

1-1-2017

Propuesta de un sistema de tratamiento para la recirculación de agua residual de la planta extractora de aceite de palma africana para riego en cultivo por aspersión

Natalia Julieth Sarmiento Torres
Universidad de La Salle, Bogotá

Karol Andrea Pérez Vega
Universidad de La Salle, Bogotá

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

Citación recomendada

Sarmiento Torres, N. J., & Pérez Vega, K. A. (2017). Propuesta de un sistema de tratamiento para la recirculación de agua residual de la planta extractora de aceite de palma africana para riego en cultivo por aspersión. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/496

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

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA RECIRCULACIÓN DE
AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA
AFRICANA PARA RIEGO EN CULTIVO POR ASPERSIÓN**

NATALIA JULIETH SARMIENTO TORRES

KAROL ANDREAPÉREZ VEGA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C.

2017

UNIVERSIDAD DE LA SALLE



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA RECIRCULACIÓN DE
AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA
AFRICANA PARA RIEGO EN CULTIVO POR ASPERSIÓN**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

DIRECTOR

ING. MILTON HUGO DÍAZ RODRÍGUEZ

Bogotá D.C, Colombia

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C, Junio de 2017

DEDICATORIA

Este documento lo dedico principalmente a mi madre por brindarme su apoyo a lo largo del proceso y por darme siempre su cariño y esfuerzo hacia mí de manera incondicional, agradezco a mis abuelos a mis tíos y a mis primos porque ellos son el motor y quienes hacen que día a día quiera ser mejor en todos los aspectos de mi vida, pues gracias a ellos y a mi madre he logrado conseguir los objetivos y metas que me he propuesto. Sé que siempre contare con su apoyo y me hace feliz saber que tras de mí siempre estarán ustedes para alentarme y apoyarme día a día.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial a nuestras familias quienes nos brindaron todo su apoyo a lo largo del proceso y nos brindaron cariño y entrega incondicional en nuestra formación profesional; a los docentes quienes hicieron parte fundamental de nuestra formación académica y de ética profesional, a nuestros amigos con quienes compartimos grandes momentos de crecimiento personal y profesional. Agradecemos a la empresa Hacienda la Cabaña por permitirnos contar con su apoyo en lo requerido a lo largo del proceso de investigación y por permitirnos realizar el estudio y todo lo que este conllevó en las instalaciones de la empresa.

Agradecemos de manera atenta al profesor Milton Rodríguez, por el tiempo brindado, el apoyo y el acompañamiento a lo largo de la investigación del proyecto.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	21
2	MARCO LEGAL.....	23
3	OBJETIVOS	25
3.1	Objetivo general	25
3.2	Objetivos específicos.....	25
4	ANTECEDENTES	25
5	PALMA AFRICANA O PALMA DE ACEITE.....	27
5.1	Proceso de extracción.....	28
5.2	Palma Africana en Colombia	30
5.3	Efluentes de planta extractora de aceite de palma.....	31
6	SISTEMA DE RIEGO.....	32
6.1	Cantidad de agua que se aplicará	33
6.2	Programación del riego	33
6.3	Métodos de riego.....	33
6.4	Lixiviación	36
6.5	Drenaje	36
6.6	Momento de riego	37
7	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL SECTOR PALMERO.....	37
7.1	Tratamiento secundario Anaerobio	38

7.1.1	Laguna de oxidación Anaerobia.	41
7.1.2	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB)	42
7.1.3	Reactor anaerobio flujo a pistón (RAP).....	44
7.2	Filtración en medio granular	46
7.2.1	Variables del proceso de filtración	47
7.3	Desinfección.....	48
7.3.1	Cloración con gas.....	49
7.3.2	Cloración con Hipoclorito de Calcio.	50
7.3.3	Cloración con Hipoclorito de Sodio.	50
7.3.4	Cloración con Cal clorada.....	51
8	METODOLOGÍA Y RESULTADOS	52
9	FASE I: ÁREA DE ESTUDIO: PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA HACIENDA LA CABAÑA S.A.....	53
9.1	Gestión ambiental.....	55
9.2	Caracterización del área de influencia del proyecto.....	56
9.2.1	Componente Abiótico	57
9.2.2	Componente Biótico	57
9.3	Reconocimiento Topográfico y Georreferenciación.....	58
9.4	Sistema de tratamiento de agua existente en Hacienda la cabaña.....	59
9.4.1	Sistema de lagunas de oxidación	59

