

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MIELES GENERADAS DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, POR MEDIO DE
PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN EN LA FINCA LA SIRENA,
CORREGIMIENTO SAN RAFAEL, EN EL MUNICIPIO DE TULUÁ, VALLE DEL
CAUCA.**

**ALVARO JAVIER LÓPEZ CASTAÑO
JAIRO ALEXIS PATIÑO SÁNCHEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ – VALLE DEL CAUCA
Marzo, 2019**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MIELES GENERADAS DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, POR MEDIO DE
PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN EN LA FINCA LA SIRENA,
CORREGIMIENTO SAN RAFAEL, EN EL MUNICIPIO DE TULUÁ, VALLE DEL
CAUCA.**

**ALVARO JAVIER LÓPEZ CASTAÑO
JAIRO ALEXIS PATIÑO SÁNCHEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTOR
Javier Mauricio Echeverri Bejarano
Ingeniero Ambiental**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ – VALLE DEL CAUCA
Marzo, 2019**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tuluá, 20 de Marzo de 2019

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi hermana Vanesa Patiño que fue ese apoyo durante mi formación, a mis padres Maribel Sánchez y Jairo Patiño, porque fueron mi soporte durante mi formación, cada uno de ellos contribuyó grandes cosas para mi vida y mi formación académica y ahora profesional, todo este trabajo ha sido gracias a ellos.

Jairo Alexis Patiño

A mi familia, pero más especialmente a mi tía Sara, quien fue la persona la cual brindó toda su confianza y anhelos en darme una profesión y a cada uno de mis tíos, ya que cada uno de ellos ha sido el mejor apoyo y colaboración que he podido tener para poder llegar a terminar mi carrera.

Álvaro López Castaño

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud para poder llegar a este momento tan grato de mi vida, por estar conmigo y darme fuerza en este camino universitario.

A mis padres y hermanos por ser el apoyo y la motivación para este gran paso en mi vida, ser esa compañía y enseñarme la nobleza y el sentido de pertenecía para realizar todo que me propongo.

Y a todos mis compañeros con quienes compartí todo este tiempo especialmente a Álvaro, con quien compartí muchas actividades en este ciclo de mi vida ya que no solo fue un compañero sino que se convirtió en ese gran amigo.

Jairo Alexis Patiño

El agradecimiento inicial y más grande para mi Dios, porque sencillamente nada se puede sin la presencia de él, después esta mi familia que es lo más sagrado que he podido tener, la cual me apoya en todas mis decisiones y caminos a seguir. Y por último y no menos importante mi compañero, que se ha convertido en casi un hermano y nuestros profesores los cuales generan una base de conocimiento y colaboración en cualquier aspecto que incluya nuestra profesión.

Álvaro López Castaño

CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	22
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. MARCO REFERENCIAL	25
4.1 MARCO TEÓRICO.....	25
4.1.1. Proceso del café.....	26
4.1.2. Agua residual del beneficio del café.....	27
4.1.3. Fitorremediación	29
4.1.4. Humedal.....	35
4.1.5. Plantas a utilizar en el proyecto	39
4.1.6. Determinación de los parámetros	42
4.2. MARCO LEGAL	45
4.3. MARCO CONCEPTUAL	48
4.4. ESTADO DEL ARTE	50
5. DISEÑO METODOLOGÍA.....	59
5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
5.2. FASE 1. EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MIELES.	60
5.2.1. Actividad N°1. Conocimiento del proceso de producción del beneficio del café.	60
5.2.2. Actividad N°2. Muestreo	60

5.3. FASE 2. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN CON DIFERENTES PLANTAS USADAS EN LA FITORREMEDIACIÓN.	61
5.3.1. Actividad N°1. Diseño e implementación del sistema.	61
5.3.2. Actividad N°2. muestreo	61
5.3.3. Actividad N°3. Análisis de resultados	63
5.4. FASE 3. PLANTEAR UN SISTEMA PILOTO REAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES CON PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN.	63
6. RESULTADOS	65
6.1. FASE 1. EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MIELES.	65
6.1.1. Actividad N°1. Conocimiento del proceso de producción del beneficio del café.	65
6.1.2. Actividad N°2. Muestreo	71
6.2. FASE 2. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN CON DIFERENTES PLANTAS USADAS EN LA FITORREMEDIACIÓN.	75
6.2.1. Actividad N°1. Diseño del sistema	75
6.2.2. Actividad N°2. Muestreo	86
6.2.3. Actividad N°3. Análisis de resultados	88
6.3. FASE 3. PLANTEAR UN SISTEMA PILOTO REAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES CON PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN.	93
6.3.1. Actividad N° 1. Diseño del sistema	94
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	112

LISTA DE CUADROS

Pag.	
	Cuadro 1. Tipos de fitorremediación32
	Cuadro 2. Normatividad45
	Cuadro 3. Digestión y fitorremediación de aguas residuales de beneficio de café 51
	Cuadro 4. Aprovechamiento sistémico de la pulpa de café como residuo agrícola y tratamiento de las aguas residuales mieles por Biorremediación en el alto mayo .52
	Cuadro 5. Diseño y medición de las características de estructura y operación para los prototipos de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical y filtro percolador para remoción de materia orgánica.....53
	Cuadro 6. Bioprospección de plantas nativas para uso en proceso de Biorremediación: caso heliconea Psittacorum (Heliconiaceae)55
	Cuadro 7. Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales generadas en la producción de la panela57

LISTA DE IMÁGENES

	Pag.
Imagen 1. Ubicación finca.....	18
Imagen 2. Grano de café	25
Imagen 3. Ilustración Fitorremediación	30
Imagen 4. Tipos de fitorremediación	33
Imagen 5. Heliconia.....	39
Imagen 6. Bijao (Calathea lutea).....	41
Imagen 7. Grano rojo maduro	65
Imagen 8. Grano semi-maduro	66
Imagen 9. Grano verde.....	66
Imagen 10. Peladora de café	67
Imagen 11. Ingreso de café	67
Imagen 12. Grano despulpado y cereza del café	68
Imagen 13. Llenado	70
Imagen 14. Segundo lavado	70
Imagen 15. Zarandeo	70
Imagen 16. Afluente.....	71
Imagen 17. Vertimiento.....	71
Imagen 18. Toma muestra caracterización inicial	73
Imagen 19. Obtención del Bijao	77
Imagen 20. Compra de heliconia	78
Imagen 21. Adecuación del trabajo.....	79
Imagen 22. Tanque Homogeneizador	80
Imagen 23. Tanque anaerobio	81
Imagen 24. Estructura del humedal	82
Imagen 25. Grava lavada.....	83
Imagen 26. Siembra de plantas	84
Imagen 27. Plantas afectadas	86
Imagen 28. Esquema humedales en series	97
Imagen 29. Contenido humedales	98
Imagen 30. Esquema del sistema general	99

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Gráfica 1. Análisis DBO ₅	91
Gráfica 2. Análisis DQO.....	92
Gráfica 3. Análisis pH	93

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	31
Tabla 2. Volumen y peso en cada época de recolección.	69
Tabla 3. Volumen de agua usado en lavado	69
Tabla 4. Límites de parámetros permisibles.....	72
Tabla 5. Caracterización aguas beneficio del café	74
Tabla 6. Adaptación de plantas.....	85
Tabla 7. Periodo tomas de muestras	87
Tabla 8. Resultados entrada vs salida del sistema de tratamiento piloto	88
Tabla 9. Muestreo numero 1	88
Tabla 10. Muestreo número 2	89
Tabla 11. Muestreo numero 3	89
Tabla 12. Muestreo numero 4	90
Tabla 13. Muestreo numero 5	90

LISTA DE ECUACIONES

	Pag.
Ecuación 1. Relación DBO_5/DQO	62
Ecuación 2. Eficiencia de remoción	63
Ecuación 3. Carga hidráulica volumétrica	95

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cps	Café Pergamino Seco
Cm	Centímetro
°C	Grado Celsius
kg	Kilogramo
N	Eficiencia
L	Litro
%	Porcentaje
C	Concentración
ppm	Partes por millón
mL	Mililitros
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
m³	Metros cúbicos
m²	Metros cuadrados
m	Metros
mm	Milímetros
CO	Carga Orgánica
So	Carga Contaminante de Entrada
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
V_{max}	Volumen Máximo
V_u	Volumen Util
Q	Caudal
AR	Agua Residual
“	Pulgadas

GLOSARIO

DQO: la demanda química de oxígeno determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

DBO₅: la demanda biológica de oxígeno es la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas en un periodo de cinco días a 20 grados centígrados.

SST: los sólidos suspendidos totales están conformados por limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación.

TURBIEDAD: alteración de la propiedad óptica del agua generada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos.

pH: término el cual se utiliza para expresar la concentración del ión hidrógeno o más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina total del agua.

ROSETONES: medio de contacto rugoso para biomasa usado en tratamiento de aguas residuales domésticas o con alto contenido de carga orgánica.

BELCOSUP: tecnología usada para despulpar el café, con una reducción de uso de agua cerca al 72%, el cual retiene cerca del 50% de pulpa evitando una contaminación cerca del 23%.

VERTIMIENTO: conjunto de materiales de desecho que se vierten en algún lugar, especialmente los procedentes de instalaciones industriales o energéticas.

MACRÓFITA: son un tipo de plantas las cuales tienen las características de desarrollarse en suelos saturados de agua.

ISOTANQUE: recipiente de gran tamaño diseñado para transportar toda clase de líquidos, en cuya variedad se engloban los líquidos potables (categoría alimentación).

HUMEDAL: zona de tierra generalmente plana, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente al cubrirse regularmente de agua.

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes del beneficio del café de la finca La Sirena ubicada en el corregimiento San Rafael del municipio de Tuluá Valle del Cauca, con el interés de disminuir la carga contaminante presente en dichas aguas. Para la elaboración de dicho sistema se diseñó una prueba piloto, la cual consto de tanques dispuestos en serie y posteriormente dos líneas de tanques reducidos a su mitad en donde se sembraron dos diferentes tipos de plantas: Heliconia enana (*Heliconia psittacorum*) y Bijao (*Calathea lutea*), el prototipo del sistema descrito anteriormente fue montado de esa manera con el objetivo de poder determinar cuál de las dos plantas logra remover mayor carga contaminante. El prototipo se diseñó para tratar las aguas mieles residuales que se generan en la temporada de travesía, para ello los tanques fueron de una capacidad de 1 m³.

Las caracterizaciones de las aguas residuales consistieron en analizar los parámetros críticos antes y después de ingresar al sistema de tratamiento que a su paso contaba con un tanque homogeneizador de una capacidad de 1 m³, este recibía las aguas provenientes de dos lavados diferentes y regulaba el caudal entrante al tanque anaerobio, este tanque anaerobio de flujo vertical o ascendente se encargaba de reducir la carga contaminante, el cual a su vez, contenía microorganismos, los cuales estaban presente en tubos plásticos insertados dentro de él, que funcionaban como Rosetones. Posterior a este tanque anaerobio, se conducía el caudal, por medio de tubería de 2" a dos líneas de humedales de flujo subsuperficial, cada línea está compuesta por un tanque de 1 m³ dividido en dos partes iguales para una mejor área de contacto con el caudal contaminado, estos a su vez contenían grava en un 70% de capacidad, 20% de terreno del mismo sitio de extracción, y un borde libre de 10%, en cada mitad se contaba con una densidad de plantas de 9, para un total de 18 plantas para cada línea diferente de humedales.

Se analizaron muestras entrantes al sistema al igual que muestras salientes para cada lavado realizado y al analizar la eficiencia de este mediante sus procesos, se tuvo 5 muestreos para cada línea de plantas y con estos, identificando el porcentaje de remoción más efectivo para hallar la planta más eficaz. De la Heliconia enana (*Heliconia psittacorum*) se obtuvieron los mejores resultados entre los cuales están en DQO el muestreo número (1) con remoción de carga orgánica de 13.259 mg/L O₂, con una eficiencia de 92,5%, en SST el muestreo número 5 una reducción de 2,448 mg/L con una eficiencia de 94,22%, con una significativa

reducción en la turbiedad en los 5 muestreos. Se diseñó de esta manera un sistema de tratamiento de aguas residuales mieles generadas del beneficio del café.

Palabras claves: café, agua residual, fitorremediación, humedal, plantas, carga orgánica.

ABSTRACT

In the present work, a treatment system was designed for wastewater from the coffee benefit of the La Sirena farm located in the San Rafael district of Tuluá, Valle del Cauca, with the interest of reducing the contaminant load present in said waters. For the elaboration of this system a pilot test was designed, which consisted of tanks arranged in series and later two lines of tanks reduced to their half where two different types of plants were planted: Heliconia dwarf (*Heliconia psittacorum*) and Bijao (*Calathea lutea*), the prototype of the system described above was assembled in that way with the aim of being able to determine which of the two plants manages to remove more contaminant load. The prototype was designed to treat the residual waters that are generated during the sleeper season, for which the tanks were of a capacity of 1 m³.

The characterizations of the wastewater consisted of analyzing the critical parameters before and after entering the treatment system that had a homogenizer tank with a capacity of 1 m³, which received the water from two different washes and regulated the flow. Incoming to the anaerobic tank, this anaerobic tank of vertical or ascending flow was responsible for reducing the contaminant load, which in turn, contained microorganisms, which were present in plastic tubes inserted inside it, which functioned as rosettes. After this anaerobic tank, the flow was conducted, by means of a 2 "pipeline to two wetland lines of subsurface flow, each line is composed of a 1 m³ tank divided into two equal parts for a better contact area with the contaminated flow, these in turn contained gravel in a 70% capacity, 20% of land in the same extraction site, and a free edge of 10%, in each half it had a plant density of 9, for a total of 18 plants for each different line of wetlands.

We analyzed incoming samples to the system as well as outgoing samples for each wash performed and when analyzing the efficiency of this through their processes, we had 5 samplings for each line of plants and with these, identifying the most effective removal percentage to find the plant more effective. Of the dwarf Heliconia (*Heliconia psittacorum*) the best results were obtained, among which the sampling number (1) with removal of organic load of 13,259 mg/L O₂, with an efficiency of 92.5%, was obtained in SQO. number 5 a reduction of 2,448 mg / L with an efficiency of 94.22%, with a significant reduction in turbidity in the 5 samplings. A wastewater treatment system for honey was generated in this way.

Keywords: coffee, wastewater, phytoremediation, wetland, plants, organic load.

0. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se pretende demostrar la viabilidad que existe en realizar la fitorremediación como proceso de depuración para las aguas residuales provenientes del beneficio del café hacia los pequeños caficultores, dado que dicho tratamiento es de fácil adquisición por los materiales o elementos que se requieren para su implementación. Dichas aguas mieles contiene características físico químicas que al no ser tratadas adecuadamente antes de ser vertidas pueden causar impactos negativos al medio ambiente como alteraciones en los cuerpos de agua, suelo, flora y fauna, por lo tanto, es adecuado realizar un respectivo tratamiento a dichas aguas residuales.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, a continuación se describirá las fases que conforma el proyecto para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio del café, el cual se encuentra dividido en tres fases, la fase I está relacionada con el análisis del agua residual para así determinar el sistema piloto, la fase II para el diseño e implantación de la prueba piloto se tuvo en cuenta la cantidad de agua miel producida en la temporada de travesía, adicionalmente la adaptación del terreno, construcción del sistema, aclimatación de las plantas y el periodo de muestreo de las aguas tratadas en el sistema, por último la fase III que con base a los análisis de eficiencia de las plantas y los resultados obtenidos en el sistema piloto se planteó un sistema real para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café de la finca la Sirena. Para el cumplimiento de lo descrito anteriormente, se realizó el diseño del sistema que consistió de un tanque homogeneizador, un tanque anaerobio y dos líneas de humedales con sus respectivas plantas, se recopiló información teórica y práctica, facilitándose así, la ubicación de las especies para su posterior recolección, transporte de materiales y adecuación del terreno, se tuvo en cuenta la adaptación de las plantas al medio (humedal), después de la adaptación se recolectaron cinco muestras puntuales, a la cuales se les realizaron análisis fisicoquímicos de los parámetros de DBO₅, DQO, SST, pH y turbiedad además se tuvo en cuenta en la toma de las muestras el tiempo de retención ya que este dependía del lavado de café que se realizará en la finca, para estos análisis se realizaron mediciones de reducción de carga orgánica al igual que eficiencia de las dos plantas evaluadas y se seleccionó la planta con la mejor remoción, con la cual se diseñó un sistema de tratamiento que cumple con la disminución de las cargas contaminantes del agua residual y dando cumplimiento con lo exigido por la normatividad colombiana.

Finalmente se encuentran los resultados, las conclusiones y las recomendaciones acordes a lo demostrado en el procedimiento y elaboración del sistema. Los resultados, sus respectivos análisis y las conclusiones planteadas, se encuentran en el presente documento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según (ANDigital, 2014) “A nivel internacional, el café es considerado como la segunda bebida más consumida después del agua, al igual es considerada como el motor económico de muchos países del trópico, siendo también el segundo producto con el que más se comercializa a nivel mundial tras el petróleo”¹. “La producción de café ha disminuido, según lo demostró la Federación nacional de Cafeteros (FNC) que dio a conocer que entre enero y febrero del año 2018, la producción de café tuvo una caída de 9%, sí se tiene en cuenta que la producción logró 2,3 millones de sacos. En el mismo periodo del año pasado se produjeron 2,6 millones de sacos”², es un dato muy significativo ya que por kg de café producido se gasta alrededor de 60 a 70 litros de agua.

En Colombia llegó el café por medio de Venezuela e implementado al principio por sacerdotes pasando a ser siembras de grandes extensiones en grandes haciendas del departamento de Cundinamarca y Santander hasta finales del siglo XIX cuando por hecho de guerras internas del país estos departamentos y haciendas entraron en quiebra por deudas externas y no poder tener como comercializar, a mediados de 1875 la producción de café en pequeñas extensiones de parcelas por parte de pequeños productores tuvo una intensidad considerable llegando a mediados del 1930 tener un aumento importante en la economía del país obteniendo grandes competidores como Brasil y la India, llegando a ser el segundo productor de café a nivel internacional³.

Por la producción de café hay que tener en cuenta puntos positivos como el empleo que se crea para pequeños caficultores siendo cerca de 25 millones alrededor de todo el mundo llegando a 147 millones de sacos de 60 kg de café vendidos en el 2013. En el periodo 2016-2017 las exportaciones superaron los 5,1 millones de sacos, 12% más frente a los sacos exportados en el mismo lapso anterior, pasando de 136.000 sacos a 275.000, registrando en enero del 2017 un aumento de un 3%⁴.

¹ ANDigital. El café es la bebida más consumida después del agua y tiene beneficios para la salud. Argentina. ANDigital. 2014.

² Colprensa. Producción de café en Colombia ha caído un 9 % en lo que va del 2018. 2018.

³ FEDECAFE. Una bonita historia. 2010.

⁴ FEDECAFE. Producción de café de Colombia aumenta 12% en enero. Sala de prensa. 2017.

En el Valle del Cauca según (El tiempo, 2015) “el Valle sobresale por la participación de cultivos agroindustriales y plantaciones forestales” El área agrícola sembrada de estos cultivos se encuentra distribuida entre la caña de azúcar, con el 54,3 por ciento; otros agroindustriales, con 22,7 por ciento; café, con 18,7 por ciento; caña panelera, el 2,4 por ciento y cacao con el 1,8 por ciento”⁵. “Según la Federación nacional de cafeteros de 903,95 hectáreas de café sembradas en 2017, el Valle del Cauca aporta un 61,11 de hectáreas de café, ubicándose en el sexto lugar de producción de café a nivel nacional por departamento”⁶. “Teniendo importancia en el ámbito social puesto que genera ingresos alrededor de 516.000 familias de las cuales el 95% lo hace con siembras en sectores con menos de 5 Hectáreas, generando 700.000 empleos, se entiende así; que cerca de 3,8 millones de colombianos dependientes del café siendo así un 8% de la población Colombiana”⁷.

La producción de café en el sector norte del departamento del Valle del Cauca es parte importante, puesto que durante mucho tiempo se ha caracterizado por sembrar, producir y tener de los mejores cafés del Eje cafetero, “el Valle del Cauca se mantiene estable en cantidades de áreas cosechadas para en el periodo 2013-2017, pero su productividad en peso por hectárea disminuyó cabe recalcar que en el periodo 2007-2011 el Valle del Cauca redujo sus cultivos bajo sombra un -12,42%”⁸.

