.7771
PST05	0.6694	0.4785	0.4851	0.3314	2.2868	23	4.5419
PST06	0.6835	1.2229	0.8269	ND	0.9495	6.2	1.9766

Anexo 22. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los fosfatos.

Fosfatos PO ₄ - (mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	0.1194	-	-	-	-	-	0.1194
P02	9.7139	14.2278	0.4194	0.3667	0	0.1194	4.1412
PST01	62.6944	29.2778	12.75	46.75	20.6667	40.6944	35.4722
PST02	55.75	31.0278	21.8056	82.5556	24.3333	41.6111	42.8472
PST03	317.7778	24.1389	139.8056	72.4167	19.8611	6	96.6667
PST04	106.6944	3.8333	ND	20.1389	1.5	4.1389	22.7176
PST05	12.8889	88.1944	140.0833	4.8056	9.6667	15.5833	45.2037
Beneficio "La Misericordia"							
P01	1.4917	-	-	1.3021	-	-	1.3969
P02	1.7194	1.025	1.1944	17.9167	0.2222	0.0972	3.6958
PST01	11.1944	62.4167	60.2222	86.7778	62.5	53.3889	56.0833
PST02	12	7.5556	6.0833	29.8333	3.0556	20.8889	13.2361
PST03	147.7778	177.3056	100.25	115.1111	50.7222	85.8611	112.838
PST04	136	97.5556	141.0833	102.25	29.0556	55.3611	93.5509
PST05	142.4722	100.5833	95.5278	69.6944	54	93.4444	92.6204
PST06	30.1944	170.6389	179.9444	ND	47.9167	28.1111	76.1343

Anexo 23. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los sulfatos.

Sulfatos SO ₄ ⁻ (mg/l)							
No.	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo	Cuarto Monitoreo	Quinto Monitoreo	Sexto Monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	70.73	-	-	-	-	-	70.73
P02	3.35	1.03	8.77	2.83	1.37	1.47	3.14
PST01	837	452.67	391.33	239	430	725.67	512.61
PST02	215	321.67	362.33	7.33	687.33	1156.67	458.39
PST03	1924.33	468.67	329.33	18.33	727.33	235	617.17
PST04	412	52.67	ND	108.67	22.33	161	151.33
PST05	97.67	580.67	830.33	18	443.67	479.67	408.33
Beneficio "La Misericordia"							
P01	70.3	-	-	33.37	-	-	51.83
P02	62.27	79.3	42.13	360	577.67	87.7	201.51
PST01	198.33	901	295	405.33	1484.33	1421	784.17
PST02	220.67	333	162.67	233	285.67	718	325.5
PST03	1267.33	1353	580.33	13.67	251.33	1935	900.11
PST04	1217	827	671.67	431.33	887.33	1262.33	882.78
PST05	905.67	817	586.67	281.67	1983.67	2123.67	1116.39
PST06	705	1218.67	759.33	ND	902	764.33	869.87

Anexo 24. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los coliformes totales.

Coliformes Totales (NMP/100)							
No.	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo	Cuarto Monitoreo	Quinto Monitoreo	Sexto Monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	210	-	-	-	-	-	210
P02	2400	2400	2400	3	240	150	1265.5
PST01	2400	2400	2400	240	93	240	1295.5
PST02	2400	2400	2400	240	240	240	1320
PST03	2400	2400	2400	3	460	3	1277.66
PST04	2400	2400	ND	3	11	2400	1202.33
PST05	2400	240	2400	460	23	240	960.5
Beneficio "La Misericordia"							
P01	2400	-	-	3	-	-	1201.5
P02	2400	2400	2400	3	3	460	1277.66
PST01	2400	2400	2400	3	23	240	1244.33
PST02	2400	2400	2400	3	14	240	1242.83
PST03	2400	2400	1100	3	240	240	898.83
PST04	2400	2400	240	3	2400	240	1280.5
PST05	2400	2400	240	23	2400	240	1283.83
PST06	2400	2400	240	ND	75	240	892.5

Anexo 25. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de los coliformes fecales.