10	FASE II. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.....	61
10.1	Caudal.....	62
10.2	Composición de la muestra.....	64
10.3	Muestreo.....	65
10.3.1	Parámetros In Situ.....	65
10.3.2	Parámetro Ex Situ.....	67
10.4	Balance hídrico del cultivo.....	74
10.5	Distancia mínima de retiro para el desarrollo del reúso.....	78
11	FASE III. IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA REÚSO.....	78
11.1	Balance de cargas.....	79
11.1.1	Eficiencia de remoción de Laguna de oxidación.....	79
11.2	Diseño de unidades que conforman el sistema de tratamiento para reúso.....	81
11.2.1	Tanque de igualamiento.....	81
11.2.2	Diseño Reactor anaeróbico flujo a pintón (RAP).....	83
11.2.3	Sedimentador secundario (RAP).....	88
11.2.4	Estimación de lodos producidos por el reactor y diseño de lechos de secado.....	90
11.2.5	Sistema de filtración en arena.....	93
11.2.6	Sistema de filtración en carbón activado.....	95

11.2.7	Desinfección con cloro	96
12	POSIBLES EFECTOS GENERADOS EN LA PROPIEDADES DEL SUELO POR EL RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA.....	97
12.1	Planificación y manejo del riego y drenaje en una plantación de palma africana....	100
12.2	Criterios de calidad de aguas para riego con efluentes tratados.	110
13	FASE III. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	114
13.1	Evaluación de alternativa de implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	115
13.2	Evaluación de alternativa de optimización de la laguna de oxidación existente.....	116
14	CONCLUSIONES	121
15	RECOMENDACIONES.....	123
16	Bibliografía	125
17	ANEXOS	138
17.1	ANEXO I. Cultivos de palma de aceite en Colombia (2015)	138
17.2	ANEXO II. Materiales y equipos.	139
17.3	ANEXO III. Comparación de parametros Resolución 1207 de 2014	142
17.4	ANEXO IV. Balance de cargas	143
17.5	ANEXO II. Cálculo tanque de igualación	144
17.6	ANEXO VI. Ficha técnica bomba tanque de igualación.....	145
17.7	ANEXO VII. Especificaciones técnicas roseta para tratamiento anaerobio	146

17.8	ANEXO VIII. Ficha técnica sistema de desinfección	147
17.9	ANEXO IX. Evaluación económica de la implementación de la planta de tratamiento propuesta.	147
17.10	ANEXO X. Plano propuesta de implementación de un sistema de tratamiento para la recirculación de agua residual de la planta extractora de aceite de palma africana para riego en cultivo por aspersión	150

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco legal aplicable.....	23
Tabla 2. Cultivo de palma de aceite en Colombia (2015).....	30
Tabla 3. Caracterización de efluente de plantas extractoras en Colombia	31
Tabla 4. Diferentes fuentes de inóculo para reactores anaerobios.....	46
Tabla 5. Características de sistemas de filtración	48
Tabla 6. Coordenadas área de cultivo de palma, 2017	54
Tabla 7. Información general del municipio.....	56
Tabla 8. Estimación de caudal en canal de descarga de efluente de lagunas de oxidación	63
Tabla 9. Calculo de volumen de alícuota para componer la muestra	64
Tabla 10. Resultado parámetros In Situ	66
Tabla 11. Resultados Sólidos Suspendidos Totales.....	67
Tabla 12. Resultados de análisis de efluente de las lagunas de oxidación	68
Tabla 13. Criterio de calidad para uso agrícola	70
Tabla 14. Comparación de parámetros.	73
Tabla 15. Balance hídrico agrícola. Año 2016	76
Tabla 16. Dimensiones tanque de igualación	82
Tabla 17. Estimación de lodos generados.....	91
Tabla 18. Dimensionamiento lechos de secado	93
Tabla 19. Calculo de área de filtración	94
Tabla 20. Valores recomendados para filtros de arena.....	95
Tabla 21. Análisis de suelo Hacienda La Cabaña.....	98