Teniendo en cuenta lo descrito hasta el momento, es conveniente resaltar que a pesar de ser la producción de café uno de los procesos productivos más importantes en el Valle del Cauca por el aporte social en la generación de empleo, es una actividad agroindustrial que requiere de varios recursos naturales para llevar a cabo cada una de las etapas que conforma el proceso del beneficio de café, entre ellas se encuentra el uso o la demanda del recurso hídrico y el suelo, siendo dos recursos naturales mayormente explotados por la ejecución de estas actividades. Adicionalmente, son los responsables de la contaminación hídrica ocasionada por el vertimiento de los subproductos (lixiviados, aguas mieles, pulpa de café) que según sus características físico químicas poseen alta carga orgánica, por lo tanto al no ser tratadas o depuradas de manera adecuada trae como efecto deterioro al ambiente provocando de manera directa daño a la salud pública.

⁵ El tiempo. Valle, despensa de aguacate, piña y banano común. 2015.

⁶ FEDECAFE. Valor de la cosecha registrada – anual desde 2000.

⁷ LOZANO, Andrés. YOSHIDA, Paula. Índice de competitividad regional cafetero. S.f.

⁸ OCAMPO, Olga. Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. Vol. 36. Manizales. 2017. P. 151

Cabe concluir que es necesario realizar adecuados tratamientos a dichas aguas residuales para evitar daños o alteraciones a la flora y fauna biótica, dado que nos abastece y provee de servicios ecosistemicos, los cuales permite la subsistencia de cada ser vivo.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La finca la Sirena se encuentra a 10 minutos del corregimiento de San Rafael y a 30 minutos del municipio de Tuluá, cuenta con 12.000 plantas de café arábigo en etapa de crecimiento, según el propietario; en la actualidad de la finca se conoce que produce 160 arrobas e café seco y para este número se debe cosechar 9.600 kg de café cereza y para que un árbol de café adulto produzca 0,5 kg de café seco, después de su debido tratamiento se producirá 1 kg de cereza (despulpado), para el despulpado se usan por kg de café 60-70 litros de agua y se hacen 3 lavados, se tiene como resultado un gasto de 1.080 m³ anuales y un gasto semanal de 22,5 m³, por lo cual se puede dimensionar el gran impacto que produce el proceso del beneficio del café; las aguas mieles generadas son vertidas al terreno y por poseer un pH ácido tiende a quemar el material vegetal presente, siendo en este caso los cultivos de café y plátano que se encuentran aledaños. En la actualidad no se tienen datos de caudal registrado ni ningún tipo de manejo que se le esté dando a estos vertimientos, ya que el lavado y despulpado se hace dependiendo la cantidad de café, por tal motivo el caudal no es continuo. En la siguiente imagen se podrá observar la ubicación geográfica de la finca la Sirena.

Imagen 1. Ubicación finca



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/San+Rafael,+Bugalagrande,+Valle+del+Cauca/@4.0793981,->

[76.0739294,2942m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e39b9d7d25c318d:0x783582d8b5d35d54!8m2!3d4.10803!4d-76.03028!10m1!1e3](https://www.google.com/maps/place/San+Rafael,+Bugalagrande,+Valle+del+Cauca/@4.0793981,-76.0739294,2942m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e39b9d7d25c318d:0x783582d8b5d35d54!8m2!3d4.10803!4d-76.03028!10m1!1e3)

Para el caso del agua residuales provenientes del beneficio del café, se les dificulta tratarlas dado que gran parte de los caficultores se encuentran establecidos como micro-empresarios, porque en su mayoría no poseen los recursos económicos para hacer una debida disposición de las aguas residuales provenientes del beneficio del café, ya que estos instrumentos y/o maquinaria para el proceso de despulpado; son en su gran mayoría de altos precios o difícil adquisición tanto como económica como en accesibilidad o hecho pensado simplemente para grandes productores.

Ante las necesidades de no solo reducir el consumo de agua en el lavado y pelado del café, también se ve implicado la reducción de cargas contaminantes, un estudio realizado por Cenicafé, tiene como resultado que el “72% de la carga contaminante generada por el Proceso de Beneficio Húmedo del Café (PBHC), correspondientes a un valor de DQO de 82.080 mg/kg de Café Cereza (cc), se ocasionan al despulpar y transportar la pulpa con agua y el 28% restante de la contaminación corresponden a un valor de DQO de 31.920 mg/kg de carga contaminante y es ocasionada por las mieles del lavado”⁹. “El menor consumo específico de agua en fermentación natural, de 4,17 L/kg de Café Pergamino seco (cps), se obtiene lavando el café en el tanque con cuatro enjuagues, generando efluentes con un promedio de contaminación cercana a 26.500 ppm de DQO por kilogramo de cps”¹⁰, un agua residual con estas características y además con un pH bajo (ácido) tiene grandes impactos negativos para la fuente receptora, como son pérdida de ecosistemas acuáticos y desequilibrio de afluente, trayendo grandes impactos negativos al ecosistema.

Un estudio realizado por Cenicafé indica que, “para el manejo y control de los vertimientos de las aguas residuales, Cenicafé ha desarrollado tecnologías que permiten remover entre el 80% y el 90% de la DQO. Sin embargo, estos efluentes presentan alta carga orgánica, que afecta a los ecosistemas, si son vertidos sin tratamiento previo. Con la mezcla de las mieles y la pulpa en la tecnología Becolsub se logra controlar el 92% de la contaminación potencial del café, estas aguas residuales o lixiviados contaminantes se ha recomendado depositarlos en un tanque y utilizarlos mezclados con agua, con menor carga orgánica, para el riego sobre la pulpa o en los lombricultivos”¹¹. Estos tipos de tratamientos son de gran eficiencia pero tienen como gran falencia el alto costo si se piensa en los

⁹ RAMIREZ, Cesar. OLIVEROS, Carlos. SANZ, Juan. Manejo de lixiviados y aguas del lavado en el proceso del beneficio húmedo del Café. 2015. p.1

¹⁰ *Ibíd.*p.46

¹¹ *Ibíd.*p.47

pequeños caficultores los cuales no poseen los recursos necesarios para poder adquirirlo y mantenerlo.

Los impactos más significativos en los cuerpos receptores por causa del beneficio del café son: "aumento de la DBO₅ por encima de 2500 mg/L, disminución del oxígeno disuelto, disminución del pH del agua, alto consumo de agua, sólidos en suspensión, afectaciones a nichos ecológicos acuáticos, erosión potencial por cárcavas, modificaciones en el paisaje, imposibilidad del uso de las aguas para el consumo humano"¹².

Para el tratamiento de las aguas mieles generadas por el beneficio del café, las cuales poseen características de alta materia orgánica, al igual que altas cantidades de DBO₅, como DQO, así como un bajo pH (agua residual ácida), se cuenta con equipos para su tratamiento con una eficiencia mayor al 80% pero de difícil adquisición ya que tienen un alto costo económico. En gran parte de casos los vertimientos de estas aguas residuales no se realizan bajo ningún tipo de control, puesto que no sirven de aplicación directa como fertilizante ya que su composición de bajo pH resulta ser completamente negativo para la planta, por esta situación se vierten directamente a quebradas, ríos y acequias las cuales llevan estas aguas por tratarse de zona de cuenca hidrográfica a un cauce más grande, por esto surge la necesidad de hacer un control de estas aguas y que mejor opción de un tratamiento biológico y económico para estos efluentes.

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas Fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas¹³.

Un estudio realizado en México en el cual se evaluó la eficiencia de un sistema para el tratamiento de aguas residuales del beneficio húmedo del café que conjuntaba en secuencia con un filtro Anaerobio y lagunas con *Spirodela*

¹² SAVIGNE, Domingo. Impacto de los residuales del beneficio húmedo del café en la provincia Guantánamo. Cuba.2017.

¹³ DELGADILLO, Angélica. GONZALEZ, Cesar. PRIETO, Francisco. VILLAGÓMEZ, José. ACEVEDO, Otilio. Una alternativa para eliminar la contaminación. Pachuca. 2011. p.597.

polyrrhiza, a nivel de laboratorio, teniendo como resultado “altas remociones de SS y de DBO₅ a una tasa representativa hídrica de (THR) de 7 días, además; *Spirodela polyrrhiza*, demostró una productividad de proteína alta al cultivarla con efluentes anaeróbicos demostró ser eficiente en la remoción de Nitrógeno total y amoniacal”¹⁴.

En Colombia hay normas que dictan los lineamientos por los cuales un agua residual puede ser vertida a un afluente con el fin de no causar impactos negativos al medio ambiente como es la resolución 0631 del 2015, Capítulo VI, Artículo N° 9 “parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas ARnd a cuerpos de aguas superficiales”¹⁵.

¹⁴ OLGUÍN, Eugenia. SÁNCHEZ, Gloria. HERNANDEZ, Elizabeth. GALLARDO, Isisyourha. MERCADO, Gabriel. Digestión y Fitorremediación de aguas residuales de beneficio de café. Xalapa. S.f.

¹⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631, por la cual se establecen los parámetros y los valores permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 2015.

2. JUSTIFICACIÓN

Durante varios años se ha entendido que el sector cafetero grande y pequeño del país en mas parte los pequeños caficultores, no hacen una debida disposición de sus residuos. Según los datos históricos descritos por Cenicafe en su página web, “El Valle del Cauca se ubicó como el sexto departamento con más hectáreas de café sembradas hasta septiembre del año 2017”¹⁶. Para el sector norte del Valle del Cauca se hace común las fincas cafeteras de menores extensiones y producciones en las que sus residuos pueden contaminar tanto tierra como agua, suelo, aire etc.

Con este trabajo que se realizó en la finca la Sirena, se buscó solucionar las cargas contaminantes, DBO₅, DQO, bajo pH y SSD reduciéndolas de manera efectiva, ya que se manejó por medio de un método sencillo, accesible y económico, puesto que no se usó ningún tipo de maquinaria, estructura mayor, o excavaciones profundas, puesto que estos vertimientos por lo general se hacen de manera directa a cuerpos de agua o al suelo. Al realizar un proceso de Fitorremediación se buscó tener soluciones positivas para pequeños caficultores de zonas de montaña, los cuales no cuentan en gran parte con suficientes recursos económicos para realizar un tratamiento de las aguas residuales que generan impactos ambientales al agua y al suelo fundamentalmente.

Con los beneficios mencionados anteriormente, se lograría contemplar un aporte altamente positivo tanto como para el sector cafetero del Valle del Cauca por reducción de cargas contaminantes derivadas de esta actividad agrícola, así como generar un avance ambiental en la región, permitiendo preservar cuerpos y vida acuática, puesto que “Colombia posee el 1,96% del agua dulce en todo el mundo al igual que 0,77% de la superficie hídrica”¹⁷; por estas y más razones se hace necesario su cuidado más mínimo al igual que la biodiversidad y características naturales de los recursos hídricos en la región, por buen manejo de vertimientos al igual que su reducción de cargas contaminantes de todo tipo. Al mismo tiempo generar cumplimiento con la normatividad actual colombiana en los parámetros exigidos máximos beneficio del café según federación nacional de cafeteros, para

¹⁶ CENICAFÉ. Estadísticas históricas.

https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas/

¹⁷ CENICAFÉ. RODRÍGUEZ, Nelson. Normativa ambiental relacionada con la GIRH en Colombia.

“Estrategias y planes de acción por parte de los caficultores”. [diapositivas]. 2015.

producción de café tradicional, como lo son: “**DQO**: 3000 mg/L O₂, **pH**: 5-9, **DBO₅**: No reporta, **SST**: 800,00 mg/L, **SSD**: 10,00 ml/L y **grasas**: 10,0 mg/L”¹⁸.

De manera indirecta se implementará una conciencia ambiental en los caficultores en aspectos tales como su pensar, actuar y manejar todo tipo de generación de aguas residuales, por medio de charlas instructivas que demostraran los beneficios tanto económicos como ecológicos que este tipo de solución puede generar.

Según los resultados que se obtuvieron del estudio de Fitorremediación se lograría determinar qué tipo de planta será la más adecuada para realizar los humedales de Biorremediación con el mucilago del café y así llegar a implementarlo en todo tipo de sectores en el Valle del Cauca, puesto que se tiene la facilidad de hacerlo ya que se encuentran gran cantidad de fincas cafeteras de pequeños tamaños.

En el presente trabajo se utilizó Heliconia (*Heliconia psittacorum*) y Bijao (*Calathea lutea*). Para el caso de *Heliconia psittacorum*, su elección se debe a su gran y sencilla proliferación, al igual que la fácil obtención económica de esta y que en diferentes estudios ha tenido muy buenos resultados en la remoción de la materia orgánica como el realizado por (Peña. Madera. Sánchez y Medina en 2013) “donde tuvo una eficiencia de remoción de materia orgánica (MO) que se encuentra en el rango estipulado por diferentes autores que es de 60-80 %”¹⁹. Para la planta de Bijao (*Calathea lutea*), se ha escogido por su predominancia a lo largo de las fuentes hídricas aledañas a la finca y cercanía en todos sus casos a fuentes hídricas constantes y que es de gran proliferación donde son vertidas las aguas residuales del beneficio del café sin causar afectación las concentraciones de dichas aguas y como bien se sabe se usa en su mayoría en tema cultural para producción económica.

Para evaluar la eficiencia de estas plantas en la remoción de cargas contaminantes del agua residual provenientes del beneficio del café y ser parte de un sistema de tratamiento se evaluará su capacidad de remoción tomando en cuenta cantidades en intervalos de tiempos, así se podrá escoger la más eficiente y adecuada para lo buscado en este proyecto de investigación.

¹⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631, op. Cit, p.8

¹⁹ PEÑA. MADERA. SÁNCHEZ y MEDINA. bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de Biorremediación: caso Heliconia Psittacorum (Heliconiaceae). 2013

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales mieles generadas en el beneficio del café, por medio de procesos de fitorremediación, en la finca la Sirena, corregimiento de San Rafael, del municipio de Tuluá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las características físico químicas de las aguas residuales mieles.
2. Determinar la eficiencia de remoción con diferentes plantas usadas en la fitorremediación.
3. Plantear un sistema piloto real para el tratamiento de las aguas mieles con procesos de fitorremediación.

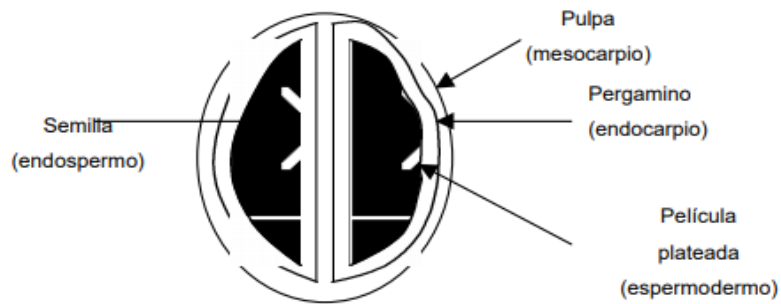
4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

El café es uno de los productos básicos del mundo que más se comercia. Es el principal producto agrícola de Colombia, y de él depende un porcentaje significativo de la economía y el sustento de gran parte de la población. Se produce en más de 50 países y proporciona un medio de vida a más de 25 millones de familias caficultoras en el mundo entero. Entre los consumidores, el café es una bebida que goza de popularidad universal, y las ventas suponen más de 70.000 millones de dólares al año. El café es, después del petróleo, el producto comercial más importante del mundo; supera al carbón, al trigo y al azúcar²⁰.

Existen dos métodos para procesar el fruto del cafeto: el proceso seco y el proceso húmedo. En el proceso seco, el fruto completo del café es secado al sol en capas delgadas inmediatamente después de su cosecha. Posteriormente, por medios mecánicos es removido de la pulpa (el epicarpio y parte del mesocarpio) y el pergamino (endocarpio). Este proceso se utiliza principalmente en el Brasil²¹. En la imagen 2 se puede observar las partes que conforman un grano de café.

Imagen 2. Grano de café



Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cafe.pdf>

²⁰ Revista Colombiana de Cardiología. Café para cardiólogos.2005

²¹ GALLO, Lino. Guía de prevención de la contaminación para el beneficio de la contaminación en el Salvador.2014.

El proceso de elaboración del azúcar está dividido en dos etapas: campo y planta. A continuación, se describen las etapas por la que debe pasar la caña de azúcar en planta, para así obtener el producto final que es el azúcar:

4.1.1. Proceso del café

Para obtener un grano de café se debe iniciar desde la cosecha, recibo, despulpado, clasificación, remoción del mucilago y secado. En el proceso donde se tiene un mayor consumo de agua es en la remoción del mucilago, tiene como fin hacer que el mucilago que cubre el pergamino se descomponga y una vez fermentado se disuelva en agua, eliminándose por medio del lavado. “Su duración oscila entre 18 y 30 horas, según el clima”²².

4.1.1.1 Recolección de café de cereza. En esta etapa se cosechan únicamente los granos que alcanzan el estado de madurez completa, normalmente de color rojo o amarillo, ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café. Todo este proceso se desarrolla de forma manual.

4.1.1.2 Despulpado. El mismo día de la recolección, los granos de café se despulpan, retirando la cereza del grano.

4.1.1.3 Fermentación. En esta parte del proceso, los granos permanecen en reposo y la fermentación del mucilago de café es un proceso natural, en el cual se considera la duración de éste como la respuesta más importante; “sin embargo, para definir este tiempo, es necesario identificar la forma cómo ocurre el proceso de degradación de mucilago en el tiempo y la influencia de variables extrínsecas del proceso como son la calidad del café y la cantidad de masa, e intrínsecas como la temperatura y pH, entre otras”²³. Después, es removido fácilmente con un lavado que posteriormente es vertida a la fuente receptora.

²² GUÍA AMBIENTAL PARA EL SECTOR CAFETERO. Descripción del proceso productivo y del beneficio del café. S.F.

²³ MARTINEZ, Aida. TASCÓN, Carlos. URIBE, Juan. Remoción del mucilago del café a través de la fermentación natural.2010.

4.1.1.4 Lavado. Con agua limpia se retiran los restos de mucilago que quedan en el grano y se eliminan los azúcares para así mejorar la calidad de este.

4.1.1.5 Secado. Después de lavar, se exponen los granos al calor del sol para que el grado de humedad disminuya, facilitando su conservación. El grano seco se empaca en sacos limpios hechos en fique facilitando su traslado. Más adelante, se retira la cáscara que cubre el grano, llamada *pergamino*.

4.1.1.6 Tostado. El proceso finaliza con el tostado de café, cuando el grano verde es sometido a una fuente de calor, generando el delicioso aroma y sabor.

En Colombia el método más implementado para el separado del grano del café y su pulpa es el despulpado, pero tiene como inconveniente que es el que tiene mayor gasto de agua y energía.

Una de las grandes ventajas de este proceso es que al remover los granos secos y verdes se mejora la calidad en taza y disminuye la cantidad de defectos. Sin embargo, cuando se compara con el proceso natural, es más costoso y requiere de mayor cantidad de agua.

Características en taza: Estos cafés normalmente tienen el cuerpo de un café natural y el dulzor y la acidez de un café lavado.

Ubicación: Este método es el apropiado para países con baja humedad, ya que el café está cubierto por el mucílago y necesita secarse rápido para evitar que se fermente.

Ventajas: Produce una bebida de alta calidad que se puede vender a un mayor precio. También se requiere de menos trabajadores.

Desventajas: Debido a la maquinaria costosa, se debe incurrir en altos costos y se requiere de mayor cantidad de agua y energía²⁴.

4.1.2. Agua residual del beneficio del café

²⁴ COSTA, B. Café despulpado natural: una explicación. 2010

El agua constituye el elemento esencial para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta, pero desafortunadamente el aumento en el crecimiento poblacional y el empeño del hombre por satisfacer sus necesidades han generado su contaminación y a la vez su agotamiento. Existen numerosas causas de contaminación hídrica, pero dentro de las más comunes se encuentra el vertimiento de los desechos agroindustriales y domésticos, los cuales generan la destrucción de los recursos hídricos, la disminución del agua como elemento de abastecimiento, deterioro de la salud y la economía pública, así como efectos desastrosos sobre los ecosistemas acuáticos y sus componentes. En Colombia la industria cafetera tiene gran importancia y significado en la vida socioeconómica del país. En el procesamiento del café por vía húmeda que se realiza, se generan residuos líquidos altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes²⁵.