Coliformes Fecales (NMP/100)							
No.	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo	Cuarto Monitoreo	Quinto Monitoreo	Sexto Monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	150	-	-	-	-	-	150
P02	2400	2400	1100	240	3	4	1029.5
PST01	2400	2400	2400	23	240	23	1247.66
PST02	2400	2400	2400	23	240	23	1247.66
PST03	2400	2400	2400	2400	2400	3	1600.5
PST04	2400	2400	ND	2400	2400	2400	2000.5
PST05	2400	1100	3	240	240	39	670.33
Beneficio "La Misericordia"							
P01	2400	-	-	2400	-	-	2400
P02	2400	2400	2400	2400	120	64	1630.66
PST01	2400	2400	2400	2400	2400	210	2035
PST02	2400	2400	2400	1100	2400	9	1784.83
PST03	2400	2400	3	1100	2400	2400	1783.83
PST04	2400	2400	23	2400	2400	2400	2003.83
PST05	2400	2400	23	4	240	2400	1244.5
PST06	2400	240	23	ND	1100	3	627.66

Anexo 26. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de Escherichia coli.

Escherichia coli (NMP/100)							
No.	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo	Cuarto Monitoreo	Quinto Monitoreo	Sexto Monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
P01	460	-	-	-	-	-	460
P02	2400	1100	2400	240	3	3	1024.33
PST01	93	240	2400	460	210	3	567.66
PST02	2400	240	2400	240	39	7	887.66
PST03	2400	460	2400	2400	39	7	1284.33
PST04	3	2400	ND	2400	150	2400	1225.5
PST05	2400	3	23	39	23	21	418.16
Beneficio "La Misericordia"							
P01	2400	-	-	210	-	-	1305
P02	1100	2400	2400	2400	9	20	188.16
PST01	2400	240	2400	21	2400	3	1388.16
PST02	2400	2400	2400	2400	1100	2400	2183.33
PST03	3	3	11	210	150	3	63.33
PST04	3	3	3	43	9	3	10.66
PST05	3	3	3	240	3	3	42.5
PST06	3	3	3	ND	3	240	42

Anexo 27. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la presencia de Hierro.

Hierro (Fe) (Abs. Mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
PST02	22.5	11.2	14	17.2	13.9	1	13.3
PST05	2.5	0.9	81	27	0.6	3.6	19.3
Beneficio "La Misericordia"							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
PST06	17.3	11.6	3.7	5.1	6.3	3.3	7.9
PST05	13.1	87.3	45.9	ND	48	1.2	39.1

Anexo 28. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la presencia de Cromo.

Cromo (Cr) (Abs. Mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
PST02	0.0	3.6	14.0	0.0	2.8	1.0	3.6
PST05	0.0	3.3	81.0	2.2	0.5	3.6	15.1
Beneficio "La Misericordia"							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
PST06	0	1	3.7	0.6	1.1	3.3	1.6
PST05	0	4.1	45.9	ND	3.7	1.2	11.0

Anexo 29. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la presencia de Cianuro.

Cianuro (Fe) (Abs. Mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
PST02	0.0	0.4	0.6	0.6	2.8	0.2	0.8
PST05	0.0	0.1	0.2	1.2	0.5	1.9	0.7
Beneficio "La Misericordia"							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
PST06	0	0.16	0.56	1.46	1.1	0.64	0.7
PST05	0	1.72	0.93	ND	3.7	0.71	1.4

Anexo 30. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la presencia de Plomo.

Plomo (Pb) (Abs. Mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
PST02	0.0	0.1	0.1	10.0	10.0	20.0	6.7
PST05	0.0	0.1	0.1	10.0	10.0	10.0	5.0
Beneficio "La Misericordia"							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
PST06	0	0.2199	0.0464	20	140	0	26.7
PST05	0	0.0724	0.0674	ND	50	0	10.0

Anexo 31. Cuadro de resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua de la presencia de Arsénico.