Tabla 22. Requerimientos nutricionales según los años de la planta.....	98
Tabla 23. Análisis de agua residual para aplicación en cultivo	101
Tabla 24. Análisis de suelo antes de la aplicación.....	102
Tabla 25. Valores obtenidos antes y después de la aplicación en lote No.01.....	104
Tabla 26. Valores obtenidos antes y después de la aplicación en lote No.02.....	105
Tabla 27.Resultado del análisis de muestra de efluentes de planta extractora Hacienda la Cabaña para el año 2016.....	107
Tabla 28 Cálculo del requerimiento nutricional para la producción de una Tonelada de fruta..	108
Tabla 29. Aportes nutricionales del efluente al cultivo	108
Tabla 30. Valores RAS y su grado de restricción.....	111
Tabla 31. Concentración de metales en el efluente.....	112
Tabla 32. Valores umbrales de los elementos para la producción de cultivos y su incidencia. .	113
Tabla 33. Equivalencias energéticas del biogás.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Palma de aceite africana	28
Figura 2. Diagrama del Proceso de extracción de palma de aceite.....	29
Figura 3. Balance general del tratamiento anaerobio (Izquierda) y tratamiento aerobio (Derecha)	39
Figura 4. Etapas de la digestión anaerobia.....	40
Figura 5. Esquema general de Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB)	44
Figura 6. Esquema general Reactor anaerobio flujo a pistón (RAP).....	45
Figura 7. Ubicación Hacienda La Cabaña, 2017	53
Figura 8. Georreferenciación Hacienda La cabaña (Cumaral-Meta)/ ARCGIS	58
Figura 9. Sistema de laguna de oxidación Hacienda La Cabaña	60
Figura 10. Sistema de manejo de lodos de lagunas de oxidación.....	61
Figura 11. Canal de descarga de efluente de lagunas de oxidación.....	62
Figura 12. Punto de muestreo a la salida de lagunas de oxidación.....	65
Figura 13. Prueba de sólidos sedimentables (Izquierda); Multi parámetro análisis parámetros In Situ (Derecha)	66
Figura 14. Determinación de sólidos suspendidos totales (Laboratorio Universidad de la Salle)	67
Figura 15. Balance hídrico Hacienda La Cabaña.....	77
Figura 16. Aportes y requerimientos de nutrientes.	109
Figura 17. Laguna de oxidación anaerobia (Hacienda La Cabaña)	117
Figura 18. Esquema de sistema de carpado a implementar	118

Figura 19. Aprovechamiento de biogás	120
Figura 20. Costos carpado lagunas anaerobias	120

Resumen

Los altos requerimientos de recurso hídrico en las plantaciones de aceite de palma africana hacen necesaria la búsqueda de nuevas alternativas que permitan obtener un ahorro y uso eficiente de dicho recurso. El proyecto se desarrolló en Hacienda La Cabaña, empresa situada en el Municipio de Cumaral, Metal, la cual presenta problemas de eficiencias del sistema de tratamiento existente y taponamiento de aspersores al momento de intentar realizar el riego con este efluente; es por esto que el trabajo de grado tiene como objetivo proponer un sistema de tratamiento para el agua residual proveniente del proceso de extracción, y así evaluar la viabilidad de esta para ser reutilizada en riego por aspersión en los cultivos de palma africana, con el fin de cumplir la resolución 1207 del 2014, garantizando los estándares para reuso de aguas residuales en cultivos.

Para este tipo de actividad económica se planteó un sistema de tipo anaerobio, teniendo en cuenta las características del efluente y haciendo de dicho sistema el más viable económicamente. El sistema propuesto consta de un tanque de igualación seguido de un reactor anaerobio flujo a pistón, el cual contara con un total de 4 cámaras para la degradación y remoción de los excesos de carga orgánica existentes en el efluente, seguido de un sistema de filtración de arena y carbón activado, finalizando con un sistema de desinfección que garantice las condiciones óptimas del efluente para su posterior riego en cultivo. De igual manera se realiza el cálculo de la producción de lodos en el reactor y así mismo el diseño para los lechos de secado que permitan el manejo adecuado de los mismos para su uso posterior como compost.