El beneficiado húmedo de un kilogramo de café genera la misma contaminación que generan seis personas adultas por día, que al ser arrojadas a los cuerpos receptores de agua producen alteraciones debido al excesivo contenido de materia orgánica eliminando por completo el Oxígeno Disuelto (O.D.). Los ríos, al recibir sustancias nutritivas del beneficio del café, desarrollan poblaciones exageradas de lirios y algas, que a su vez actúan como fijadoras de sedimentos²⁶.

Para beneficiar el café en Colombia por métodos convencionales, se requieren entre 40 y 50 L/kg de cps, de los cuales aproximadamente la mitad se utiliza en la clasificación del fruto, el despulpado y transporte de la pulpa a las fosas y el transporte de café despulpado a los tanques de fermentación. Los canales de correteo, típicos en Colombia, para la clasificación y el lavado del café tienen consumos de agua entre 20 y 25 L/kg cps²⁷.

Aunque Colombia es un país muy rico hídricamente, en la zona cafetera presenta dificultades por tener municipios pequeños, con alta concentración de población y sistemas de abastecimiento reducidos y frágiles localizados en montaña. Esto nos permite tener en cuenta que el concepto de índice de escasez; (relación porcentual de la demanda del conjunto de actividades económicas y sociales con

²⁵ ANTOLIN, María. Hacia una gestión sostenible del planeta. S.F.

²⁶ MOLINA, Alex. VILLATORO, Rolando. Propuesta de tratamiento de aguas residuales en el beneficio húmedo del café.2016

²⁷ RODRIGUEZ, Nelson. SANZ, Juan. OLIVEROS, Carlos. RAMIREZ, Cesar. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso del beneficio húmedo del café.2015

la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por calidad y caudal ecológico), nos permite generar actividades encaminadas al ahorro del agua²⁸.

4.4.2.1 Contaminación de fuentes receptoras.

Existen numerosas causas de contaminación hídrica, pero dentro de las más comunes se encuentra el vertimiento de los desechos agroindustriales y domésticos, los cuales generan la destrucción de los recursos hídricos, la disminución del agua como elemento de abastecimiento, deterioro de la salud y la economía pública, así como efectos desastrosos sobre los ecosistemas acuáticos y sus componentes²⁹.

El agua contaminada es la que se genera en la primera etapa en el beneficiado y remoción de la pulpa del café, dejando al grano únicamente con un gel adherido al grano llamado mucílago. Las aguas del despulpado contienen una gran cantidad de sólidos sedimentables, azúcar y sobre todo alto contenido de materia orgánica como lo es la pulpa de café que se desintegró en el remojo, que contribuyen a una alta contaminación de los cuerpos receptores de agua por la alta demanda de oxígeno que estas aguas poseen³⁰.

El proceso de beneficio tradicional, es el principal origen de la presión sobre el recurso hídrico en la cadena productiva del café, la mayor carga de contaminación es aportada en el proceso de fermentación, lavado y transporte del grano para la eliminación del mucilago que es el componente que más aporta carga orgánica en el agua residual, en esta etapa se consume el 37,5% del agua, el 12,5% en el proceso de despulpado y el 50% en el transporte de la pulpa³¹.

4.1.3. Fitorremediación

En las últimas décadas surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar aguas o suelos afectados por procesos industriales generados por el hombre y recuperar los **ecosistemas, entre dichas tecnologías se encuentra la fitorremediación, la cual se define como un sistema**

²⁸ REPUBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial. 2010

²⁹ MATUK, Vivian. PUERTA, Gloria. RODRÍGUEZ, Nelson. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. 199

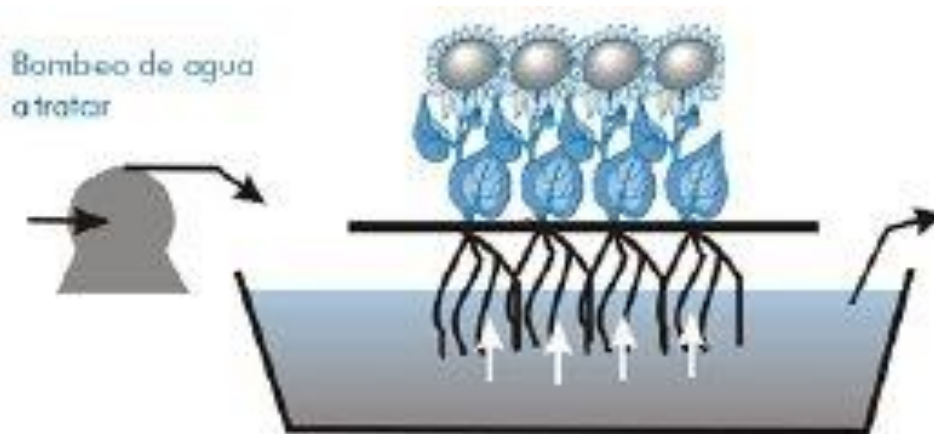
³⁰ MOLINA.REYES.Op.,p.23

³¹ MANUAL DEL RECURSO HIDRICO. Manual de producción y consumo sostenible. 2016

que hace uso de cobertura vegetal (especies herbáceas) que a través de sus raíces logra reducir la carga contaminantes de un cuerpo de agua, suelo, etc.

Es un método para disminuir las cargas contaminantes del suelo, agua, entre otros, y unas de sus características es su costo-eficiencia. “Es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos, frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor costo económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas”³². A continuación, en la imagen 3 se muestra el funcionamiento general de la Fitorremediación.

Imagen 3. Ilustración Fitorremediación



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2371>

La Fitorremediación se ha implementado en la mayoría de estudios para la remoción de metales como el cromo proveniente de curtiembres y ha tenido muy buenos resultados, un ejemplo claro es el realizado por Echeverri y Londoño, que al utilizar el método de Fitorremediación pudieron concluir que; la *Canna glauca*

³² GARBISU, Carlos. EPELDE, Lur. BECERRIL, José. El Ecologista N°27. 2008

absorbe la mayor cantidad de cromo hexavalente en las raíces, en un 88% de la masa total retenida en la misma, por otra parte la masa de cromo removida en el primer ensayo fue de 1.264,658 mg y para el segundo ensayo fue de 1.422,4658 mg, durante quince días.”³³ Concluyendo que el medio es de gran eficiencia y puede ser de gran apoyo para el tratamiento del benéfico del café ya que implementaron el mismo método para la misma causa que es la reducción de cargas contaminantes de las aguas residuales.

4.1.3.1. Tipos de contaminantes

La contaminación del medio ambiente se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede producir de forma natural, de manera general, los contaminantes se clasifican en contaminación orgánica e inorgánica. Los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioabsorción)³⁴.

4.1.3.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

La Fitorremediación es un proceso biológico que su objetivo es disminuir las cargas contaminantes de las aguas residuales y como todo proceso tiene sus pros y sus contras, en la tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas de la Fitorremediación:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología sustentable • Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ • Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos) • Es dependiente de las estaciones • El crecimiento de la vegetación puede estar

³³ Mauricio Echeverri y Lina Londoño. Estudio de la remoción del cromo contenido en los efluentes líquidos de curtiembre mediante ensayos de fitorremediación en humedales artificiales de flujo Subsuperficiales.2014

³⁴ DELGADILLO, GONZÁLEZ, PRIETO, VILLAGÓGEZ, ACEVEDO.Op.,p.23

Ventajas	Desventajas
<p>a moderadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía • Es poco perjudicial para el ambiente • No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho • Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable • Evita la excavación y el tráfico pesado • Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos • Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales) 	<p>limitado por extremos de la toxicidad ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes) • Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión • No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras • La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes • Se requieren áreas relativamente grandes • Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)

Fuente: (Raskin y Ensley, 2000).

4.1.3.3. Tecnologías de fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como la transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. En el cuadro 1 se muestra de manera breve los procesos, el mecanismo de funcionamiento y el tipo de contaminante que puede controlar.

Cuadro 1. Tipos de fitorremediación

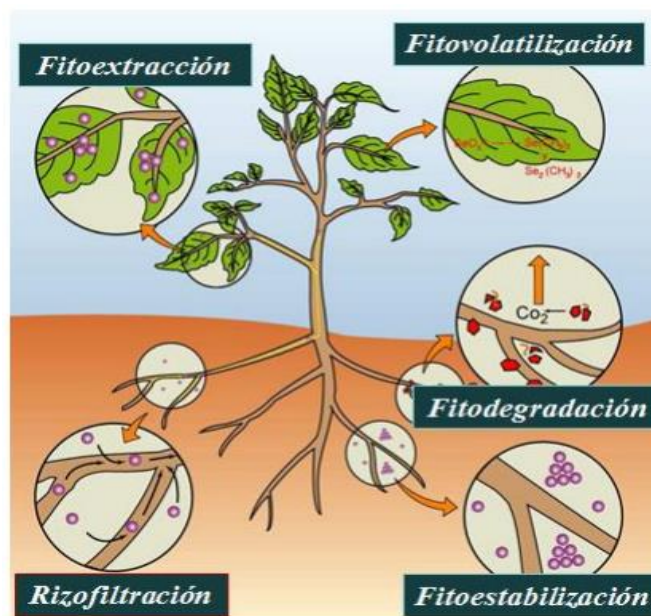
Proceso	Mecanismo	Contaminante
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánico e Inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la	Orgánicos e

	rizosfera	Inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e Inorgánicos

Fuente: (Raskin y Ensley, 2000).

Los tipos de fitorremediación se diferencian por el proceso bioquímico que realiza la planta para tratar o asimilar el agente externo que está recibiendo; ya sea en sus raíces, tallo u hojas. A continuación en la imagen 4 se demuestra gráficamente los tipos diferentes de fitorremediación que se tienen:

Imagen 4. Tipos de fitorremediación



Fuente: Mentaberry, Alejandro. Fitorremediación. 2011

4.1.3.4. *Limitaciones de la fitorremediación*

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- La fitotoxicidad es un limitante en áreas fuertemente contaminadas.
- Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.
- Deben considerarse contaminaciones potenciales de la cadena alimentaria y napas de agua.
- Se requiere comprender mejor la naturaleza de los productos de degradación (Fitodegradación)³⁵.

4.1.3.5. *Sistemas de fitorremediación acuática*

Los sistemas de fitorremediación acuática o también llamados humedales pueden ser de cuatro tipos:

- **Humedales contruidos:** se definen como un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y sub emergente, animales y agua que simula los humedales naturales, diseñado y hecho por el hombre para su beneficio.
- **Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes:** pueden ser estanques semiconstruidos o naturales, donde se mantienen plantas flotantes para tratar aguas residuales.
- **Sistema de tratamiento integral:** es una combinación de los dos sistemas anteriores.
- **Sistema de Rizo filtración:** ya mencionado anteriormente. Se ha demostrado que estos sistemas pueden remover eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus, de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, incluyendo las industrias: lechera, de pulpa y papel, textil,

³⁵ MENTABERRY, Alejandro. Fitorremediación. 2011

azucarera, de curtiduría, de destilería, aceitera, de galvanizado y metalurgia³⁶.

4.1.4. Humedal

Son extensiones de agua con vegetación en su superficie, según (INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS) “son considerados uno de los ecosistemas biológicamente más diversos. La vegetación específicamente adaptada a estas condiciones se denomina hidrófita, y reemplaza en estos casos, a las especies terrestres normales. Las peculiaridades del entorno hacen que la fauna presente sea por lo general endémica y netamente diferenciada de las zonas adyacentes; grandes familias de aves y reptiles están exclusivamente adaptadas a este tipo de entorno”³⁷.

Los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales están surgiendo como alternativas de bajo costo y fáciles de operar en comparación con los sistemas de tratamiento convencional, los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrófitas (plantas que crecen en suelos saturados de agua) pueden ser definidos como sistemas naturales, “en los cuales tienen una función vital en relación con la descontaminación del agua residual. Los contaminantes en dichos sistemas, son removidos por una variedad compleja de procesos biológicos, físicos y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, degradación microbiológica, nitrificación y desnitrificación, decaimiento de patógenos y metabolismo de las plantas. Las macrófitas remueven contaminantes por asimilación directa dentro de sus tejidos, además proveen superficie de contacto y un ambiente adecuado para que los microorganismos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones”³⁸.

4.1.4.1. Humedales artificiales

Son humedales que se han construido o modificado ampliamente por los seres humanos, dichos humedales son sistemas artificiales de tratamiento de aguas residuales poco profundos, generalmente menos de 1 metro de profundidad, pueden ser estanques o canales con vegetación especializada, ya sean plantas que viven en el agua (hidrofitos) o las que se desarrollan en terrenos

³⁶ NUÑEZ, Roberto. MEAS, Yunny. ORTEGA, Raúl. OLGUÍN, Eugenia. Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. 2004

³⁷ INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS PROGRAMA DE BIOLOGÍA, Hoja técnica N°3, Humedales. 2013

³⁸ PEÑA, Miguel. VAN, Meiken. MADERA, Carlos. Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales.2003

permanentemente inundados o al menos saturados de agua, con bastante frecuencia (Higrofitos), y que dependen de procesos microbianos naturales, biológicos, físicos y químicos para el tratamiento de las aguas residuales. Uno de los rasgos más característicos de la vegetación de los humedales es su adaptación a vivir con una fuerte limitación de la disponibilidad del oxígeno en el suelo, es decir, en condiciones de anaerobiosis que normalmente no soportan las plantas terrestres. Los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna³⁹.

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales “el sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de estas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente”⁴⁰.

Los humedales se han construido para limpiar una amplia gama de aguas residuales como son:

- Aguas domésticas y urbanas
- Aguas industriales
- Aguas de drenaje de extracciones mineras
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana

4.1.4.2. Componentes del humedal

Agua: Los humedales se forman en donde exista acumulación de agua directamente sobre el terreno y en donde exista una capa del subsuelo que sea relativamente impermeable para evitar la filtración. La hidrología es uno de los factores más importantes en un humedal ya que reúne todas las funciones de este y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del mismo. La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales, sin embargo difiere en aspectos relevantes como por ejemplo, pequeños cambios en esta característica pueden tener importancia en la

³⁹ GARCIA, Joan. CORZO, Angélica. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. 2008

⁴⁰ FERIADELASCIENCIAS.UNAM. Construcción de un Micro-Humedal para la fitodepuración de metales pesados. S.F.

efectividad del tratamiento, debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración. La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas, y luego bloqueando la exposición al viento y el sol.

Substrato: Los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas, el sustrato, sedimentos y restos de la vegetación son de importancia por los siguientes motivos:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- El sustrato sirve para que muchos contaminantes sean almacenados.
- Transformaciones químicas y biológicas (microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos y es una fuente de carbono.

Las características físicas y químicas del suelo y otros sustratos se alteran cuando se inundan. En un sustrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno atmosférico, puede darse lugar a condiciones anóxicas, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

Vegetación: El principal beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.

- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza, y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficial de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

Microorganismos: Una de las principales características de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, altera las condiciones de potencial Redox del sustrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal, además esta actividad está involucrada en el reciclaje de nutrientes. Algunas transformaciones microbianas requieren oxígeno libre y otras no. Sin embargo muchas especies funcionan en ambos casos (facultativas)⁴¹.

4.1.4.3. *Humedales de flujo subsuperficial*

Los sistemas de flujo subsuperficial, se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos en función de forma de aplicación del agua al sistema y son:

- Humedales de flujo subsuperficial horizontal
- Humedales de flujo subsuperficial vertical.

Las principales ventajas de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos⁴².

⁴¹ GALINDO, Rudy. Humedal artificial de flujo horizontal sub superficial para tratamiento de aguas mieles. Ciudad de Guatemala. 2013

⁴² RIVERA, Diego. Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. 2015

4.1.5. Plantas a utilizar en el proyecto

4.1.5.1. *Heliconea enana (Heliconia psittacorum)*

El género *Heliconia*, se encuentra dentro de la familia *Heliconiaceae* del orden *Zingiberales*, es el único género dentro de esta familia, donde se agrupan más de 225 a 250 especies en el mundo; siendo Colombia el de mayor número de ellas, el 98% de estas se encuentran distribuidas en el centro y sur de América y el Caribe⁴³. La *Heliconia* también se encuentra entre las preferidas de muchas personas, gusta para las zonas verdes de las residencias gracias a sus colores llamativos y encendidos como se demuestra a continuación en la imagen 5.

Imagen 5. *Heliconea*



Fuente: <https://www.amazon.com/Heliconia-Rostrata-Lobster-Paradise-Seeds/dp/B00MH7SDIK>

Ubicación taxonómica: Las Heliconias, Aves del paraíso, Achiras, Gingers, Bilbos y otras plantas conocidas como platanillos están agrupadas botánicamente en el orden *Zingiberales*. Este orden lo componen ocho familias: *Heliconiaceae*, *Strelitziaceae*, *Musaceae*, *Costaceae*, *Lowiaceae*, *Marantaceae*, *Zingiberaceae* *Cannaceae*. Anteriormente, el grupo de plantas pertenecientes a la familia *Heliconiaceae* se ubicaban en la familia *Musaceae*; sin embargo, Nakai en 1941

⁴³ INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. Análisis de desarrollo empresarial para la producción de Heliconias y follajes tropicales. 2003.

las separó como *Heliconiaceae*. Posteriormente, Kress en 1994 propuso un nuevo sistema de clasificación en subgéneros y secciones, basado en características morfológicas, ecológicas y genéticas. Esta familia solo está representada por el género *Heliconia* y el 98% se encuentran distribuidas en el centro y sur de América y en el Caribe.

Del género *Heliconia* se han descrito más de 250 especies, de las cuales 97 se encuentran distribuidas en Colombia y 48 de estas han sido descritas como endémicas, ubicándolas como el centro de diversidad más grande de este género en el mundo. En Colombia, las regiones con mayor número de especies son la vertiente occidental Andina, con el 35 %; el valle del río Atrato, las vertientes del río Magdalena y la región oriental Andina con un 25 % en cada una. Aproximadamente la mitad de las especies que crecen en Colombia son endémicas. Las regiones con mayor proporción de endemismo son la Andina, con el 75 % y la Pacífica con el 20 %.

Características botánicas: Las Heliconias son plantas monocotiledóneas, con un crecimiento rizomatoso que emite brotes o vástagos. El rizoma es una estructura de tallo especializada, en la cual el eje principal de la planta crece horizontalmente, justo abajo de la superficie del suelo. Cada uno de estos está compuesto por un tallo, técnicamente llamado pseudotallo. Las hojas están compuestas por un pecíolo y una lámina, colocadas en posición dística. De acuerdo a la disposición de estas, se pueden identificar tres hábitos de crecimiento: musoide (cuando las hojas están en posición vertical y con pecíolos muy largos), zingiberoide (con hojas en la mayoría de los casos, sésiles y dispuestas en forma más o menos horizontal) y canoide (cuando la hojas presentan pecíolos medianos y se dispodden oblicuamente)⁴⁴.

Usos: Este tipo de planta es su mayoría es de uso ornamentales, aunque el rizoma de algunas especies es utilizado para el consumo, asado o cocinado y también son de gran importancia ya que protegen las fuentes hídricas y son imprescindibles en la reforestación.

4.1.5.2. *Bijao (Calathea lutea)*

Se conoce por los nombres vulgares de Hoja blanca, Bijao, Biao o Bihao. Es una especie que se distribuye desde el México tropical hasta Brasil. “La *Calathea lutea*, nombre científico del bijao, es una planta herbácea, de grandes hojas ovaladas,

⁴⁴ KEES, John. BETANCOR, Julio. ECHEVERRY, Beatriz. Lista preliminar de las heliconias de Colombia y cinco especies nuevas. 1993

que crece silvestre en formaciones llamadas manchales sobre suelos húmedos, generalmente cerca de cuerpos de agua, y se encuentra disponible todo el año. Es una planta herbácea, de grandes hojas de forma ovalada, que tiene propiedades antimicrobianas, lo que se relaciona con la preservación de los alimentos”⁴⁵.