Arsénico (Ar) (Abs. Mg/l)							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
Beneficio "La Planta"							
PST02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PST05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Beneficio "La Misericordia"							
No.	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo	Cuarto monitoreo	Quinto monitoreo	Sexto monitoreo	Promedio
PST06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PST05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 32. Análisis estadístico del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio de café “La Planta” en los 5 puntos de muestreo.

Beneficio “La Planta”																			
No.	Punto Muestreo (a)	Punto Muestreo (b)	Potencial de Hidrógeno				Oxígeno Disuelto					Demanda Química de Oxígeno				Demanda Biológica de Oxígeno			
			Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	T	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.
1	P01	P02	6.66	7.06	0.1568	NS	7.76	7.59	1.44	0.209	NS	73	326.33	0.3029	NS	4.2	1.6	0.3285	NS
2	P01	PST01	6.66	3.82	<0.0001	**	7.76	0.19	249.25	<0.0001	**	73	12415	0.0033	**	4.2	1922	<0.0001	**
3	P01	PST02	6.66	4.38	0.0002	**	7.76	0.14	217.27	<0.0001	**	73	16501.7	<0.0001	**	4.2	1944.5	<0.0001	**
4	P01	PST03	6.66	4.39	0.0222	*	7.76	0.16	178.67	<0.0001	**	73	15323.3	0.0005	**	4.2	1760.75	0.0009	**
5	P01	PST04	6.66	4.51	0.0054	*	7.76	1.58	5.18	0.0066	**	73	8632	0.0876	NS	4.2	966	0.0467	*
6	P01	PST05	6.66	4.41	<0.0001	**	7.76	0.26	65.08	<0.0001	**	73	11853.3	0.0127	*	4.2	1360.5	0.0099	**
7	P02	PST01	7.06	3.82	<0.0001	**	7.59	0.19	69.94	<0.0001	**	326.33	12415	0.0033	**	16.8	1922	<0.0001	**
8	P03	PST02	7.06	4.38	0.001	**	7.59	0.14	63.11	<0.0001	**	326.33	16501.7	<0.0001	**	16.8	1944.5	<0.0001	**
9	P04	PST03	7.06	4.39	0.0286	*	7.59	0.14	63.98	<0.0001	**	326.33	15323.3	0.0007	**	16.8	1760.75	0.0009	**
10	P05	PST04	7.13	4.51	0.0014	**	7.61	1.58	5.49	0.0054	**	370	8632	0.1035	NS	18	966	0.049	*
11	P06	PST05	7.06	4.41	<0.0001	**	7.59	0.26	45.76	<0.0001	**	326.33	11853.3	0.0129	*	16.8	1360.5	0.0112	*
12	PST01	PST02	3.82	4.38	0.0622	NS	0.19	0.14	3.16	0.025	*	12415	16501.6	0.1671	NS	1922	1944.5	0.2727	NS
13	PST01	PST03	3.82	4.39	0.4897	NS	0.19	0.16	0.74	0.4914	NS	12415	15323.3	0.2184	NS	1922	1760.75	0.5104	NS
14	PST01	PST04	3.81	4.51	0.0811	NS	0.17	1.58	-1.2	0.2973	NS	13480	8632	0.2442	NS	1887.9	966	0.0352	*
15	PST01	PST05	3.82	4.41	0.0099	*	0.19	0.26	-0.54	0.6125	NS	12415	11853	0.8947	NS	1922	1360.5	0.166	NS
16	PST02	PST03	4.38	4.39	0.9965	NS	0.14	0.16	-0.49	0.6475	NS	16501.7	15323.3	0.5911	NS	1944.5	1760.75	0.4439	NS
17	PST02	PST04	4.21	4.51	0.473	NS	0.1	1.58	-1.24	0.282	NS	15876	8632	0.1263	NS	1908	966	0.0386	*
18	PST02	PST05	4.38	4.41	0.9412	NS	0.14	0.26	-0.99	0.3686	NS	16501.7	11853.3	0.1407	NS	1944.5	1360.5	0.1515	NS
19	PST03	PST04	4.11	4.51	0.7105	NS	0.14	1.58	-1.22	0.2905	NS	15482	8632	0.0313	*	1692.9	966	0.1681	NS
20	PST03	PST05	4.39	4.41	0.977	NS	0.16	0.26	-1.18	0.2901	NS	15323.3	11853.3	0.4348	NS	1760.75	1360.5	0.4472	NS
21	PST04	PST05	4.51	4.41	0.8148	NS	1.58	0.27	1.07	0.3467	NS	8632	10398	0.7321	NS	966	1249.2	0.6885	NS