Se integra de manera sinérgica, analizar la incidencia del riego en los suelos cultivados con palma africana, identificando un alto aporte nutricional por parte del efluente tratado,

cumpliendo con los requerimientos nutricionales para el cultivo y así minimizando la implementación de insumos para las prácticas de fertirriego.

Es así como de manera técnica y económica se evalúa la alternativa de tratamiento propuesta y se presenta una alternativa adicional, basados en la información disponible, la cual consta de un sistema de carpado que permite aprovechar el biogás producido por las lagunas de oxidación y optimizar dicho proceso, siendo una opción que la empresa puede tener en cuenta a la hora de su evolución técnica y económica.

ABSTRACT

The high requirements of water resources in African palm oil plantations make it necessary to search for new alternatives that allow savings and efficient use of this resource. The project was developed at Hacienda La Cabaña, a company located in the Municipality of Cumaral, Metal, which presents problems of efficiencies of the existing treatment system and clogging of sprinklers when attempting to carry out the risk with this effluent; This is why the work of degree aims to propose a treatment system for wastewater from the extraction process, and thus evaluate the viability of this to be reused in sprinkler irrigation in African palm crops, and thus meet Resolution 1207 of 2014, guaranteeing the standards for reuse of wastewater in crops.

For this type of economic activity an anaerobic type system was proposed, taking into account the characteristics of the effluent and making this system the most economically viable. The proposed system consists of an equalization tank followed by an anaerobic flow-to-piston reactor, which will have a total of 4 chambers for the degradation and removal of organic excesses in the effluent, followed by a filtration system of Sand and activated carbon, ending with a disinfection system that guarantees the optimal conditions of the effluent for its subsequent irrigation in cultivation. In the same way the calculation of the production of sludge is carried out in the reactor and also the design for the drying beds that allow the proper handling of the same for its later use as compost.

It integrates in a synergistic way, to analyze the incidence of irrigation in the soils cultivated with African palm, identifying a high nutritional contribution by the treated effluent, meeting the nutritional requirements for the crop and thus minimizing the implementation of inputs for the fertigation practices.

This is how the proposed treatment alternative is evaluated technically and economically. An additional alternative is presented, based on the available information, which consists of a system of carpado that allows to take advantage of the biogas produced by the oxidation lagoons and to optimize this process, being an option that the company can take into account at the time of Technical and economic developments.

GLOSARIO

Agua residual: Son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. (Romero J. , 2000)

Criterios de calidad: Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso definido. (Minambiente, 2007)

Demanda Bioquímica de Oxígeno: La cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. (Jaramillo A. O., 2005)

Demanda Química de Oxígeno: La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico. (Barba L. , 2002)

Lodo: Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares. (Colombia, s.f.)

Palma africana: Es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *ElaeisguineensisJacq.*, donde ya se obtenía desde hace 5 milenios. (Info Agro)

PTAR: Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales (Romero J. , 2000)

Recurso hídrico: Recursos disponibles o potencialmente disponibles, en cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un período de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable. (UNESCO)

Reúso: Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar. (Minambiente, 2007)

Riego: La aplicación artificial de agua para suplir al suelo la humedad requerida por las plantas de un cultivo. (Santiago)

Suelo: Medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. (Agricultura, s.f.)

ABREVIATURAS

A: Función compleja de i .

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda Química de oxígeno

ETP: Evapotranspiración Potencial (mm/día)

ETR: Evapotranspiración Real (mm/día)

GAC: Granular Activated Carbon

GEF: Global Environmental Fund

i : Índice de calor mensual

I : Índice de calor anual

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

P: Precipitación (mm)

PTAR: Planta de tratamiento de agua residual.

PC: Pudrición de cogollo.

RFF: Racimo de fruta fresca.

RU: excedentes de agua en el suelo.

FAO: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

RAS: Relación de absorción de sodio.