En general, son plantas las cuales en la actualidad se hace uso de ellas para beneficios comerciales de alimentos ya que sus hojas sirven de envoltura para platos típicos de regiones colombianas como tamales y envueltos ya que su tamaño es considerable, como se puede mostrar a continuación en la imagen 6.

Imagen 6. Bijao (*Calathea lutea*)



Fuente: <http://chincamayo.blogspot.com/p/cultivo.html>

Taxonomía: Son plantas herbáceas que se extienden mediante rizomas subterráneos y pueden alcanzar los 3 metros de altura. Sus grandes hojas de color verde amarillento pueden medir 1 metro de longitud y unos 50 cm de

⁴⁵ PRONATURALEZA. Fundación peruana para la conservación de la naturaleza. Biodiversidad-t. 2014.p.14

anchura. Las flores son amarillas y surgen entre brácteas de color marrón rojizo lo que proporciona un bello contraste. Pueden florecer durante todo el año.

Se utilizan como plantas de interior o en patios y terrazas o, en climas subtropicales y tropicales, para formar grupos, pantallas o como ejemplares aislados; son apropiadas para plantar junto a un estanque o una piscina. También se emplean en flor cortada o para envolver alimentos con sus hojas (tamales, etc.).

La exposición más indicada es de luz tamizada o en semisombra; el sol directo en las horas centrales del día puede quemar las hojas. Es una planta tropical a la que no le gusta el frío ni las heladas por lo que en invierno no debería estar a menos de 15 °C.

Estas plantas suele verse libres de plagas y enfermedades aunque algunas orugas pueden devorar las hojas, se multiplican por división de mata o del rizoma durante la primavera⁴⁶.

Aspectos ecológicos: El Bijao se encuentra en las zonas cálidas y cafeteras de las cordilleras, se observa en sectores húmedos del valle de río Magdalena, junto a solares y quebradas, entre otros lugares y se puede denotar que esta planta es de gran importancia en el control de las fuentes hídricas y se caracteriza también por su fácil adquisición.

Usos: Se utilizan como plantas de interior o en patios y terrazas o, en climas subtropicales y tropicales, para formar grupos, pantallas o como ejemplares aislados; son apropiadas para plantar junto a un estanque o una piscina. También se emplean en flor cortada o para envolver alimentos con sus hojas (tamales, etc.).

4.1.6. Determinación de los parámetros

4.1.6.1. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO₅ a cinco días. Esencialmente, la DBO₅ es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en

⁴⁶ VEREDA. Venezuela red de arte. Jardín Botánico de Mérida. S.F.

condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO₅ a cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO₅, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por tanto, es necesario garantizar que durante todo el periodo de ensayo exista suficiente oxígeno disuelto para ser utilizado por los organismos. Además, debe garantizarse que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que hay que proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, tales como N y P y eliminar cualquier sustancia tóxica de la muestra. Es también necesario que exista una población de organismos suficiente en cantidad y en variedad de especies, llamada "Cepa" o "semilla", durante la realización del ensayo, para la degradación de la materia orgánica⁴⁷.

4.1.6.2. *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

La Demanda Química de Oxígeno es la que define como cualquier sustancia sea orgánica e inorgánica que pueda ser oxidada por medio de un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa el oxígeno equivalente y sus unidades son en mg/L O₂ y es un método que se aplica a aguas contaminadas de procesos industriales, aguas negras o agua de cualquier otra procedencia que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas contaminadas.

4.1.6.3. *pH*

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La concentración de ion hidrógeno presente

⁴⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. 2007

en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. El agua se disocia en iones hidroxilo e hidrógeno.

4.1.6.4. Turbiedad

Es un parámetro que tiene como medida las propiedades de transmisión de la luz de un agua, se emplea para indicar la calidad de las aguas residuales o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Este parámetro se expresa en unidades de turbiedad nefelométricas.

4.1.6.5. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presentes en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos:

- Solubilidad del gas
- Presión parcial del gas en la atmósfera
- Temperatura
- Pureza del agua

Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

4.1.6.6. Temperatura

Temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos

útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas. También es importante para industrias que emplean el agua para refrigeración, por ejemplo, donde es fundamental la temperatura de captación del agua. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos⁴⁸.

4.2. MARCO LEGAL

A continuación se mencionan las normas legales y reglamentos referentes a las aguas residuales:

Cuadro 2. Normatividad

NOMBRE	TITULO	ARTÍCULOS
Decreto Ley 2811 de 1974	Código de Recursos Naturales Renovables.	Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación.
Ley 9 de 1979	Código sanitario nacional. Medidas sanitarias en protección	Art. 51 a 54: Control y prevención de la contaminación de las aguas para consumo humano. Art. 55

⁴⁸ ETAP. Características de las aguas residuales. S.F.

NOMBRE	TITULO	ARTÍCULOS
	del medio ambiente.	aguas superficiales.
Ley 99 de 1993	Crea el Sistema Nacional Ambiental y el Ministerio del Medio ambiente.	Art. 10, 11, 24, 29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas
Resolución 0941/2009	Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables – SIUR y se adopta el Registro Único Ambiental – RUA	Aplica en su totalidad
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.	Aplica en su totalidad

NOMBRE	TITULO	ARTÍCULOS
Decreto 4728 de 2010	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.	Art. 2 Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales. Art. 6 De la procedencia del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos.
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Artículo 41. Requerimiento de permiso de vertimiento Artículo 42. Requisitos del permiso de vertimientos Artículo 43. Evaluación ambiental del vertimiento
Resolución 1207/2014	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas	Aplica en su totalidad
Decreto 1075/2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Sección 18. Conservación de recursos naturales en predios rurales

NOMBRE	TITULO	ARTÍCULOS
Resolución 0631/2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones	Art 12. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (arnd) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas.

Fuente: Autores

4.3. MARCO CONCEPTUAL

En la producción y beneficio del café por vía húmeda, se generan vertimientos de altas cargas contaminantes provenientes del despulpado y de la fermentación de este mismo, los cuales en su gran mayoría no reciben ningún tipo de tratamiento para una adecuada disposición en la fuente hídrica o suelo receptor.

Para el beneficio del café se llevan a cabo ciertas etapas desde su cosecha hasta su secado y venta; estos son:

- Recepción de café cereza
- Despulpado
- Remoción del Mucílago
- Fermentación
- Lavado

La recepción de café cereza se hace de maneras diferentes con respecto al tamaño de cosecha de cada finca productora, cuando esta es mayor a 300 arrobas (3.400 kg) de café al año; en la gran mayoría de casos se reciben mediante tolvas secas. Para casos con menor producción se hace recepción de estas, en las mismas tolvas de las despulpadoras, ya que su tamaño y capacidad lo permite.

Para esta etapa se trata de recolectar y depositar todo tipo de grano de café en su etapa de maduración (color rojo) o grano pre maduro (color amarillo), el grano en etapa biche (color verde) se descarta cuando se recolecta por equivocación y se dispone en una etapa posterior, esta separación se hace en su mayoría manualmente.

Al separarse por completo los granos de color deseado, pasan después al despulpado de grano, el cual, consiste en eliminar por completo la pulpa (Epicarpio) que se encuentra rodeando el grano de café, que obtiene su separación gracias a la viscosidad en su parte interna y por medio de la Despulpadora, la cual hace presión sobre el grano, dejando el Mucilago y grano separados sin la necesidad de usar agua. Esta acción se realiza inmediatamente después de cosechados los frutos, debido a que si existen retrasos, el producido puede verse afectado por la fermentación. Al retirarse el Mucilago del grano, se debe de retirar por medio de fermentación natural o mecánica; la fermentación natural se debe de hacer con mucilago recolectado en el mismo lapso de tiempo; el cual está entre 12 y 18 horas para evitar una fermentación errónea la cual afecta directamente el sabor y olor deseado.

En la fermentación natural se generan grandes cargas contaminantes y alteraciones físico-químicas presentes en el agua residual a verter, dentro de estas se encuentra la reducción de pH (potencial hidrogeno), de valores normales (6.5 – 8.2) a valores netamente ácidos (2.5 – 3.5). Se pueden encontrar vertimientos con altas cargas contaminantes las cuales por acción natural de bacterias consumen por completo el oxígeno disponible en el cuerpo receptor, al agotarse el oxígeno presente; la acción se lleva a cabo por parte del oxígeno presente en los Nitratos y Sulfatos produciendo así el mal olor presente en estos vertimientos, de igual manera incrementa la Turbidez en la fuente hídrica

cambiando su tonalidad color a oscuro por la gran cantidad de solidos suspendidos.

La fitorremediación es usada actualmente como un método totalmente ecológico, libre de químicos o agentes inorgánicos, esto la hace una innovación en la actualidad al igual que un método sencillo, de fácil manejo y netamente económico. La Fitorremediación consiste en tratar agentes contaminantes por medio de su funcionamiento natural, el cual se basa en adsorción y absorción por medio de sus raíces, dirigiéndolas a su tallo y hojas para realizar una bioacumulacion y después hacer disposición de ellas de manera controlada y menos afectante al medio en el que se encuentran presentes. Existen diferentes tipos de Fitorremediación entre ellas están la Fitoextracción, Fitoestabilización, Fitovolatilización, las cuales se diferencian por la manera en que contienen o eliminan contaminantes con los cuales están en contacto.

4.4. ESTADO DEL ARTE

Los proyectos realizados en torno al tema de tratamiento de aguas residuales mediante sistemas pilotos y fitorremediación, son parte importante del sistema a realizar, puesto que genera una base confiable de lo que se puede llegar a realizar durante el transcurso del proyecto. A continuación se presentan investigaciones realizadas anteriormente.

Cuadro 3. Digestión y fitorremediación de aguas residuales de beneficio de café

TITULO DEL ESTUDIO	
DIGESTIÓN Y FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE BENEFICIO DE CAFÉ	
AUTORES	NUMERO DE PAGINAS: 1
EUGENIA J. OLGUÍN	Departamento de Biotecnología Ambiental, instituto de Ecología
RESUMEN	
<p>El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de un sistema para el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, que conjunta en secuencia filtro anaerobio y lagunas con <i>Spirodela polyrrhiza</i>, a nivel de laboratorio.</p> <p>Se instalaron 2 filtros anaerobios con capacidad de 9.75 y 10.1 Lt de volumen, con grava volcánica como soporte, se analizaron tiempos de retención desde 25 hasta 7 días, monitoreándose alcalinidad, SST, DBO₅, lo cual se abasteció de agua de despulpe y lavado, a esta se le monitoreo también la temperatura de exposición al igual que el peso de la planta, en un lapso de cada 3 días. Independientemente a cada tanque se le realizó medición de DQO, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total.</p>	
RESULTADOS	
<p>El tiempo de retención se redujo de 25 días a 20, 15 y 10 días arrojando un pH superior a 7. La Alcalinidad se mantuvo entre valores de 900 y 738 mg/L. La remoción promedio de sólidos suspendidos y DBO₅ fue de 92 % y 97%.</p> <p>Cuando el tiempo de retención se redujo a 9, 8 y 7 días; el pH se mantuvo constante entre 7.6 y 7.8 y la Alcalinidad descendió a 600 mg/L. Los SST fueron suspendidos en un 95% y la remoción de DBO₅ fue de 98%.</p> <p>Con respecto al post tratamiento de las plantas; se dio una productividad 3038 g en medios anaerobios y 1203 en medio sintético, con un contenido de proteína de 20,7% y 17% respectivamente. Para el nitrógeno amoniacal se alcanzó una remoción de 99% y la DQO con un 44,75% en promedio para los 4 tratamientos.</p>	
CONCLUSIONES	
<p>Se logró determinar que las altas remociones de SS y de DBO₅ a un tiempo de retención establecido a 7 días son las más apropiadas. Como también <i>Spirodela polyrrhiza</i> mostró una alta productividad con alto contenido de proteína al ser cultivada en los efluentes anaeróbicos y demostró ser eficiente en la remoción de Nitrógeno total y amoniacal.</p>	

Fuente: Autores

Cuadro 4. Aprovechamiento sistémico de la pulpa de café como residuo agrícola y tratamiento de las aguas residuales mieles por Biorremediación en el alto mayo

TITULO DEL ESTUDIO		
APROVECHAMIENTO SISTÉMICO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO RESIDUO AGRÍCOLA Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES POR BIORREMEDIACIÓN EN EL ALTO MAYO		
AUTOR	AÑO 2014	NUMERO DE PAGINAS 42
YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA	Universidad nacional de San Martin	
RESUMEN		
<p>Una primera fase consistió en extraer azúcares reductores y no reductores así como de taninos, mediante procesos de fermentación anaerobia en un biorreactor tipo BATCH con agitador para la obtención de alcoholes.</p> <p>La segunda se dirigió en el tratamiento de aguas mieles, se utilizó un modelo de 52iorremediación utilizando microorganismos eficaces (ME) y Macrófitas acuáticas.</p> <p>Respecto al tratamiento de aguas mieles los resultados de DBO₅ y DQO disminuyeron, no llegando por debajo de los límites máximo permisibles, con un pH dentro de los rangos y una temperatura la cual eficazmente se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles como también los nitratos.</p>		
RESULTADOS		
<p>2 días después de haber instalado el sistema de tratamiento de aguas mieles se realizó la primera evaluación de los principales parámetros físicos y químicos (turbiedad, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, fosfatos y nitratos), arrojando la siguiente información: Turbiedad 35 NTU, PH 5.89, SST 72 mg/L, DBO₅ 720 mg/L, DQO 1392 mg/L, fosfatos 9 mg/L, nitratos 8 mg/L</p> <p>5 días después de haber instalado el sistema los resultados fueron: Turbiedad 30 NTU, pH 6.93, SST 78 mg/L, DBO₅ 487 mg/L, DQO 1210 mg/L, Fosfatos 8 mg/L, Nitratos 7 mg/L.</p>		
CONCLUSIONES		
<p>Se ha utilizado para la 52iorremediación de las aguas mieles dos técnicas: la primera usando microorganismos eficaces y la fitorremediación, obteniendo buenos resultados en la medición de los parámetros físicos y químicos (turbidez, sólidos totales. DBO₅, DQO) que se detallan en las tablas. Con ello se permite que estas aguas mieles disminuyan sus contaminantes, pudiendo ser aprovechadas para riego o ser vertidas a las quebradas</p>		

Fuente: Autores

Cuadro 5. Diseño y medición de las características de estructura y operación para los prototipos de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical y filtro percolador para remoción de materia orgánica

TITULO DEL ESTUDIO		
DISEÑO Y MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA Y OPERACIÓN PARA LOS PROTOTIPOS DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL Y FILTRO PERCOLADOR PARA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA		
AUTOR	AÑO 2018	NUMERO DE PAGINAS 80
HEBER BRANDON DÍAZ RAMÍREZ EDUAR ALEXIS MARTÍNEZ GIRALDO	Universidad católica de Manizales	
RESUMEN		
<p>En este trabajo se diseñó siete prototipos entre los cuales uno es un filtro percolador y los demás son humedales de flujo subsuperficial vertical de 55 cm y 65 cm de espesor de arena, con lo cual se pretende evaluar el porcentaje de remoción en cuanto a materia orgánica se entiende, generada por las aguas residuales domesticas (ARD), de la zona rural de Palestina, Caldas. El trabajo consistió en principalmente realizar una investigación de la literatura para entender el procedimiento para la construcción de los prototipos que se desean implementar (humedales y filtro percolador). Realizar un trazo de las medidas para cada uno de los prototipos de tratamiento. Establecer las medidas más prominentes en cuanto al diseño y el espacio que se tenía para su correcto funcionamiento. Construir los prototipos y evaluar las características de operación para las unidades construidas carga hidráulica aplicada y carga orgánica superficial aplicada. El factor de estudio es la composición del lecho filtrante, la profundidad de las capas de arena y grava, las características granulométricas de los materiales, la elección de las medidas más eficientes de acuerdo al espacio. Se generaron datos de diseño, desempeño, funcionamiento de los humedales y del filtro percolador a su escala piloto para los estudiantes, investigadores y docentes.</p>		
RESULTADOS		
<p>Con el prototipo que posee 65 cm de arena, posee el mayor porcentaje de remoción según los balances realizados, el humedal número 4 se destacó por tener concentraciones más bajas a pesar de no tener tubería de aireación, lo cual según la literatura facilitaría el crecimiento de los microorganismos e intensificaría la remoción de M.O. Se obtuvo el resto de espacio en material poros y esto explicara el mejor resultado.</p> <p>Debe de tenerse un pre tratamiento antes de que el agua residual llegue los prototipos de humedal, porque existe el riesgo de que la materia orgánica obstruya los poros por donde percolará el agua residual, debilitando el proceso biológico de degradación y el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015, por este motivo son indispensables los filtros anaerobios ya que disminuyen la carga orgánica.</p>		
CONCLUSIONES		

TITULO DEL ESTUDIO		
DISEÑO Y MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA Y OPERACIÓN PARA LOS PROTOTIPOS DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL Y FILTRO PERCOLADOR PARA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA		
AUTOR	AÑO 2018	NUMERO DE PAGINAS 80
HEBER BRANDON DÍAZ RAMÍREZ EDUAR ALEXIS MARTÍNEZ GIRALDO	Universidad católica de Manizales	
<p>Es posible realizar el tratamiento de las aguas residuales por medio de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, siempre que anteceda un tratamiento preliminar que disminuya la carga orgánica presente, siempre que anteceda un tratamiento preliminar que disminuya la carga orgánica presente, para evitar el riesgo de obstrucción, este tratamiento preliminar comúnmente consiste de un cribado para eliminar los residuos más grandes y de fácil disposición, el uso de trampa grasas y pozo séptico fue de gran ayuda en esta investigación ya que poseen un porcentaje de remoción alto para grasas y aceites mostrando una baja concentración (<28 mg/L) en la salida del pozo séptico.</p> <p>La línea 1 de tratamiento dispone las aguas residuales con una menos carga orgánica que la línea 2 de tratamiento, esto se debe en mayor parte al trabajo que realizan los microorganismos presentes en los filtros anaerobios de flujo ascendente, que aunque teóricamente posean porcentajes de remoción más bajos que el filtro percolador, el agua filtrada por los Fafas pasa por un tratamiento doble y continuo que numéricamente baja la DBO₅ de 350.5 mg/L a 80.45 mg/L en este sector del tren de tratamiento.</p> <p>Los sólidos suspendidos totales so teóricamente mayormente removidos de las aguas residuales tanto en la línea 1 y 2 de tratamiento, lo que evidenciara en el efluente final del proceso con aguas más claras. Aportando a la disminución de los impactos por exceso de nutrientes, consumo de oxígeno disuelto y transporte de materiales fecales en el rio Campo alegre que recibe las aguas residuales de la central hidroeléctrica en Ínsula.</p>		

Fuente: Autores

Cuadro 6. Bioprospección de plantas nativas para uso en proceso de Biorremediación: caso heliconia *Psittacorum* (Heliconiaceae)

TITULO DEL ESTUDIO		
BIOPROSRECCION DE PLANTAS NATIVAS PARA USO EN PROCESOS DE BIORREMEDIACION: CASO Heliconia Psittacorum (Heliconiaceae)		
AUTOR	AÑO 2013	NUMERO DE PAGINAS
ENRIQUE PEÑA SALAMANCA CARLOS MADERA PARRA JESÚS SÁNCHEZ JAVIER MEDINA VÁSQUEZ	Universidad del Valle	
RESUMEN		
<p>La fitorremediación es el proceso que emplea la vegetación para el tratamiento de la contaminación en el agua, suelo y aire. Los humedales artificiales de flujo sub-superficial y superficial, constituyen la principal aplicación tecnológica para la matriz agua, basada en un tipo de plantas cuya características principales son la hiperacumulación de sustancias toxicas, y transformación de dichos compuestos gracias a sus propiedades biológicas. Los estudios realizados con <i>Heliconia Psittacorum</i> (Heliconiaceae) para evaluar su potencial fitorremediador se ha logrado demostrar que la especie presenta características adecuadas a las condiciones en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales, a partir de su capacidad de eliminación de DBO₅, DQO, y SST, por encima del 70% de remoción sin detrimento de sus propiedades fisiológicas. Los resultados aquí presentados plantean la necesidad de ampliar la evaluación del desempeño de especies nativas frente a la capacidad de tolerancia de las mismas para el manejo del estrés del contaminante. Esta información complementaria es importante para identificar los problemas del tratamiento de aguas residuales mediante fitorremediación en zonas tropicales.</p>		
RESULTADOS		
<p>En el reporte de resultados del potencial fitorremediador, se realiza una comparación con la especie <i>Cosmopolitan</i> más ampliamente empleada y sembrada en procesos de eliminación de contaminantes de agua residual, en términos generales se encontraron que las dos especies contribuyen a la eliminación de contaminantes, al igual que su desempeño fue consistente del 60 % al 80%, demostrando así la potencialidad de emplear la <i>Heliconia sp</i> en el proceso de fitorremediación de aguas residuales. Uno de los parámetros mejor tratados fue la des nitrificación, la cual elimino el 19.7% de la carga de N afluyente en humedales plantados y 16,2% en los controles. Seguido de la acumulación de N en el lecho de soporte, siendo responsable de la eliminación del 6.2 y 5 % del N afluyente, respectivamente. El aporte de <i>H. Psittacorum</i> en la eliminación de la carga afluyente de N por asimilación directa solo fue del 0,2% pero su presencia promovió la eliminación del N, no por tanto se puede sugerir su uso en este tipo de sistema de tratamiento.</p>		
CONCLUSIONES		