*Significativo **Altamente Significativo NS=No Significativo

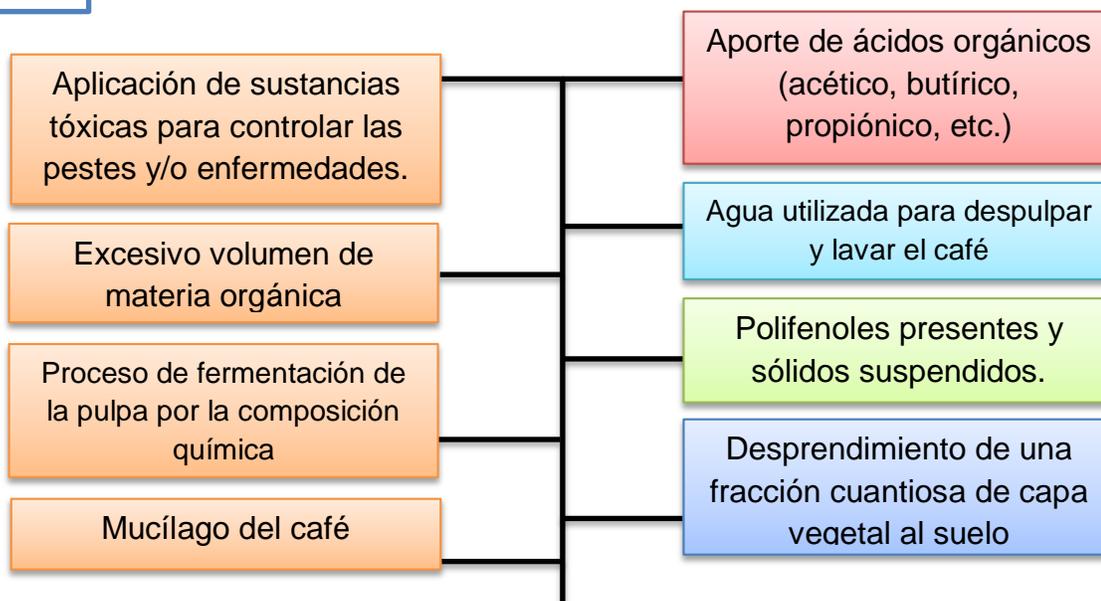
Anexo 33. Análisis estadístico del sistema de tratamiento de aguas residuales (aguas mieles) del beneficio de café “La Misericordia” en los 6 puntos de muestreo.