1 INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades económicas en Colombia es la agricultura, destacándose los cultivos de palma africana, debido a que han tenido un crecimiento significativo en los últimos años; en el año de 1960 se registraron en el territorio nacional alrededor de 18.000 hectáreas sembradas, para el Censo Nacional de Palma de Aceite Colombia 2011, y conforme a los ajustes realizados sobre cifras de siembra de palma de aceite en el país, durante el año 2015 el área sembrada fue de 466.185 hectáreas (Fedepalma, 2016). Actualmente el cultivo de palma representa una alternativa de producción con perspectivas favorables para las regiones tropicales, ello debido, por un lado, a que produce un rendimiento por hectárea superior al de otros cultivos oleaginosos y por otro, a que ha aumentado la utilización de este producto en diversas actividades económicas. (SFA, 2010)

En el proceso de cultivo de la palma africana el recurso hídrico es fundamental, ya que dichos cultivos requieren una gran demanda de agua para garantizar que no exista un déficit de la producción de racimo y fruta fresca, por lo que se han buscado diversas alternativas que permitan generar un ahorro u optimización de dicho recurso, dentro de las cuales se encuentra la reutilización de agua para riego. (Fedepalma, GUIA AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA, 2011)

El uso de las aguas residuales tratadas para el riego agrícola es un antiguo y popular procedimiento en la práctica de la agricultura. (Feing, 1991, pág. 224) Sin embargo, en Colombia este método está todavía en desarrollo debido, entre muchas otras razones, a la falta de seguimiento por parte de las autoridades ambientales de los planes de uso eficiente y ahorro de agua que los usuarios del recurso hídrico deben implementar.

El proyecto de grado se llevó a cabo en la empresa HACIENDA LA CABAÑA S.A. Ubicada en el Municipio de Cumaral, Departamento del Meta, la cual cuenta con 3000 Ha de palma sembrada. En la planta se llevan a cabo procesos de: Recepción de fruta del campo, esterilización, desgrane o separación del fruto del racimo, extracción de aceite del fruto, clarificación del aceite y procesamiento de las almendras. De manera específica en el proceso de esterilización y preparación para desfrutado, los frutos ingresan a la autoclave horizontal dentro de canastas con capacidad de 1,5 a 5 toneladas, siendo sometidos a cocción con vapor húmedo a

alta temperatura. Como resultado del uso del agua en estos procesos, esta se contamina a causa del aporte de materia orgánica y demás compuestos de los frutales de la palma, haciendo necesario realizar un tratamiento para su óptimo uso en otros procesos productivos.

Actualmente, el agua residual del efluente se vierte en 4 lagunas de oxidación como tratamiento de agua residual; El agua de las lagunas de oxidación es llevada por carro tanques para su posterior riego en cultivo, ya que cuenta con alto contenido de materia orgánica y algunos nutrientes beneficios para el cultivo; Sin embargo, posee concentraciones de sólidos suspendidos elevados (aproximadamente 17.250 mg/L) los cuales generan taponamiento en los procesos de aspersión del agua en los cultivos, ocasionando sobrecostos en mantenimiento y reparación del sistema de riego, además de demandar recurso hídrico de otras fuentes de captación.

En busca de soluciones y alternativas para optimizar el uso de recurso hídrico en el cultivo de palma de Hacienda La Cabaña S.A del agua captada del río Guacavía utilizada en los procesos de extracción de aceite de la planta de beneficio, la cual maneja un caudal aproximado de 8 LPS, en el presente trabajo se realizó la propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), con el fin de llevar el agua proveniente del proceso de extracción a las condiciones necesarias para cumplir con la Resolución 1207 de 2014 y así posteriormente realizar el riego en cultivo, evitando los problemas operacionales al momento de realizar la aspersión de los cultivos con dicha agua tratada.

2 MARCO LEGAL

Para el desarrollo del proyecto de grado, es necesario tener en cuenta la legislación ambiental vigente enunciada en la Tabla 1, la cual está relacionada al uso de agua residual tratada, y en general de la adecuada gestión del recurso hídrico en pro de la conservación del medio ambiente y el mejoramiento de los procesos productivos del cultivo de la palma africana.