TITULO DEL ESTUDIO		
BIOPROSRECCION DE PLANTAS NATIVAS PARA USO EN PROCESOS DE BIORREMEDIACION: CASO <i>Heliconia Psittacorum</i> (Heliconiaceae)		
AUTOR	AÑO 2013	NUMERO DE PAGINAS
ENRIQUE PEÑA SALAMANCA CARLOS MADERA PARRA JESÚS SÁNCHEZ JAVIER MEDINA VÁSQUEZ	Universidad del Valle	
<p>Los estudios realizados con <i>Heliconia psittacorum</i> para evaluar su potencial fitorremediador demuestran que esta planta presenta características de aclimatación adecuadas a las condiciones en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en el país. Entre las características más relevantes, es la capacidad de eliminación de DBO₅, DQO y SST, mayor a 60% en la mayoría de los estudios, su capacidad para acumular metales pesados sin detrimento de sus propiedades fisiológicas y su rápido crecimiento y desarrollo. Por otro lado, esta planta genera una ganancia estética por la belleza de su inflorescencia, lo cual a su vez, puede generar beneficios económicos al comercializarse.</p> <p>Teniendo en cuenta la necesidad que existe en realizar programas y proyectos efectivos para el control de la contaminación en Colombia generada por la descarga de aguas residuales curdas en cuerpos hídricos, el uso de la eco-tecnología humedal construido sembrado con <i>Heliconia psittacorum</i>, muestra que es una alternativa costo-efectiva ideal para este propósito.</p> <p>Es necesario ampliar la evaluación del desempeño de especies nativas en diversas matrices como agua, aire y suelo y su respuesta frente a la capacidad de tolerancia de las mismas para el anejo del estrés del contaminante. Esta información beneficiara el desarrollo de nuevas tecnologías para resolver los problemas del tratamiento de aguas residuales mediante la fitorremediación.</p>		

Fuente: Autores

Cuadro 7. Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales generadas en la producción de la panela

TITULO DEL ESTUDIO		
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN MODELO DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA		
AUTOR	AÑO 2010	NUMERO DE PAGINAS
LIZETH DAYANA PINZÓN HERNÁNDEZ OSCAR FABIÁN ALMEIDA BUITRAGO		173
Universidad industrial de Santander		
RESUMEN		
<p>La contaminación del agua por distintos procesos domésticos o industriales es cada vez mayor por eso es necesario la implementación de sistemas de tratamiento con el fin de mejorar la calidad del agua que se vierte en los diferentes cuerpos hídricos. El tanque séptico es un proceso para el tratamiento primario de aguas residuales, en él se pueden observar los procesos de separación de una parte solida (sedimentación simple) y una de espumas; el agua intermedia entre el sedimento y la espumas se va convirtiendo en un líquido clarificado.</p> <p>Filtro anaerobio de flujo ascendente es el paso en el que el agua residual alimenta al reactor a través de un falso fondo por el flujo se distribuye uniformemente. Luego el agua a tratar se hace pasar a través de una masa de solidos biológicos suspendidos, contenidos dentro del sistema por un medio dentro del sistema por un medio fijo de soporte. Los microorganismos se adhieren a la superficie del medio dentro de los requicios del medio. La materia orgánica soluble que pasa a través del filtro, se difunde dentro de la superficie de los sólidos adheridos, donde se realiza el proceso de digestión anaerobia.</p> <p>El lecho de infiltración en esta fase se realiza el paso simple del agua hasta el fondo del lecho a través del material del cual está conformado; en la parte inferior es recolectado el efluente y puede disponerse de distintas maneras ya sea cajas de bombeo o campos de drenaje.</p>		
CONCLUSIONES		
<p>Del 80% de remoción que debe de tener el sistema para ajustarse a la normatividad aplicable (decreto 1594 de 1984) se obtuvo solamente 55.42% de remoción de carga contaminante. Esperando así que el lecho filtrante remueva lo necesario para dar cumplimiento a la normatividad o mejor se comporte como un lecho de absorción.</p> <p>Se debe de diseñar un sistema que cumpla con más del 80% de remoción de carga contaminante, ya que estaría solo cumpliendo con lo exigido al pie de la letra.</p> <p>Como el modelo implementado es de tipo anaerobio la remoción que ofrece no es tan alta como la que se obtendría con la implementación de un modelo tipo aerobio, como</p>		

el sector enfocado en la investigación no representa los recursos necesarios para la implementación de un modelo aerobio (mayores costos), se considera que el modelo propuesto es una alternativa favorable ya que ofrece un porcentaje de remoción importante además desde el punto de vista económico la construcción no generaría un precio elevado relacionado con la contribución a la preservación del medio ambiente. La construcción del modelo propuesto a escala real tiene dos opciones, ser fundido o elaborado en mampostería confinada, resultando la segunda más apropiada ya que el sector panelero no cuenta con muchos recursos para la disposición del sistema nombrado, además se encuentra una mayor facilidad en la construcción si se opta por la mampostería confinada.

En cuanto a la remoción obtenida los resultados que se presentan fueron tomados transcurridos veinte (20) días de implementado el tratamiento, la eficiencia del sistema aumentara con paso del tiempo ya que la vida bacteriana en los reactores será cada vez más propicia para los seres encargados de la depuración.

El lecho de infiltración se comportara como un lecho de absorción por lo tanto es necesario seleccionar la capa de vegetación adecuada(es recomendable césped de caña o caña brava); analizando la zona geográfica en la que se encuentre. Las plantas escogidas deben encontrar en el agua los nutrientes necesarios y al mismo tiempo realizar junto con proceso químico y físicos un trabajo de depuración en el caso que del lecho se obtenga un efluente.

Fuente: Autores

5. DISEÑO METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presentado proyecto de grado es de tipo investigativo y experimental, en el cual se realizó una completa comparación de dos resultados, lo cuales se interpretan de manera lógica y técnica.

Teniendo como objetivo general de la investigación: “Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales mieles generadas en el beneficio del café, por medio de procesos de fitorremediación, en la finca la Sirena, corregimiento de San Rafael, del municipio de Tuluá”. Se logró determinar tres objetivos específicos los cuales nos conducirán a desarrollar de la mejor manera lo planteado, por lo que cada objetivo específico se interpretó como fase, demostrado de la siguiente manera:

- **Fase 1:** Evaluar las características físico químicas de las aguas residuales mieles.
- **Fase 2:** Determinar la eficiencia de remoción con diferentes plantas usadas en la fitorremediación.
- **Fase 3:** Plantear un sistema piloto real para el tratamiento de las aguas mieles con procesos de fitorremediación.

5.2. FASE 1. EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MIELES.

Para cumplir con la presente fase, se llevaron a cabo una serie de actividades las cuales sirvieron como parte inicial del desarrollo del presente proyecto, a continuación se describe cada una de estas.

5.2.1. Actividad N°1. Conocimiento del proceso de producción del beneficio del café.

Se realizó un acercamiento previo a las instalaciones de la finca La Sirena con la compañía de los propietarios, con el fin de conocer de manera detallada cada una de las etapas que comprende el proceso del beneficio del café, desde su recolecta, agrupación, despulpado y lavado. Se llevó a cabo dicha actividad con el interés de determinar y analizar la cantidad de aguas mieles que son generadas y las problemáticas ambientales y sociales producidas por verter o disponer de manera inadecuada los subproductos generados en el proceso (aguas mieles).

5.2.2. Actividad N°2. Muestreo

Con el interés de identificar las condiciones en que se encuentran las aguas mieles generadas en el proceso del beneficio del café en la finca La Sirena, se llevó a cabo unos análisis físico químicos (DQO, DBO y SST), los cuales fueron comparados con los valores máximos permisibles descritos por la normatividad ambiental vigente y así, determinar cuáles sería los procesos u operaciones que conformaría el sistema de tratamiento de aquellas aguas para su depuración o disminución de carga orgánica, permitiendo de esta manera ser vertidos al cuerpo de agua superficial o en este caso al suelo sin ningún posible daño al medio.

5.3. FASE 2. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN CON DIFERENTES PLANTAS USADAS EN LA FITORREMEDIACIÓN.

5.3.1. Actividad N°1. Diseño e implementación del sistema.

De acuerdo a la información suministrada en la anterior fase, se realizó un diseño a escala piloto para tratar las aguas mieles provenientes de la temporada la travesía, por lo tanto de llevaron a cabo los respectivos cálculos teniendo en cuenta variables y características de interés, las cuales se describirán a continuación:

- Cálculos necesarios
- Especies vegetales a utilizar
- Adecuación de Isotanques
- Adecuación del terreno
- Tanque homogeneizador
- Tanque anaerobio
- Humedales
- Siembra de plantas
- Accionar el sistema

5.3.2. Actividad N°2. muestreo

Los muestreos se realizaron de manera tal que se logró determinar la reducción de la carga contaminante al igual que la eficiencia del sistema al ingreso del agua contaminada y a su salida, el paso del sistema en cada una de sus fases, teniendo en cuenta variables importantes como el caudal, los periodos de muestras y por último los análisis.

Para llevar a cabo el respectivo muestreo se determinó el caudal con base a la capacidad del Isotanque, teniendo en cuenta la manera de operación del sistema de tratamiento piloto. Dicha operación del sistema fue teniendo en cuenta el tiempo de lavado en la temporada de la travesía, siendo de la siguiente manera:

Durante el proceso de beneficio, el cual entra en los dos primeros lavados con un volumen total a tratar de 0,89 m³ al tanque homogeneizador, el cual es abierta la válvula de salida para que entre al tanque anaerobio, de ahí quedaba retenida hasta el próximo lavado de café, cumpliendo con el tiempo de retención, para que

los microorganismos hagan su proceso de biodegradación de la materia orgánica (tiempo de retención de 3-4 días) y posteriormente el agua residual es llevada a los humedales cumpliendo con el mismo tiempo del tanque.

Las muestras de las aguas mieles obtenidas en la actividad de muestreo fueron transportadas hacia un laboratorio avícola con el interés de analizar los parámetros de interés.

Para la obtención en los resultados de los parámetros de interés, se realizó los análisis por medio del laboratorio al parámetro DBO_5 de la salida de cada línea del sistema y con base a los resultados obtenidos, se determinó por medio del método teórico el valor de dicho parámetro en la entrada del sistema, realizándolo de esa manera dado a los altos costos que representa la realización de los análisis al parámetro DBO_5 .

DBO teórico de entrada: Para el resultado de la DBO teórica de entrada del sistema se halló gracias a la relación de DBO_5/DQO y se ejecutó de la relación matemática descrita en la ecuación 1, la cual se mostrará a continuación:

Ecuación 1. Relación DBO_5/DQO

$$\frac{DBO_5}{DQO}$$

Índice de contaminación de aguas residuales:

$$\left(\frac{DBO}{DQO}\right) < 2,5 = \text{Compuesto Biodegradable Organico}$$

Con la DQO hallada por laboratorio se da el resultado de la $DBO_{(teórica)}$ de entrada al sistema mediante la relación:

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{DBO_{teorica}}{DQO}$$

Es importante añadir que según la Resolución 0631 del 2015 el proceso de producción de café ecológico no presenta un valor máximo permisible al parámetro de DBO₅.

5.3.3. Actividad N°3. Análisis de resultados

En esta actividad se realizara el respectivo análisis de los resultados y para ello se determinara la eficiencia de remoción para cada una de las especies vegetales de estudios.

Para cuantificar la eficiencia de remoción de cada especie vegetal se realizara la ecuación matemática número 2, en la cual se tomó como información la concentración del afluente (entrada) y efluente (salida) como se ilustra en la siguiente expresión:

Ecuación 2. Eficiencia de remoción

$$Eficiencia\ remoción = 1 - \frac{C_{efluente}}{C_{afluente}} \times 100$$

Dónde:

C_{Efluente}: Concentración (mg/L) posterior al ensayo.

C_{Afluente}: Concentración (mg/L) previo al ensayo.

5.4. FASE 3. PLANTEAR UN SISTEMA PILOTO REAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES CON PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN.

Con los análisis y datos obtenidos en la anterior fase, se diseñó una prueba a escala real teniendo en cuenta la cantidad de aguas mieles generadas en el beneficio del café en la temporada de la cosecha con su caudal más crítico.

5.4.1. Actividad N°1 Diseño del sistema

Según con el volumen diseñado en la temporada travesía, se calculó el volumen que demanda en el proceso del beneficio del café en temporada de cosecha

Para empezar a realzar un diseño completo del sistema piloto real, se realizó cálculos de variables como carga, retención hidráulica, medio de soporte y diseño por carga, para determinar así el sistema y los cálculos más acordes a lo real.

6. RESULTADOS

6.1. FASE 1. EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MIELES.

6.1.1. Actividad N°1. Conocimiento del proceso de producción del beneficio del café.

A continuación se describe de manera específica el paso a paso del lavado del café para lograr la determinación y la caracterización físico química de las aguas mieles residuales.

6.1.1.1. *Recolección de café*

Se recolecta el grano de forma manual por trabajadores, los cuales escogen solamente granos premaduros y maduros (color amarillo y rojo) como se presenta en la (imagen 7, imagen 8, imagen 9). La cantidad de granos de café recolectados es equivalente al tamaño del terreno de siembra, época del año y la cantidad de recolectores con los que se cuente.

Imagen 7. Grano rojo maduro



Fuente: Cenifacé, Historia del café.

http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/

Imagen 8. Grano semi-maduro



Fuente: Café altura, Tierra, Clima y Cultura. <https://www.cafealtura.cl/historia-del-cafe/nuestra-variedad/>

Imagen 9. Grano verde



Fuente: La razón, Demuestran la eficiencia del grano de café verde para perder peso. https://www.larazon.es/historico/8397-demuestran-la-eficacia-del-grano-de-cafe-verde-para-perder-peso-HLLA_RAZON_446029

Después de ser recolectados los granos apropiados por los cafeteros, se procede a agruparlo para proceder a su realizar sus lavados; los cuales separarán tipos de granos de café al mismo tiempo que eliminarán todo tipo de suciedad presente.

6.1.1.2. *Despulpado de café*

Previo al primer lavado, se arrojan los granos de café a una maquina peladora de café, la cual se encarga de realizar una separación completa de la pulpa y cascara (imagen 10 e imagen 11), del contenido de grano, arrojando cada componente por vías distintas; el grano de café hacia un tanque de lavado y la cascara a un acumulado de cereza.

Imagen 10. Peladora de café



Fuente: Autores

Imagen 11. Ingreso de café



Fuente: Autores

Imagen 12. Grano despulpado y cereza del café



Fuente: autores

6.1.1.3. *Lavado del café*

Para el lavado del café se realizan de 1 a 2 lavados establecidos para cada recolección, aunque, este varía respecto a la cantidad de café que se logra recolectar, variando así, reduciendo así la cantidad de agua a utilizar, esta cantidad es basada en criterio personal del encargado de realizar la tarea, entonces; se obtuvo la información de que para el lavado de unos 300 kg de café cereza en temporada de travesía, se utiliza poco más de 1 m³ calculado de la siguiente manera:

Volumen tanque de lavado:

Largo del tanque: 3,15 m ancho del tanque: 1.20 m alto del tanque: 0.60 m

$$V = 3,15 \times 1,20 \times 0,60 = 2.26 \text{ m}$$

Cantidad de café y volumen de agua usado por época de recolecta

Estos datos se generaron de acuerdo a la información brindada por el propietario actual de la finca, el cual determina estas cantidades, en cargas y arrobas de café seco producido semanalmente según la época en la que se encuentre. A continuación en la tabla 2, se representan las cantidades de agua utilizada para cada diferente época, con su respectiva cantidad en peso seco y húmedo.

Tabla 2. Volumen y peso en cada época de recolección.

TIPO DE COSECHA	CANTIDAD CAFÉ PROMEDIO RECOLECTADO SEMANAL GRANEL (KG/RECOLECTA)	CANTIDAD CAFÉ PROMEDIO RECOLECTADO SEMANAL SECO (KG/RECOLECTA)	CANTIDAD AGUA USADA POR RECOLECCIÓN SEMANAL (M³/RECOLECTA)
Cosecha común	450 kg	157 kg	2,1 m ³
Tiempo traviesa	300 kg	100 kg	1,12 m ³

Fuente: Autores y propietario

Tabla 3. Volumen de agua usado en lavado

CANTIDADES DE AGUA (aprox.), GASTADA PARA UN PROMEDIO DE 100 kg cps	
Lavado #1	0,54 m ³
Lavado #2	0,35 m ³
Lavado #3	0,23 m ³

Fuente: Autores y propietario

Cabe recalcar que el tercer lavado, no se genera en la mayoría de los casos y dada la ocasión; es un vertimiento relativamente muy reducido en cantidad de agua. De igual manera se identifica la poca cantidad de café recolectado, puesto que se realizaron los muestreos en temporada de traviesa.

Total agua gastada en beneficio: >1,12 m³ Aproximadamente (+ agua tercer lavado)

Total agua gastada en beneficio: 0,89 m³ Aproximadamente (sin tercer lavado).

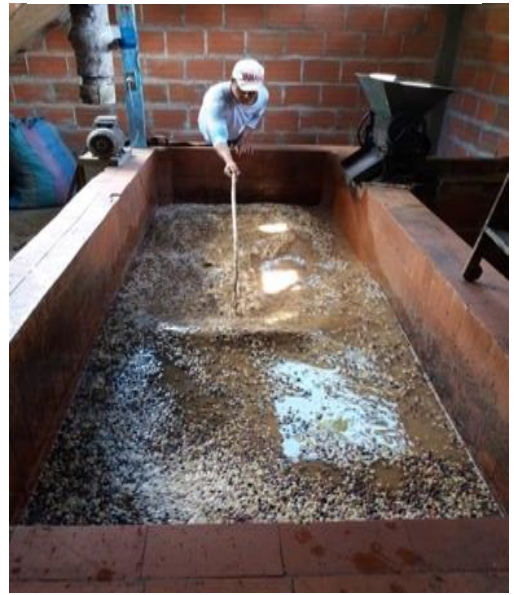
A continuación en la imagen 13 se puede observar cuando se llena totalmente la tina para el primer lavado, en la imagen 14 el segundo lavado y en la imagen 15 el zarandeo que se lleva a cabo para la separación del café y la pasilla.

Imagen 13. Llenado



Fuente: Autores

Imagen 14. Segundo lavado



Fuente: Autores

Imagen 15. Zarandeo



Fuente: Autores

Se puede observar por medio de la imagen 16 y 17 la manera en como vierten las aguas mieles provenientes del proceso del beneficio del café y se puede identificar a nivel visual que dicho efluente presenta un alto nivel de turbiedad y que es dispuesto al suelo en el que su proceso de infiltración es muy lenta.