Beneficio “La Misericordia”																		
No.	Punto Muestreo (a)	Punto Muestreo (b)	Potencial de Hidrógeno				Oxígeno Disuelto				Demanda Química de Oxígeno				Demanda Biológica de Oxígeno			
			Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.	Media (a)	Media (b)	Sig.	Obs.
1	P01	P02	8.32	7.91	0.3078	NS	7.95	7.51	0.153	NS	77	154.5	0.2924	NS	1.74	4.04	0.0601	NS
2	P01	PST01	8.32	4.41	<0.0001	**	7.95	0.21	<0.0001	**	77	12443.3	0.0075	**	1.74	1581.75	0.001	*
3	P01	PST02	8.32	5.12	0.0004	**	7.95	0.32	<0.0001	**	77	17116.7	0.1346	NS	1.74	1441.5	0.0006	*
4	P01	PST03	8.32	4.3	<0.0001	**	7.95	0.07	<0.0001	**	77	18540	0.0163	*	1.74	1939.75	<0.0001	*
5	P01	PST04	8.32	4.42	<0.0001	**	7.95	0.13	<0.0001	**	77	15510	0.0025	**	1.74	1982	<0.0001	*
6	P01	PST05	8.32	4.25	0.0001	**	7.95	0.19	<0.0001	**	77	17126.7	0.0003	**	1.74	1977.25	<0.0001	*
7	P01	PST06	8.32	4.54	<0.0001	**	8.05	0.14	<0.0001	**	77.4	21902	0.0023	**	1.51	2006.4	<0.0001	*
8	P02	PST01	7.91	4.41	0.0002	**	7.51	0.21	<0.0001	**	154.5	12443.3	0.0079	**	4.04	1581.75	0.0011	*
9	P02	PST02	7.91	5.12	0.0044	**	7.51	0.32	<0.0001	**	154.5	17116.7	0.1367	NS	4.04	1441.5	0.0006	*
10	P02	PST03	7.91	4.3	0.0008	**	7.51	0.07	<0.0001	**	154.5	18540	0.0168	*	4.04	1939.75	<0.0001	*
11	P02	PST04	7.91	4.42	0.0008	**	7.51	0.13	<0.0001	**	154.5	15510	0.0026	**	4.04	1982	<0.0001	*
12	P02	PST05	7.91	4.25	0.0039	**	7.51	0.19	<0.0001	**	154.5	17126.7	0.0003	**	4.04	1977.25	<0.0001	*
13	P02	PST06	8.15	4.54	0.0006	**	7.52	0.14	<0.0001	**	148.8	21902	0.0024	**	4.52	2006.4	<0.0001	*
14	PST01	PST02	4.41	5.12	0.1425	NS	0.21	0.32	0.1307	NS	12443.3	17116.7	0.5799	NS	1581.75	1441.5	0.679	NS
15	PST01	PST03	4.41	4.3	0.6058	NS	0.21	0.07	0.0066	NS	124433	18540	0.3297	NS	1581.75	1939.75	0.2231	NS
16	PST01	PST04	4.41	4.42	0.9426	NS	0.21	0.13	0.1909	NS	12443.3	15510	0.5014	NS	1581.75	1982	0.165	NS
17	PST01	PST05	4.41	4.25	0.7451	NS	0.21	0.19	0.8016	NS	12443.3	17126.7	0.0914	NS	1581.75	1977.25	0.194	NS
18	PST01	PST06	4.39	4.54	0.4065	NS	0.22	0.14	0.0848	NS	14546	21902	0.119	NS	1649.1	2006.4	0.3119	NS
19	PST02	PST03	5.12	4.3	0.0527	NS	0.32	0.07	0.0077	*	17116.7	18540	0.9139	NS	1441.5	1939.75	0.0679	NS
20	PST02	PST04	5.12	4.42	0.0718	NS	0.32	0.13	0.0389	NS	17116.7	15510	0.8957	NS	1441.5	1982	0.0558	**
21	PST02	PST05	5.12	4.25	0.0723	NS	0.32	0.19	0.1945	NS	17116.7	17126.7	0.9991	NS	1441.5	1977.25	0.0521	**
22	PST02	PST06	5.17	4.54	0.1877	NS	0.35	0.14	0.0056	*	19820	21902	0.8701	NS	1513.8	2006.4	0.1174	NS
23	PST03	PST04	4.3	4.42	0.1452	NS	0.07	0.13	0.0954	NS	18540	15510	0.8701	NS	1939.75	1982	0.133	NS
24	PST03	PST05	4.3	4.25	0.854	NS	0.07	0.19	0.1641	NS	18540	17126.7	0.769	NS	1939.75	1977.25	0.0563	**
25	PST03	PST06	4.26	4.54	0.0951	NS	0.07	0.14	0.0805	NS	19974	21902	0.6153	NS	1941	2006.4	0.0095	*
26	PST04	PST05	4.42	4.25	0.5571	NS	0.19	0.19	0.4552	NS	15510	17126.7	0.5996	NS	1982	1977.25	0.9024	NS
27	PST04	PST06	4.37	4.54	0.13	NS	0.11	0.14	0.6135	NS	16608	21902	0.1887	NS	1989.6	2006.4	0.7034	NS
28	PST05	PST06	4.12	4.54	0.3638	NS	0.15	0.14	0.8473	NS	18354	21902	0.2229	NS	1983.9	2006.4	0.026	**