Tabla 1. Marco legal aplicable

TIPO DE NORMA	EXPIDE	GENERALIDADES	RELEVANCIA
<p style="text-align: center;">DECRETO- LEY 2811 DE 1974</p>	<p style="text-align: center;">EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA</p>	<p>“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente”</p>	<p>El Código Nacional de Recursos Naturales y de protección del Medio Ambiente, tiene por objetivo lograr la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, que para el caso específico del proyecto de grado se busca proponer alternativas para el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico contaminado en las actividades de extracción de aceite de la palma africana, y utilizar el recurso con la calidad exigida por la ley en procesos de reúso.</p>
			<p>En el Capítulo VIII, titulado “Del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión</p>

<p>DECRETO 3930 DE 2010</p>	<p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA</p>	<p>“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.”</p>	<p>de Vertimiento”, se expresa que aquellos generadores de vertimientos pueden optar por dicho plan anteriormente mencionado, buscando cumplir el objetivo de: Reutilizar o reciclar subproductos o materias primas, por unidad de producción o incorporar a los procesos productivos materiales reciclados, relacionados con la generación de vertimientos.</p>
<p>LEY 373 DE 1997</p>	<p>CONGRESO DE LA REPÚBLICA</p>	<p>“Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro de agua”</p>	<p>El artículo 5: Reúso obligatorio del agua, designa que: “Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental”.</p>
<p>RESOLUCIÓN 1207 DE 2014</p>	<p>MINISTERIO DE AMBIENTE Y</p>	<p>“Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso</p>	<p>Se establecen las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada, en términos de los criterios de calidad que debe tener un agua para su reúso, el cual es el tema central del</p>

	DESARROLLO SOSTENIBLE	de aguas residuales tratadas”	presente proyecto de grado. Dichos valores máximos permisibles son esenciales para la propuesta de tratamiento diseñada.
--	--------------------------	----------------------------------	--

Fuente: Autoras, 2017

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Proponer un sistema de tratamiento para el agua residual proveniente del proceso de extracción, y así evaluar la viabilidad de esta para ser reutilizada en riego por aspersión en los cultivos de palma africana.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones actuales del agua residual proveniente de las lagunas de oxidación, con el fin de analizar su viabilidad en riego para cultivo y así conocer su influencia en los suelos.
- Identificar cuáles son las unidades de tratamiento necesarias para garantizar las condiciones adecuadas para el riego en los cultivos de palma de aceite.
- Evaluar las posibles alternativas a implementar de acuerdo con los resultados obtenidos.

4 ANTECEDENTES

El reúso se presenta como un recurso para combatir las problemáticas existentes y a su vez ayudar en la planificación y gestión integrada del recurso hídrico; en el año 2001 se realizó un estudio en donde se estipulaban algunos parámetros y criterios que deberían ser tenidos en cuenta

para el reusó de aguas residuales ya que para este año en Colombia, específicamente para el caso de estudio en la costa atlántica colombiana no se tenía una reglamentación que incluyera los criterios mínimos de calidad, de tal forma que no genere daños en la salud humana y al medio ambiente. Debido a lo anteriormente mencionado se establecieron en el estudio llamado “*REUSO DE AGUAS RESIDUALES: UN RECURSO HIDRICO DISPONIBLE*” por J.Manga, N. Logreira y J. Serralt; las directrices de aprovechamiento de aguas residuales en que se garantice la utilización eficiente y segura del reusó, utilizando como referentes las directrices de reusó a nivel internacional; teniendo en cuenta las características del agua residual, el tipo de tratamiento a que es sometida, la calidad requerida en el uso posterior del agua y las condiciones naturales de la zona (Manga, Logreira, & Serralt, 2001).