Imagen 17. Vertimiento



Fuente: Autores

Imagen 16. Afluente



Fuente: Autores

6.1.2. Actividad N°2. Muestreo

Antes de haber realizado la caracterización a las aguas mieles provenientes del beneficio del café, se llevó a cabo una investigación sobre la normatividad que relaciona estos tipos de vertimiento de las aguas residuales, identificando que existe una norma ambiental la cual describe los valores máximos permisibles de ciertos parámetros de interés (DBO, DQO y SST) a los que no se deben de sobre pasar el valor descrito dado que si dicho evento sucede, se ocasionaría un deterioro al ambiente que en este caso sería de manera directa a los cultivos de café y plátano que se encuentran alrededor del lugar donde se lleva a cabo el vertimiento. Para determinar si se cumple con lo descrito en la normatividad se

llevó a cabo una respectiva comparación de los valores obtenidos en los resultados de la caracterización con los descritos en la normatividad ambiental vigente que en este caso es la Resolución 0631 de 2015.

Cierto es que la mayor afectación que genera este tipo de actividad económica en la finca la Sirena es la producida por el vertimiento de sus aguas mieles, en el que por ser un pequeño caficultor sus recursos económicos son limitados, por lo tanto, no contemplan realizar un debido tratamiento a sus aguas mieles, aunque no están exentos de realizar un pertinente proceso de depuración a dichas aguas. Debido a ello, la Corporación Autónoma de la región les está exigiendo el cumplimiento con la normatividad descrita anteriormente teniendo en cuenta que se encuentran clasificados como un café ecológico en su 100% y cuentan como una cantidad de producción menor. En la tabla 4 se podrá observar los valores máximos permisibles que describe la Resolución mencionada con anterioridad.

Tabla 4. Límites de parámetros permisibles

ARTICULO 9º. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS A MONITOREAR Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS (ARND) A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE AGROINDUSTRIA Y GANADERÍA.		
BENEFICIO DEL CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS FNC/CENICAFÉ). PROCESO ECOLÓGICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE ESTABLECIDO
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00
DBO ₅	mg/L-O ₂	No reporta
DQO	mg/L-O ₂	3.000,00
SST	mg/ L	800,00

Fuente: Resolución 0631 del 2015

En la finca la Sirena se realizan entre 1 y 2 lavados por semana con un promedio de café mojado de 300 kg (temporada travesía), o según la temporada que se esté transcurriendo, lo cual no representa un caudal continuo, sino intermitente; el cual va dirigido específicamente al recurso suelo, el cual por efecto de gravedad y

pendiente, ocurre una escorrentía rápida debido a la inclinación en donde se encuentra la finca, este vertimiento se realiza sin ningún tipo de pre tratamiento.

Para realizar la identificación de los parámetros descritos anteriormente y teniendo en cuenta el proceso de lavado que genera en la finca la Sirena; se contactó con un laboratorio certificado en análisis de parámetros físico químicos de aguas residuales, los cuales nos proporcionaron las herramientas y metodología adecuada para poder realizar un muestreo puntual.

Toma de muestra

Para realizar la toma de la muestra para la caracterización inicial se dejó llenar un tanque de 1 m³, el cual haría la función de un tanque homogeneizador recibiendo el total de agua utilizada en los dos primeros lavados, que contienen la carga contaminante más alta. En la imagen 18 se puede observar que se llevó a cabo la toma de la muestra para la caracterización de las aguas mieles.

Imagen 18. Toma muestra caracterización inicial



Fuente: Autores

Una vez tomada la muestra se envió al laboratorio en el menor tiempo posible, respetando las condiciones del almacenamiento y transporte de muestras de aguas residuales para evitar alteraciones. A continuación en la tabla 5 se evidencia los parámetros establecidos como máximos para vertimientos de aguas residuales provenientes del beneficio del café ecológico:

Tabla 5. Caracterización aguas beneficio del café

RESULTADOS ANÁLISIS DE PARÁMETROS, MUESTREO SALIDA DE AGUA RESIDUAL BENEFICIO DEL CAFÉ		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO ANÁLISIS
pH	Unidades de pH	3,70
DBO ₅	mg/L O ₂	9284 +/- 1745
DQO	mg/L O ₂	14125 +/- 720
SST	mg/L	2403 +/- 135

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los valores obtenidos por la caracterización se realizó la respectiva comparación con los descritos en la tabla 4 que son los que corresponde de la Resolución 0631 del 2015, en el cual se puede concluir que las aguas mieles provenientes del beneficio del café de la finca la Sirena no cumple con los valores descritos en la normatividad, por lo que los valores de los parámetros DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno), DQO (Demanda química de oxígeno) y SST (sólidos suspendidos totales) y el pH (Potencial Hidrogeno), sobrepasan los máximos permisibles. Con lo identificado se determina que existe una gran afectación en el suelo por cada vertimiento que se realiza sin ningún tratamiento previo en la producción y beneficio del café. Por lo tanto, se determina que en realidad es conveniente llevar a cabo un diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales mieles producto del beneficio del café.

6.2. FASE 2. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN CON DIFERENTES PLANTAS USADAS EN LA FITORREMEDIACIÓN.

6.2.1. Actividad N°1. Diseño del sistema

Para elaboración del sistema piloto, se tuvo en cuenta la caracterización dado que a través de ello se identificó la carga contaminante de las aguas mieles y así, se determinó las etapas, procesos u operaciones, sirviendo como guía el diseño del sistema los proyectos descritos en el estado del arte, ciertas asesorías con personas capacitadas en el tema como el director del presente proyecto y con el conocimiento de sus autores.

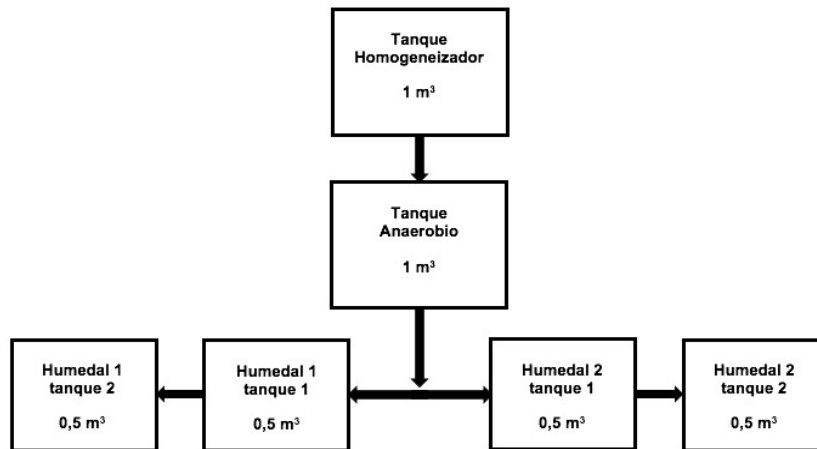
Con las asesorías técnicas y sus respectivos análisis se diseñó un sistema de tratamiento biológico por medio de la fitorremediación dado a su alta carga orgánica, utilizando para su instalación o medio Isotanques.

6.2.1.1. Esquema del sistema piloto

Para el diseño del sistema piloto se utilizaron Isotanques con capacidad de 1 m³ debido que en el proceso del beneficio del café en temporada travesía se genera un volumen máximo a tratar de 0,89 m³, manejando un tiempo de retención con base al proceso de lavado del café que se realiza dos veces por semana, cada 3 o 4 días.

El sistema de tratamiento de las aguas mieles consistieron en las siguientes etapas, homogeneizador (mezcla homogénea), proceso anaeróbico (actividad microbiana) y dos líneas de humedales, en la que cada línea fue una especie vegetal diferente (Heliconia y Bijao), en el esquema 1 se puede observar de manera más detallada el sistema piloto.

Esquema 1. Sistema piloto del sistema de tratamiento de las aguas mieles



Fuente: Autores

6.2.1.2. Operación del sistema

Al sistema entran los dos primeros lavados del café ya que estas aguas son las que presentan mayor carga orgánica, el agua residual ingresa al tanque homogeneizador y después de ser llenado en su totalidad se procede a abrir la válvula de salida del tanque para que el agua a tratar ingrese al tanque anaerobio, en el tanque anaerobio se trabajó con un tiempo de retención de acuerdo al tiempo de lavado en la temporada de travesía que fue de 3 – 4 días.

Después de haber pasado el tiempo descrito anteriormente, se distribuye el efluente a las dos líneas de humedales, donde cada una de estas cuenta con el mismo volumen a tratar, el humedal se está trabajando con el mismo tiempo de retención del tanque anaerobio ya que opera dependiendo del proceso de lavado del café.

6.2.1.3. Las especies vegetales a analizar

La especie *Heliconia* fue conseguida de manera comercial dado por ser una planta ornamental de fácil adquisición y con un buen cuidado, por su parte el *bijao* por ser una especie igualmente común, pero no comercial en viveros; fue recolectada en

los alrededores de la finca la Sirena, encontrándose exactamente en un área pantanosa, en una zona de alta humedad.

De acuerdo al Ingeniero Agrónomo Gustavo Adolfo Molina, las plantas al tener un cambio en su hábitat natural son propensas a sufrir de estrés, lo cual podría verse reflejado en un resultado negativo de las mismas en el sistema de humedal artificial durante la adaptación a su nueva zona, por ende se tomaron las mayores precauciones al momento de extracción y transporte de plantas a la zona de trabajo (humedal). Según las recomendaciones tomadas por el profesor e Ingeniero Luís Carlos Villegas, para el transporte de cada una desde el lugar de adquisición hasta donde se encuentra el sistema, se trasladaron en bolsas plásticas cuidando de que permanecieran húmedas y de no dañar las sus raíces, al igual que mantener cierta cantidad de suelo para que no tuviesen un cambio radical de disposición de nutrientes, agua, minerales etc. En la imagen 19 y 20 se puede observar la manera en cómo se obtiene las especies vegetal de estudio.

Imagen 19. Obtención del Bijao



Fuente: Autores

Imagen 20. Compra de heliconia



Fecha: Autoras

6.2.1.4. *Construcción del sistema piloto.*

Antes de la construcción del sistema piloto se organizó el área de trabajo con su respectivo acondicionamiento del terreno ya que el terreno contaba con una gran pendiente y zona de maleza, totalmente descuidada y se adecuó de manera tal, que se le diera un total provecho de la gravedad para la operación del sistema, reduciendo posibles costos por bombas de impulsión u otros mecanismos. En la imagen 21 se puede observar que se adecuó el terreno para la instalación del sistema de tratamiento.

Imagen 21. Adecuación del trabajo



Fuente: Autores

6.2.1.5. *Tanque homogeneizador*

Para el tanque homogeneizador se utilizó un Isotank de 1 m³ con entrada en la parte superior a una altura de 0,9 m y la salida en la parte inferior a 0,2 m, los materiales de la tubería se implementaron en tubería sanitaria en PVC de 2", para así reducir costos frente a una tubería a presión.

Este tanque está implementado para tratar un volumen máximo de agua residual generada que es de 0,89 m³ por los dos lavados iniciales del café (temporada de travesía), a su salida, se utilizaron codos de 90 grados, siguiente de una válvula reguladora de 2" con sus respectivos accesorios. En la imagen 22 se puede visualizar el tanque homogeneizador respectivamente instalado.

Imagen 22. Tanque Homogeneizador



Fuente: Autores

6.2.1.6. *Tanque Anaerobio*

Para el tanque anaerobio se utilizó un Isotanque de igual capacidad que la del tanque homogeneizador, se acondicionó de tal manera que su operación e ingreso de efluente, sea como un filtro anaerobio de flujo ascendente, ubicando así el ingreso en la parte inferior del tanque.

En su interior se ingresaron elementos plásticos, los cuales harían la función de rosetones (conos de hilos) los cuales son netamente plásticos y con forma circular lo cual según lo leído en la teoría, afecta de manera positiva la adherencia de los microorganismos, la tubería se implementó igual que el tanque homogeneizador en PVC en un diámetro de 2" y para asegurar la no acumulación de gases, se implementó un trozo de tubería con un codo de 90 grados que realiza la función de cuello de ganso de 1 ½" para la evacuación de gases, a este se le ubico en su parte externa un fracción de algodón para evitar lograr una salida de aire mas no un ingreso. En la imagen 23 se puede observar el tanque anaerobio debidamente instalado.

Imagen 23. Tanque anaerobio



Fuente: Autores

6.2.1.7. Humedales

Para la elaboración de los humedales se utilizaron dos Isotankes uno por cada línea, donde se partieron a la mitad para que haya una mayor área (2 m² por línea), los humedales se trabajaron en línea para así aumentar el tiempo de retención y por consiguiente la eficiencia de remoción

Materiales del humedal:

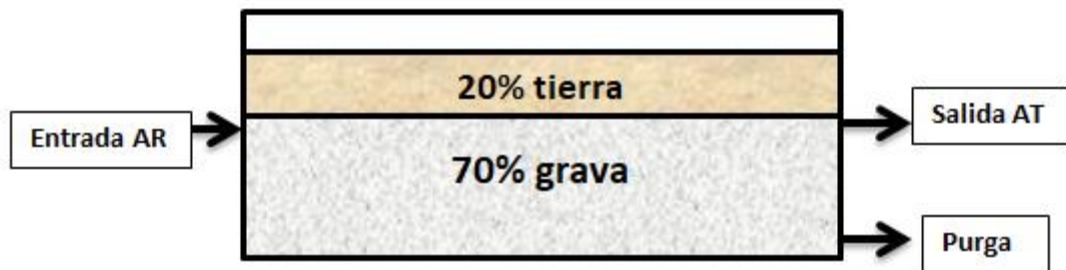
- Grava de río (mayor a 5 mm)
- Flauta en T de PVC de 2"
- Malla de 0,4 mm de diámetro de agujeros
- Geo membrana
- Tierra orgánica

Cada humedal contiene: entrada de agua residual por medio de tubería sanitaria dispuesta de manera que fluya por gravedad utilizando codos y uniones, además una purga en su parte inferior y salida de agua tratada de igual diámetro que todo

el sistema implementada en PVC a una altura en la cual se estima que el agua haya atravesado todos los filtros de grava, en esta salida se adecuaron mallas en material resistente con el propósito de que no haya taponamiento en la salida de los humedales por efecto de la grava de menor diámetro al ser impulsada y arrastrada por el caudal manejado.

El tanque se llenó hasta un 70% en grava en su parte inferior, con base a la teoría y al criterio personal; en su parte superior un 20% de tierra orgánica, para evitar un desplome de tierra, filtración y traspaso de suelo a la zona de grava se ubicó entre las dos un material geo textil para que haya contacto entre los dos materiales mas no una filtración que afecte los parámetros a tratar mediante el sistema. En la imagen 24 se ilustra el medio del humedal.

Imagen 24. Estructura del humedal



Fuente: Autores

Importante mencionar que la grava utilizada fue varias veces lavada para eliminar todo tipo de suciedad de menor tamaño y arenilla la cual pudiese generar algún tipo de taponamiento u obstrucción en la válvula de salida.

Entrada del agua residual al humedal: Para la entrada del agua residual al humedal se implementó una flauta en forma de T que ayuda a la uniforme distribución del agua residual en él y así evitando zonas de corto circuito, mediante un flujo uniforme a lo largo y ancho del tanque. En la imagen 25 se observa la forma de la flauta utilizada para la distribución del agua residual en la entrada del humedal.

Imagen 25. Grava lavada



Fuente: Autores

Siembra de plantas: Luego de tener instalado el sistema piloto, con su grava lavada, instalación de tubería dispuesta en flauta para una mejor distribución del efluente, se llevó a cabo la siembra de las plantas de Heliconia y Bijao, con una densidad por tanque de nueve (9) plantas por humedal, por cada metro cuadrado (m^2), con un total de 18 plantas por cada línea, cada una dispuesta a 5 cm de la siguiente, tratando con esta medida de que cada planta tenga su superficie de adaptación y obtención de nutrientes. Cabe mencionar las adecuaciones que se le realizaron al material Geo textil para ayudar a que las raíces de las plantas no se obstruyeran en este, se hicieron orificios los cuales permitirían el paso de las raíces y generar su efecto de “agarre” para obtención de alimento. En la imagen 26 se ilustra como quedó la siembra de las plantas.

Imagen 26. Siembra de plantas



Fuente: Autores

Adaptación de plantas al medio: El periodo de adaptación a la grava como medio de soporte fue de 45 días, el cual inició el día 19 de noviembre del año 2018 hasta el día 3 de diciembre del año 2018, tiempo durante el cual se registraron los cambios de la planta a su nuevo espacio, las observaciones en la reacción de cada especie de planta ensayada, haciendo uso de la 6, la cual muestra la adaptación de plantas, es importante mencionar que las plantas fueron sembradas de acuerdo a la información brindada por expertos en el tema, también en el proceso de aclimatación los dos sistemas contaban con un flujo continuo de agua sin contaminante para garantizar las condiciones de humedad óptimo para las plantas ensayadas. A continuación en la tabla 6 se encuentran las observaciones visuales realizadas durante el periodo del 1 diciembre hasta 6 del mismo mes:

Tabla 6. Adaptación de plantas

PERIODO DE ENSAYO	ADAPTACIÓN AL NUEVO MEDIO		
TIEMPO DE OBSERVACIÓN	6 DÍAS		
FECHA	1 DIC-6 DIC		
TIPO DE PLANTA	OBSERVACIONES		
	TALLO	HOJAS	FLORES
HELICONIA	Los tallos de las plantas no presentan mal apariencia en su color	En 7 de las 18 plantas de heliconia se pudo observar marchitez, pero su color no tuvo cambios	Las plantas sembradas en el sistema tienen flores las cuales se encuentran en perfectas condiciones sin cambios aparentes
BIJAO	Los tallos presentan buen estado	En todas las plantas se observó que tuvieron hojas marchitas y un grado de color amarillo	En el bijao ninguna de las plantas presentaron presencia de flores

Fuente: Autores

Es importante resaltar que las plantas presentaron un decaimiento por causa del cambio de hábitat, siendo principalmente la especie vegetal Bijao, dichas plantas presentaron cambios de color en sus hojas y tallo. Por otro lado las plantas de heliconia se le observaron marchites en sus hojas pero siempre se mantuvo con su color verde natural. El resultado de estas observaciones indican que la que mayor resistencia al cambio de su hábitat fue la heliconia.

Debido a cuestiones climáticas no previstas en el desarrollo del proyecto, se presentó una gran radiación solar; la cual afectó de manera negativa la salud y estabilización de las plantas en su adecuación al suelo y grava, al igual que su apariencia como se demuestra en la imagen 27.

Imagen 27. Plantas afectadas



Fuente: Autores

6.2.2. Actividad N°2. Muestreo

Para identificar si el sistema piloto diseñado logro remover la carga contaminante que presenta las aguas mieles provenientes del beneficio del café de la finca la Sirena, se llevó a cabo un muestreo para analizar los valores obtenidos de los parámetros físico químicos.

6.2.2.1. Medición de caudal

El caudal del tanque anaerobio en promedio 0,021 L/s, por lo tanto se tomó el 50 % de la cantidad del agua residual para cada línea de los humedales, siendo un volumen a tratar de 0,89 m³ por beneficio de café.

6.2.2.2. *Período de toma de muestras y análisis*

Una vez terminado el período de aclimatación, se realizaron cinco muestras puntuales al agua residual dado que el proceso del lavado de café se realiza cada dos veces a la semana, utilizando 1,2 m³ de agua que se requiere para cada lavado, el cual emplea en total un tiempo de proceso de 25 minutos.

Las muestras fueron en el mes de enero del 2018. Se realizó una toma de muestra simple en la entrada y salida del sistema en los días en que se generó lavado de café y se muestra las fechas de toma de muestras en la siguiente tabla:

Tabla 7. Periodo tomas de muestras

MUESTREO	FECHA	HORA
1	3-ene-19	9:00 a. m
2	7-ene-19	10:15 a. m
3	10-ene-19	9:30 a. m
4	15-ene-19	10:00 a. m
5	19-ene-19	11:00 a. m

Fuente: Autores

A continuación en la tabla 8 se muestran todos los resultados obtenidos en los diferentes días de muestreo (periodo de seguimiento) donde se realizó operación del sistema de tratamiento.