*Significativo **Altamente Significativo NS=No Significativo

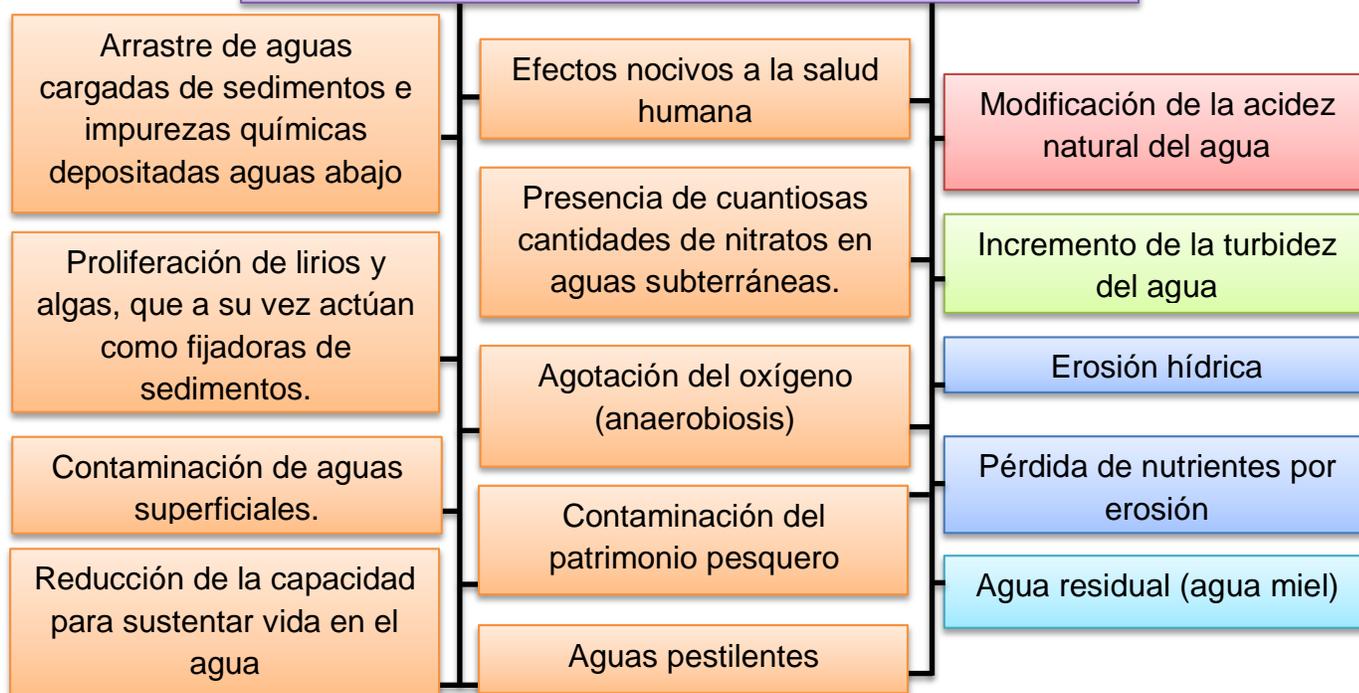
Anexo 34. Árbol de problemas

Efectos



Problema

Contaminación hídrica por aguas residuales resultantes del beneficiado húmedo de café de la parte alta de la cuenca del río Lempa, municipio de Esquipulas.



Causas