Tabla 8. Resultados entrada vs salida del sistema de tratamiento piloto

MUESTREO	FECHA MUESTREO	HORA	TDR (DIAS)	ENTRADA					LINEA									
									HELICONIA					BIJAO				
				NTU	pH	SST mg/L	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ teorica	NTU	pH	SST mg/L	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ Teorica	NTU	pH	SST mg/L	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ Teorica
1	3-ene-19	9:00 a. m.	3	879	3,7	2.300	14.327	9.123	95,9	4,82	398	1.068	680,07	89,4	4,28	398	1.463	932
2	7-ene-19	10:15 a.m.	4	848	3,1	2.318	11.382	8.975	86	5,14	145	987	778,275	102,5	4,82	308	1.538	1213
3	10-ene-19	9:30 a.m.	3	799	3,8	2.294	15.643	9.362	124	4,61	475	1.261	754,681	154	4,71	299	1.406	841
4	15-ene-19	10:00 a.m.	5	894	3,6	2.328	12.780	9.045	97,5	5,12	148	1.095	774,982	96,1	5,88	140	1.075	761
5	19-ene-19	11:00 a. m.	4	902	3,2	2.600	14.081	9.203	106	5,3	152	1.067	697,365	92,8	4,23	265	1.268	829

Fuente: Autores

6.2.3. Actividad N°3. Análisis de resultados

6.2.3.1. Eficiencia de remoción en cada muestreo

La eficiencia de remoción se realiza con el fin de lograr interpretar de una manera más sencilla lo realizado por el sistema en cuanto a descontaminación de aguas residuales. En la tabla 9, 10, 11, 12 y 13, se logra observar los resultados obtenidos en cada muestreo realizado de los parámetros SST, DBO₅ y DQO, con su respectiva eficiencia de remoción.

Tabla 9. Muestreo numero 1

Medición N° 1 - Muestreo		Fecha: 3/01/2019		
Especie	Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción
Heliconia	SST	2.300	398	82,7
	DQO	14.327	1.068	92,5
	DBO ₅	9.123	680,1	92,5
Bijao	SST	2.300	398	82,7
	DQO	14.327	1.463	89,8
	DBO ₅	9.123	932	89,2

Fuente: Autores

Tabla 10. Muestreo número 2

Medición N° 2 – Muestreo		Fecha: 7/01/2019		
Especie	Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción
Heliconia	SST	2.318	145	93,7
	DQO	11.382	987	91,3
	DBO₅	8.975	778,3	91,3
Bijao	SST	2.318	308	86,7
	DQO	11.382	1.538	86,5
	DBO₅	8.975	1.213	86,5

Fuente: Autores

Tabla 11. Muestreo numero 3

Medición N° 3 – Muestreo		Fecha: 10/01/2019		
Especie	Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción
Heliconia	SST	2.294	475	79,3
	DQO	15.643	1.261	91,9
	DBO₅	9.362	754,7	91,9
Bijao	SST	2.294	299	87,0
	DQO	15.643	1.406	91,0
	DBO₅	9.362	841	91,0

Fuente: Autores

Tabla 12. Muestreo numero 4

Medición N° 4		Fecha: 15/01/2019		
Especie	Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción
Heliconia	SST	2.328	148	93,6
	DQO	12.780	1.095	91,4
	DBO₅	9.045	775,0	91,4
Bijao	SST	2.328	140	94,0
	DQO	12.780	1.075	91,6
	DBO₅	9.045	761	91,6

Fuente: Autores

Tabla 13. Muestreo numero 5

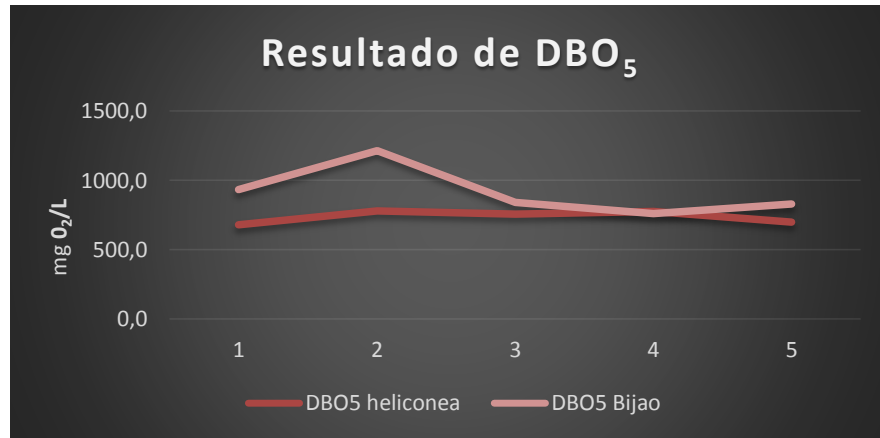
Medición N° 5 – Muestreo		Fecha: 19/01/2019		
Especie	Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción
Heliconia	SST	2.600	152	94,2
	DQO	14.081	1.067	92,4
	DBO₅	9.203	697,4	92,4
Bijao	SST	2.600	265	89,8
	DQO	14.081	1.268	91,0
	DBO₅	9.203	829	91,0

Fuente: Autores

De acuerdo con las tablas 9, 10, 11, 12,13, se puede observar los porcentajes de eficiencia de remoción durante todo el periodo de muestras y se pudo notar que las dos líneas tuvieron un gran porcentaje de remoción de las cargas contaminantes.

Para una mejor comparación y entendimiento de los resultados obtenidos por cada parámetro de interés con respecto a la planta de estudio, se muestra la grafica

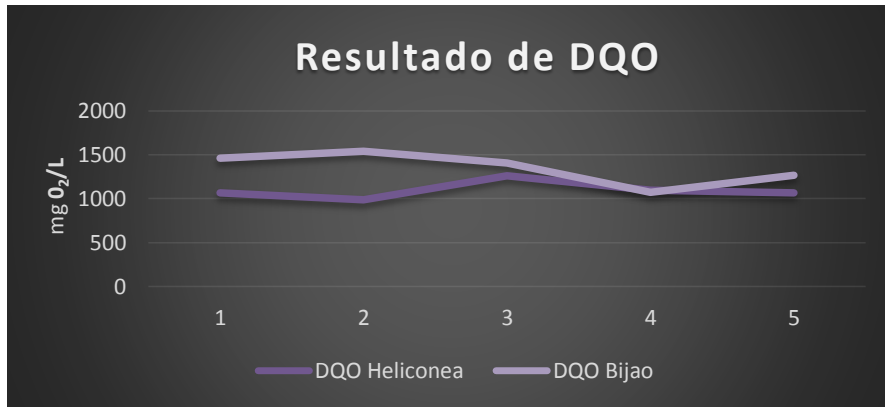
Gráfica 1. Análisis DBO₅



Fuente: Autores

Se pudo dar como resultado que la línea de humedales de la Heliconia tuvo mejor remoción en cuatro de las cinco muestras tomadas de DBO₅ ya que el Bijao solo estuvo en un rango igual en el análisis de salida en el muestreo N°4. Dando como resultado que la Heliconia fue la de mejor disminución de cargas contaminantes del agua residual de salida, sin embargo es preciso mencionar que ninguna de las muestras tomadas a la salida del sistema se encontró igual o por debajo del rango requerido por la Resolución 0631 del 2015.

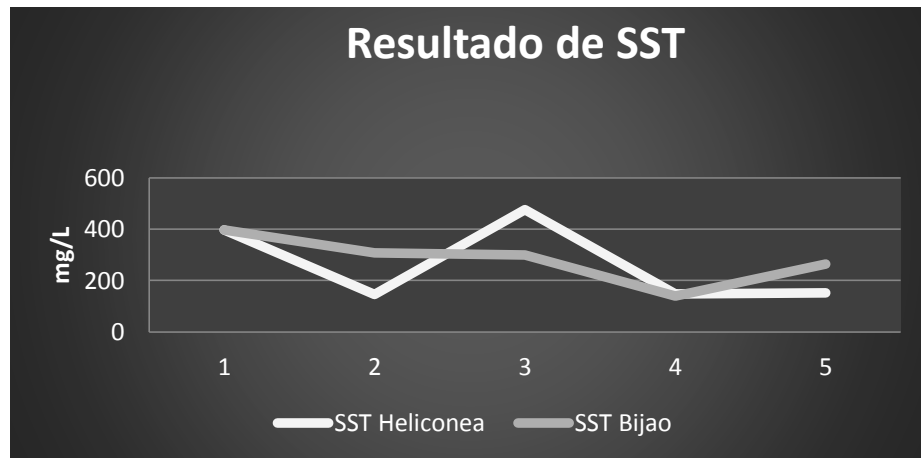
Gráfica 2. Análisis DQO



Fuente: Autores

Mediante lo demostrado en el gráfico anterior se evidenció que la Heliconia tuvo mejor resultado en la remoción de DQO, ya que en cuatro de los cinco análisis realizados se mantuvo por debajo de los 1.200 mgO₂/L y a su misma vez el Bijao supero en tres de los resultados los 1.400 mgO₂/L, un resultado muy alto a comparación de la otra planta, es de resaltar que tuvieron una alta eficiencia de remoción y que las dos líneas cumplen con lo estipulado en la Resolución 0631 del 2015.

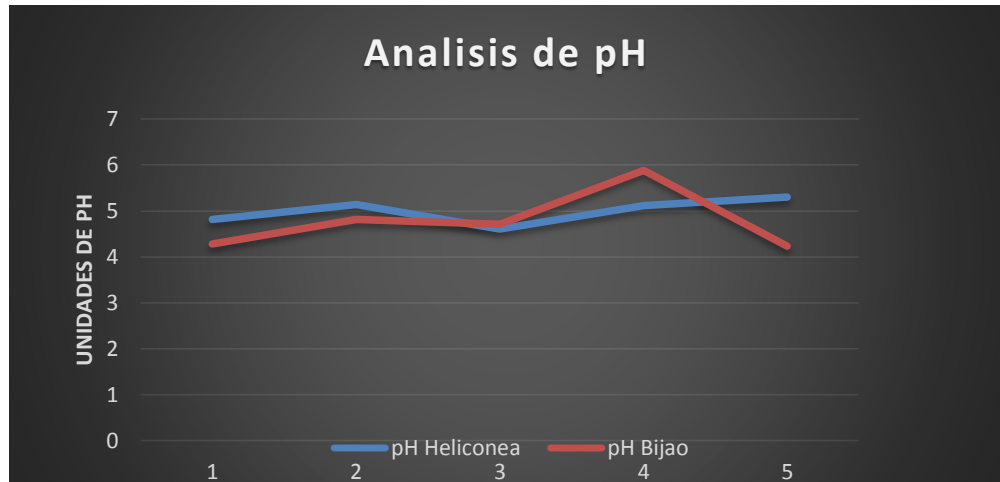
Gráfico 1. Análisis SST



Fuente: Autores

Para el resultado de SST la planta que tuvo una mayor remoción en las cinco muestras, fue el Bijao ya que estuvo menor a 200 mg/L y solo en una muestra fue menor de ese resultado la Heliconia y también se registró un dato a la Heliconia mayor a 400 mg/L, en conclusión para este parámetro el Bijao fue la de mejor eficiencia.

Gráfica 3. Análisis pH



Fuente: Autores

El resultado de pH mediante la gráfica anterior, se ve reflejado en la apariencia física de las plantas de las dos líneas, ya que en muchas de ellas se pudieron observar con marchites y color amarillo en sus tallos al finalizar las muestras, en las dos líneas el pH fue similar y menor a 7 en todos los resultados, por lo tanto se trata de un agua con un pH muy ácido para que las plantas las traten y se alimenten de este vertimiento.

6.3. FASE 3. PLANTEAR UN SISTEMA PILOTO REAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES CON PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN.

6.3.1. Actividad N° 1. Diseño del sistema

Los avances del estudio, contribuyen al diseño de sistemas a escala real, con base al volumen a tratar, resultados obtenidos en las muestras realizadas de los parámetros de interés y las observaciones físicas de las plantas de los humedales se diseñó el sistema para el tratamiento del agua residual generado en la finca la sirena.

El sistema que se diseñó será de acuerdo al V_{\max} de aguas residuales que se genera en la finca La Sirena, por lo tanto será en la que se obtiene en temporada de cosecha, siendo un volumen de $2,1 \text{ m}^3$ que proviene de los tres lavados pero solo se trató el agua residual que se genera en los dos primeros lavados dado a su carga orgánica, por lo tanto será un volumen total a tratar de $1,8 \text{ m}^3$.

El tiempo de retención será de acuerdo al día que haya beneficio de café, este se maneja dos veces por semana en la finca la Sirena ya que se debe es a acondicionar a su proceso.

6.3.1.1. *Tanque homogeneizador*

El volumen máximo generado en el beneficio de café en la finca la Sirena es de $1,8 \text{ m}^3$ de agua, para el tanque homogeneizador se requiere un tanque con un volumen de 2 m^3 para que el agua residual de entrada al tanque anaerobio tenga la misma concentración y no se presenten inconvenientes en el proceso microbiano anaerobio.

6.3.1.2. *Tanque Anaerobio*

Tiempo de retención hidráulica: Se considera que es el principal factor de eficiencia de los filtros anaerobios, tiempos de retención altos favorecen al mayor contacto de la película con el floc granular suspendido de las aguas residuales, por lo que genera una mayor producción de microorganismos y también una gran remoción de contaminantes.

Carga hidráulica volumétrica:

La carga hidráulica volumétrica se define según como lo muestra la siguiente ecuación matemática 3:

Ecuación 3. Carga hidráulica volumétrica

$$CO = \frac{So}{TRH}$$

CO: Carga orgánica (Kg/m³*día)

So: Carga contaminante de entrada (mg DBO/litro)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (Días)

Para el diseño de tanques anaerobios no exceden la carga volumétrica por lo general de 12 kg/m³.día, al menos que sean aguas residuales que excedan la concentración de 12.000 kg DBO/L), por la cual existe una concentración por encima del límite que queda diseñado el sistema y por debajo del TRH.

Medio de soporte: La superficie específica del medio tiene un efecto menor en el rendimiento de los filtros, generalmente se trabaja con un área superficial de 100 m³/m² ara el relleno de filtro anaerobio se han utilizado diferentes tipos de materiales entre ellos gravilla, materiales de cerámica, cilindros y esferas plásticas, módulos de flujo, troncos de material vegetal, etc.

El material de relleno a utilizar será cilindros plásticos (cono de hilo), ya que se ha demostrado en algunos estudios que el material plástico tubulares permiten un mayor distribución del flujo a tratar aguas con mayor carga orgánica, debido a que son materiales de mayor porosidad.

Diseño del tanque anaerobio:

Para realizar el diseño se ejecuta a partir de los siguientes parámetros:

- DBO afluente= 9284 (mg/L)
- Caudal de afluente (Q) = 0.503 m³/día

Diseño por carga orgánica (CO):

Para las aguas residuales de tipo industrial se encuentran la carga orgánica de diseño en un rango de 8 – 20 (Kg/m³.día), para el diseño del tratamiento de aguas del beneficio de café de la finca La Sirena se tomó un valor de Carga orgánica de 12 Kg/m³.día, con este parámetro se puede realizar las dimensiones del tanque.

$$CO = \frac{DBO_{afluente} \left(\frac{mg}{L} \right) * Q \left(\frac{m^3}{dia} \right)}{Vu(m^3) * 1000}$$

Se despeja el volumen útil del tanque (V_u), utilizando los valores conocidos y se tiene:

$$Vu(m^3) = \frac{DBO_{afluente} \left(\frac{mg}{L} \right) * Q \left(\frac{m^3}{dia} \right)}{CO \left(\frac{Kg}{m^3 * dia} \right) * 1000}$$

$$Vu = 0,400 m^3$$

El volumen del tanque da un aproximado de 400 m³, para el sistema de la finca la Sirena el tanque anaerobio se implementara el Isotanque de 1 m³ ya que contamos con el equipo.

Con el dato del volumen del tanque anaerobio se procede al $TRH_{teórico}$

$$TRH = \frac{Vu(m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{dia} \right)}$$

$$TRH = 0,77 \text{ dias}$$

6.3.1.3. Humedales

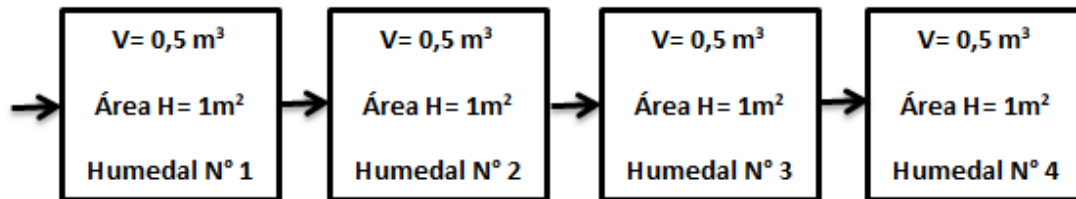
Con base a los resultados obtenidos se optó por utilizar la Heliconia en el humedal establecido para la fase número 3, dado que fue la línea del humedal que obtuvo mejor resultados de eficiencia en la remoción de contaminantes en comparación con el Bijao. De esta manera, el humedal tendrá 36 plantas, es decir, por cada m² de superficie del humedal habrá 9 heliconias, adicionalmente se establece que debido a las dificultades de la siembra que se obtuvo en el ensayo de la prueba piloto, las plantas estarán a una altura de 20 cm y ubicadas al borde del tanque, con el fin de promover un mejor “agarre” de sus raíces y evitar posibles volcamientos por el peso del tallo.

Entrada agua residual al humedal: Se implementara para la entrada una flauta en T para que no haya zonas muertas y una mejor distribución del agua residual, como se pudo demostrar en la fase numero 2.

Para los ensayos se utilizaron en cada línea dos tanques de $0,5 \text{ m}^3$ con un área total de 2 m^2 , para una mayor eficiencia del humedal se va implementar los cuatro tanques con un área total de 4 m^2 .

En la imagen 28, esquema humedales en serie se puede apreciar la cantidad de humedales en línea con sus respectivas medidas.

Imagen 28. Esquema humedales en series



Fuente: autores

Materiales del humedal

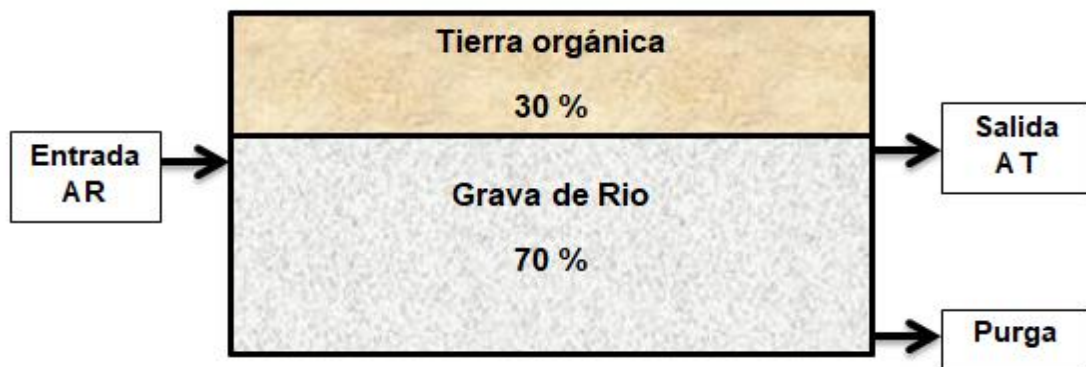
- Grava de río (mayor a 5 mm)
- Flauta en T de PVC de 2" (diámetro sugerido acorde a la producción)
- Malla de 0,4 mm de diámetro de agujeros
- Geo membrana
- Tierra orgánica

Dimensiones del humedal: Se utilizará la misma base usada en el método de la fase número 2, el cual trata de Isotanques reducidos a la mitad de su tamaño, para así aumentar el área en contacto el vertimiento, con una capacidad de $0,5 \text{ m}^3$ cada uno.

En base a las problemáticas encontradas en el sistema piloto, los humedales en su contenido tendrán grava hasta un 70 % de su capacidad para aumentar el

contacto y con respecto a la tierra orgánica, entonces deberá de tener un 30 %, para así evitar volcamientos y una mejor disposición de nutrientes del suelo, dando como resultado lo demostrado en la siguiente imagen. En la imagen 29 se puede observar el medio del humedal.

Imagen 29. Contenido humedales

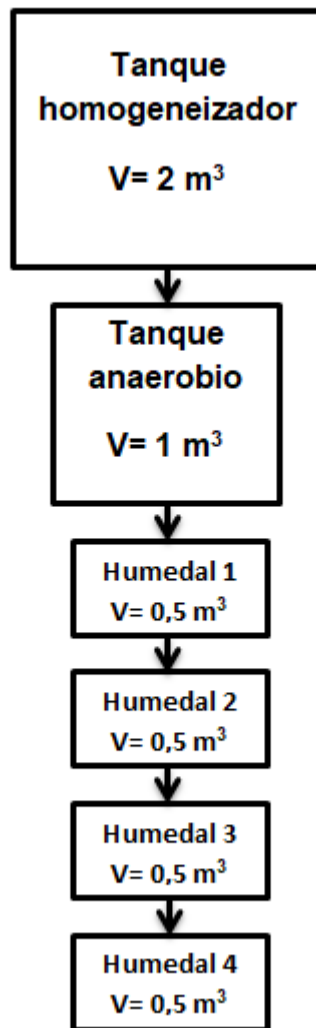


Fuente: Autores

De acuerdo a los resultados, inconvenientes y contratiempos encontrados en la fase número 2, se logra determinar y establecer un sistema netamente funcional y efectivo para el tratamiento de las aguas residuales mieles provenientes del beneficio del café. El cual generaría una gran satisfacción por parte del propietario, ya que se realizan unos vertimientos mucho más libres de contaminantes y ajustándose a la normatividad legal colombiana actual, para así evitar sanciones y/o multas por parte de entidades ambientales.

A continuación por medio de la imagen 30 se podrá observar el esquema del sistema de tratamiento para depurar la totalidad de aguas mieles que se producen en el proceso del beneficio del café de la fina La Sirena.

Imagen 30. Esquema del sistema general



Fuente: autores

Este sistema es diseñado para tratar el volumen máximo de agua residual generada en el beneficio de café de la finca La Sirena, ya que cuenta con un tanque que recibe su totalidad de aguas residuales a tratar.

La disposición final de las aguas tratadas mediante el sistema, pueden ser una buena opción para riego de cultivos de café, dado que según Eyvar *et al.*, citaron lo descrito por Delgado sobre, “las aguas residuales tratadas con sistemas de

depuración anaerobio poseen efectos positivos en efectividad y desarrollo de cultivos⁴⁹.

⁴⁹ EYVAR *et al.* Efectividad de la aplicación de bioinsumos de aguas residuales de café en productividad de hortalizas. Colombia: Cauca, 2013. p. 43

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema piloto el cual tuvo buenos resultados en la remoción de las cargas contaminantes de las aguas mieles provenientes del beneficio del café, especialmente con el parámetro DQO en la muestra numero 3 dado que al sistema dicha agua residual entro con una concentración de 15.643 mg O₂/L y su efluente fue de 1.261 mg O₂/L, por lo tanto se obtuvo una eficiencia de remoción del 91,9%, cumpliendo con la Resolución 0631 del 2015.
- Para el proceso de beneficio del café en la fina La Sirena, se requiere grandes volúmenes de agua potable que son alrededor del 16.800 Litros en temporada de cosecha, los cuales por no ser usadas de manera eficiente se está favoreciendo al aumento del caudal que entra al sistema, por lo tanto.
- Por medio del sistema piloto se logró demostrar que entre las dos plantas de estudio la que obtuvo mayor capacidad de remover la carga contaminante fue la especie heliconia, adicionalmente su capacidad de adaptación fue mucho mejor en comparación al bijao.
- Las plantas analizadas mostraron ser eficientes para su utilización en humedales subsuperficiales donde se requiera remover cargas orgánicas (DQO, DBO y SST).
- El humedal por medio de la fitorremediación se muestra como una opción completamente eficaz por su capacidad de remover las cargas contaminantes y al mismo tiempo económico por la fácil adquisición en los materiales o elementos que se requieren para su ejecución.
- El tiempo de retención se hace fundamental en el tratamiento de aguas residuales, puesto que entre mayor sea su retención se obtendrá una menor carga contaminante en los vertimientos como se pudo apreciar en los resultados donde las que tuvieron un TRH mayor a 4 días su resultado

fue menor en la concentración de los parámetros a comparación de las que tuvieron un TRH de 3 días.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de un compuesto como la soda caustica para subir el pH del agua residual del entrada al sistema, ya que en los resultados dio muy bajo y esto implica efectos negativos para las plantas de los humedales.
- Se sugiere realizar de manera trimestral la limpieza del tanque anaerobio y en el tanque homogeneizador dos veces al año debido a los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables.
- Para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café se recomienda tener una mayor área en los humedales para así garantizar un mayor tiempo de retención para la disminución de DBO₅ de salida del tratamiento.
- Con los resultados obtenidos de los muestreos realizados al sistema piloto se identificó que las aguas mieles provenientes de la finca La Sirena presentaban un pH menor a 5,2, por lo tanto dicho estado puede interferir en la eficiencia del proceso microbiana, de esta manera se recomienda la adición de Cal viva Ca(OH)₂ o Soda Caustica NaOH antes del tanque anaerobio.
- En el uso de grava para la implementación en humedales se recomienda que sea de la misma granulometría para así evitar complicaciones en la hora de operación de ellos.
- Se recomienda realizar para futuros proyectos la implementación de humedales con diferentes tipos de plantas para así determinar si es mayor la eficiencia en remoción de los contaminantes con el fin de proponer alternativas de tratamiento de las aguas residuales para los pequeños caficultores y cumplir con la normatividad legal ambiental relacionada con el vertimiento de aguas residuales

- Se recomienda para cuando las plantas tengan un punto de saturación ser utilizados en compost con diferentes métodos como la lombricultura.
- El sistema experimental que se desarrolló arrojó resultados de remoción demasiado altos, por lo que dicho sistema de tratamiento puede ser utilizado para otros tipos de depuración de aguas residuales que provengan de aguas con altas concentraciones de compuestos orgánicos.
- Es conveniente implementar un programa sobre el uso eficiente y ahorro del agua, mitigando de esta manera la presión al recurso hídrico y el volumen del vertedero que es dispuesto al suelo directamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDIGITAL. El café es la bebida más consumida después del agua y tiene beneficios para la salud. {en línea}. 22 marzo 2014. {Citado 21 mayo 2018}. Disponible en: <<http://andigital.com.ar/interes-general/item/5471-el-cafe-es-la-bebida-mas-consumida-despu-ese-s-del-agua-y-tiene-beneficios-para-la-salud#top>>.
- ANTOLIN, María. Hacia una gestión sostenible del planeta. {En línea} S.F. {Citado 1 septiembre de 2018}. Disponible en: <https://www.uv.es/aprjuv/quaderns/1/3_Gestion_sostenible.pdf>
- BELLO, Andrés Guía para el cultivo y aprovechamiento del Bore. {en línea}. 2002. {Citado 2 septiembre 2018}. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=078VTfryU5kC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>
- CENICAFÉ. RODRÍGUEZ, Nelson. Normativa ambiental relacionada con la GIRH en Colombia. “Estrategias y planes de acción por parte de los caficultores”. {en línea}. [diapositivas]. Agosto 28 2015. 73 diapositivas. Presentación número 6. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/Seminario_Normativa_Nelson.pdf>
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17 de marzo del 2015). por la cual se establecen los parámetros y los valores permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio, 2014.
- COLPRENSA. Producción de café en Colombia ha caído un 9 % en lo que va del 2018. {en línea}. 05 marzo 2018. {Citado 28 mayo 2018}. Disponible en: <<http://www.elpais.com.co/economia/produccion-de-cafe-en-colombia-ha-caido-un-9-en-lo-que-va-del-2018.html>>

- COSTA, B. Café despulpado natural: Una solución. {en línea}. 2010. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <<https://www.perfectdailygrind.com/2016/10/procesamiento-del-cafe-entendiendo-el-cafe-despulpado-natural/>>
- DELGADILLO, Angélica. GONZÁLEZ, Cesar. PRIETO, Francisco. VILLAGÓMEZ, José. ACEVEDO, Otilio. Una alternativa para eliminar la contaminación. {en línea}. Tropical and subtropical Agroecosystems. 2011. {Citado 4 junio 2018}. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1870-0462.
- ETAP. Características de las aguas residuales. {En línea}.S.F. {Citado 5 septiembre 2018}. Disponible en: <<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>>
- EYVAR *et al.* Efectividad de la aplicación de bioinsumos de aguas residuales de café en productividad de hortalizas. {En línea}. Colombia, Cauca. {Citado 19 marzo 2019}. Disponible en: <[file:///C:/Users/dani_/Downloads/708-1306-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/dani_/Downloads/708-1306-1-PB%20(1).pdf)>
- FEDECAFE. [Producción de café de Colombia aumenta 12% en enero. Sala de prensa. 2017. {en línea}. Enero 2018. {citado 29 mayo 2018}. Disponible en: <\[https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_12_en_enero/\]\(https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_12_en_enero/\)>](#)
- FEDECAFE. Valor de la cosecha registrada – anual desde 2000. {en línea}. Septiembre 2017. {citado 4 junio de 2018}. Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/una_bonita_historia/>.
- GALINDO, Rudy. Humedal artificial de flujo horizontal sub superficial para tratamiento de aguas mieles. Ciudad de Guatemala. {En línea}. 2013. {Citado 14 septiembre 2018}. Disponible en: <<https://www.agroatitlan.com/wp-content/uploads/2015/07/HUMEDAL-ARTIFICIAL-PARA-EL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-MIELES-DE-FINCA-PAMPOJILA.pdf>>

- GALLO, Lino. Guía de prevención de la contaminación para el beneficiado de café en el Salvador. {en línea}. 2014. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/cafe.pdf>>
- GARBISU, Carlos. EPELDE, Lur. BECERRIL, José. El Ecologista N°27. {En línea}. 2008. {Citado 1 septiembre de 2018}. Disponible en: <<https://www.ecologistasenaccion.org/?p=17857>>
- GUIA AMBIENTAL PARA EL SECTOR CAFETERO, Segunda edición. descripción del proceso productivo y del beneficio del café. {en línea}. S.F. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <<https://www.federaciondefeferos.org/static/files/8Capitulo6.pdf>>
- INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. Análisis de desarrollo empresarial para la producción de Heliconias y follajes tropicales. {en línea} 2003. {Citado 1 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.biotrade.org/ResourcesNewsAssess/Sector_assessment_heliconias_Feb06.pdf>
- INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS PROGRAMA DE BIOLOGÍA, Hoja técnica N°3, Humedales. {En línea}. 2013. {Citado 13 septiembre 2018}. Disponible en: <<http://www.uacj.mx/ICB/UEB/Documents/Hojas%20tecnicas/HOJA%20TECNICA%20HUMEDALES.pdf>>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. {En línea}. 2007. {Citado 5 sept.-18}. Disponible en: <<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>>
- KRESS, John. BETANCOR, Julio. ECHEVERRY, Beatriz. Lista preliminar de las heliconias de Colombia y cinco especies nuevas. {en línea}. 1993.

{Citado 2 sept.-18}. Disponible en:

<<http://bdigital.unal.edu.co/20941/1/17193-54426-1-PB.pdf>>

- LOZANO, Andrés y YOSHIDA, Paula. Índice de competitividad regional cafetero. {en línea}. {Citado 29 mayo 2018}. Disponible en: <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Indice_competitividad_cafetero.pdf>.
- MANUAL DEL RECURSO HIDRICO. Manual de producción y consumo sostenible. {en línea}. 2016. {Citado 3 sept.-18}. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gesti%C3%B3n%20ambiental/Producci%C3%B3n%20y%20Consumo%20Sostenible/Manuales_GIRH/Cafetero.pdf>
- MARTINEZ, Aida. TASCÓN, Carlos. URIBE, Juan. Remoción del mucilago del café a través de la fermentación natural. {en línea}. 2010. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <<https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061%2802%29159-173.pdf>>
- MAURICIO ECHEVERRI Y LINA LONDOÑO. estudio de la remoción del cromo contenido en los efluentes líquidos de curtiembre mediante ensayos de fitorremediación en humedales artificiales de flujo subsuperficiales. {en línea}. 2014. {Citado 15 octubre de 2018} disponible en: <<file:///c:/users/eulices/downloads/trabajo%20de%20grado%20cromo.pdf>>
- MATUK, Vivian. PUERTA, Gloria. RODRÍGUEZ, Nelson. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. {en línea}. 1997. {Citado 1 septiembre de 2018}. Disponible en: <<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048%2804%29234-252.pdf>>
- MENTABERRY, Alejandro. Fitorremediación. {En línea}. 2011. {Citado 5 sept.-18}. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf>
- MOLINA, Alex. VILLATORO, Rolando. Propuesta de tratamiento de aguas residuales en el beneficio húmedo del café. {en línea}. Marzo 2016. {Citado 31 agosto 2018} Disponible en: <<http://ri.ues.edu.sv/4524/1/Propuesta%20de%20tratamientos%20de%20ag>>

[uas%20residuales%20en%20beneficios%20h%C3%BAmedos%20de%20caf%C3%A9.pdf](#)>

- MORA, Felipe. Caracterización del bore (alocasia macrorrhiza) y su utilización como fuente alternativa para la alimentación animal. {en línea} 2015. {Citado 2 sept.-18}. Disponible en: <<file:///D:/USUARIO/Downloads/313-645-1-SM.pdf>>
- NUÑEZ, Roberto. MEAS, Yunny. ORTEGA, Raúl. OLGUÍN, Eugenia. Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. {En línea}. 2004. {Citado 6 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf>
- OCAMPO, Olga. Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. Volumen 36. {en línea}. 25 mayo 2017. {citado 5 junio 2018}. Disponible en < <http://www.scielo.org.co/pdf/cenes/v36n64/0120-3053-cenes-36-64-00139.pdf> >.
- OLGUÍN, Eugenia. SÁNCHEZ, Gloria. HERNANDEZ, Elizabeth. GALLARDO, Isisyourha. MERCADO, Gabriel. Digestión y fitorremediación de aguas residuales de beneficio de café. {en línea}. s.f. {Citado 4 junio 2018} Disponible en: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/C_VI-18.pdf>.
- PEÑA, Enrique. MADERA, Carlos. SÁNCHEZ, Jesús y MEDINA, Javier. bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de Biorremediación: caso Heliconia Psittacorum (Heliconiaceae). {En línea}. 2013. {Citado 12 sep. 18}. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n145/v37n145a04.pdf>>
- PEÑA, Miguel. VAN, Meiken. MADERA, Carlos. Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. {En línea}. 2003. {Citado 14 septiembre 2018}. Disponible en: <<file:///D:/USUARIO/Downloads/2302-1-4840-2-10-20170520.pdf>>

- [PRENSA FNC. Producción de café de Colombia aumenta 12% en enero. {en línea}. 3 febrero 2017. {Citado 28 mayo 2018}. Disponible en: <https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_12_en_enero/>.](https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_12_en_enero/)
- PRONATURALEZA. Fundación peruana para la conservación de la naturaleza. Biodiversidad-t. {en línea}. 2014. {Citado 2 septiembre de 2018}. Disponible en: <http://pronaturaleza.org/wp-content/uploads/2014/boletin/Biodiversifia-t_Ed.6-Jun.pdf>
- RAMÍREZ, Cesar. TASCÓN, Oliver. SANZ, Juan. Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café. {en línea}. 2015. {Citado 4 junio 2018}. Disponible en <<https://www.cenicafe.org/es/publications/5.Manejo.pdf>>
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. {En línea}. 2010. {Citado 5 septiembre 2018}. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1265/Carpenas_Garzon_Rodrigo_Cristobal_2014.pdf?sequence=1
- REVISTA COLOMBIANA DE CARDIOLOGÍA. Café para cardiólogos. {en línea}. Marzo-Abril 2005. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v11n8/v11n8a1.pdf>>
- RIVERA, Diego. Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. {En línea}. 2015. { Citado 14 septiembre 2018}. Disponible en: <<file:///D:/USUARIO/Downloads/251-Texto%20del%20art%C3%ADculo-480-1-10-20160721.pdf>>
- RODRIGUEZ, Nelson. SANZ, Juan. OLIVEROS, Carlos. RAMIREZ, Cesar. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso del beneficio húmedo del café. {en línea}. 2015. {Citado 31 agosto 2018}. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf >
- SAVIGNE, Domingo. Impacto de los residuales del beneficio húmedo del café en la provincia Guantánamo Cuba. {en línea}. Enero 2017. {Citado 29 mayo 2018}. Disponible en: <<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/cubtar016.pdf>>

- VEREDA. Venezuela red de arte. Jardín Botánico de Mérida. {En línea}. S.F. {Citado 3 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.tripadvisor.co/Attraction_Review-g316050-d2318168-Reviews-Jardin_Botanico_de_Merida-Merida_Andean_Region.html>
- ZAMBRANO, Diego. RODRIGUEZ, Nelson. LÓPEZ. Uriel. Construya un tanque tina para la fermentación y el lavado del café. {en línea} 2011. {Citado 1 septiembre de 2018}. Disponible en: <<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04081.pdf>>

ANEXOS

INSTRUCTIVO DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES GENERADO POR PARTE DEL IDEAM

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TI0187	Fecha de elaboración: 10/09/2007	Versión:03
TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES			

INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

1. PROPÓSITO

En el presente documento se describen los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para la toma de muestras de aguas residuales industriales (ARI) o domésticas (ARD) para análisis en el Laboratorio.

2. APLICABILIDAD

El presente instructivo aplica para muestreo de aguas residuales provenientes de efluentes industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras; como parte de la prestación de servicios, convenios, contratos y solicitudes en general.

3. REQUERIMIENTOS

3.1. PERSONAL


Las actividades descritas a continuación deben ser realizadas por un profesional y/o técnico debidamente capacitado y avalado por el Laboratorio de Calidad Ambiental en la toma de muestras de agua, en la operación de sensores de campo y con conocimientos básicos en química.

3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

La siguiente es una lista general de los implementos requeridos en el momento del muestreo:

- ✓ Geoposicionador (si se tiene).
- ✓ Altimetro (si se tiene).
- ✓ Equipos portátiles para mediciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- ✓ Muestreador (botella Van Dorn, Kemmerer o balde).
- ✓ Baldes plásticos de 10 L de capacidad, con llave, para la composición de muestras y medición de caudal cuando se requiera.
- ✓ Tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta.
- ✓ Probeta plástica graduada de 1000 mL.
- ✓ Cronómetro.
- ✓ Neveras de icopor o poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C.
- ✓ Frasco lavador.

Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Autorizado por: Fecha:
--------------------------	-------------------------	---------------------------

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
Código: TI0187	Fecha de elaboración: 10/09/2007	Versión: 03	Página 2 de 17
TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES			

- ✓ Toalla de papel absorbente.
- ✓ Cinta pegante y de enmascarar.
- ✓ Bolsa pequeña para basura.
- ✓ Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble.
- ✓ Tabla portapapeles.
- ✓ Guantes.
- ✓ Papel aluminio (cuando se requiera).
- ✓ Cono imhoff para análisis de sólidos sedimentables (cuando se requiera).
- ✓ Agua destilada. En su defecto utilizar agua embotellada o de bolsa.
- ✓ Preservantes para muestras: Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), Ácido nítrico (HNO_3), Hidróxido de sodio (NaOH) 6N, Acetato de Zinc 6N, Ácido clorhídrico concentrado (HCl) u otro cuando se requiera.
- ✓ Recipientes plásticos y de vidrio. Varía según requerimientos de análisis.
- ✓ Formato de captura de datos en campo TF0188 y TF0195 (si la visita resulta no efectiva)
- ✓ Bolsa plástica para guardar los formatos.
- ✓ Instructivos de calibración del pHmetro (TI0363) y conductímetro (TI0362), instructivo de muestreo de aguas superficiales (TI0207).
- ✓ Cuerda de nylon de 0.5 a 1 cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes en las cajas de inspección.
- ✓ Papel indicador universal, para verificación de pH de preservación.
- ✓ Barretón de hierro para levantar tapas de cajas de inspección.
- ✓ Documentos de identificación personal (carnet del IDEAM, de EPS y ARP).
- ✓ Formato de Notificación de presunto accidente de trabajo suministrado por la ARP.
- ✓ Overol o ropa de trabajo cómoda y que le brinde protección adecuada
- ✓ Gafas de seguridad
- ✓ Máscara respiradora con filtros para ácidos y vapores orgánicos
- ✓ Impermeable
- ✓ Botas de caucho

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