A nivel internacional, en Malasia específicamente, se realiza una comparación con cada uno de los sistemas de tratamiento existentes y varios de los sistemas que se encuentran en marcha en algunas plantaciones, se muestran en los resultados que algunos procesos físicos tales como la sedimentación, la filtración, el secado, la floculación, la centrifugación, por sí solos o combinados, demostraron ser costosos e inefectivos con el tiempo, debido al estado de dispersión y emulsificación parcial de los sólidos en suspensión en el efluente; finalmente se plantea un sistema de tratamiento basado en la digestión anaerobia en condiciones que favorecen el desarrollo de los agentes bacterianos. Su originalidad radica no tanto en los procesos implícitos, los cuales se asemejan a los utilizados por la mayoría de las plantas malayas, sino en la forma en que se llevan a cabo, probando diferentes materiales para la construcción de los digestores teniendo en cuenta la eficiencia y el costo de los mismos (Petitpierre, 1981).

En cuanto al manejo de efluentes de las Plantas de beneficio de aceite de palma, Malasia es uno de los productores de aceite de palma más importante del mundo, y actualmente enfrenta un desafío por parte de la gran generación de efluentes fuertes de las Plantas de beneficio de aceite de palma. Serios problemas ambientales se están desarrollando de estos desechos y por tanto ellos deben ser tratados con un sistema de alto rendimiento. La digestión anaeróbica se acepta ampliamente como un método efectivo de tratamiento de desechos fuertes tales como los efluentes de las Plantas de beneficio de aceite de palma. Los métodos convencionales de tratamiento anaeróbico, utilizando lagunas de estabilización y tanques anaeróbicos, no podrían mantener el ritmo de la creciente generación de desecho de las plantas de extracción. Se realiza un estudio con

la implementación de tecnología avanzada el cual pondrá en relieve algunas de las tecnologías y tratamientos del efluente de la planta de extracción de aceite de palma. Se presentarán también algunos casos de estudio y se comentará sobre el comportamiento de un sistema de biofiltro de alto rendimiento recién desarrollado; para ello se ha introducido un proceso de tratamiento más efectivo que utiliza reactores de alto rendimiento para el tratamiento del desecho de aceite de palma. El popular sistema convencional anaeróbico de lagunas de bajo costo tendrá que dar lugar a otras opciones cuando se eleve el precio de la tierra (Petitpierre, 1981).

5 PALMA AFRICANA O PALMA DE ACEITE

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en altitudes de 0 a 500 msnm. Su nombre científico es *Elaeisguineensis*. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental por eso su denominación popular es palma africana de aceite. Su introducción a América se atribuye a los colonizadores y comerciantes de esclavos portugueses, que la usaban como parte de su dieta alimenticia (San Pedro Sula, 2009).

La palma africana crece naturalmente cerca de los ríos en donde están sujetas a menos competencia de la flora selvática, por lo tanto, penetra más luz y aun así existiendo mucha humedad, esta no es excesiva para la planta.

Para los países tropicales, la palma de aceite (*Elaeisguineensis*Jacq) representa una alternativa de excelentes perspectivas para el futuro. Este cultivo produce 10 veces más del rendimiento de aceite proporcionado por la mayoría de los otros cultivos oleaginosos y con materiales genéticos más recientes la diferencia en rendimiento es cada vez mayor y los problemas de salud achacados a las grasas hidrogenadas tendrán que abrirle paso al aceite de palma para la fabricación de productos a base de origen vegetal (IICA, 2006).

La palma africana de aceite es un vegetal perenne, cuando se le cultiva con propósitos comerciales, tiene en promedio una vida que oscila entre los 24 y los 28 años. Durante ese lapso, cada palma emite racimos de frutos oleaginosos, que pueden alcanzar producciones de 4,2 toneladas durante toda su vida productiva. Esto representa unas 600 toneladas acumuladas de fruta por hectárea, cuando el proceso productivo se desarrolla en condiciones óptimas de suelo, clima, nutrición, mantenimiento, sanidad y administración. (Rothschuh, 1983).



Figura 1. Palma de aceite africana

Fuente: (Cabaña, 2017)

Los usos son en su gran mayoría culinarios, bien directamente empleados como aceite de freír o bien como producto añadido a otros alimentos como los helados, las margarinas, se pueden elaborar derivados equivalentes de aceite de cacao, jabones, etc. También se usa como materia prima en la producción de biodiesel y es usado en producción para alimentación animal, sobre todo de terneros, por su alto aporte energético por ración. (SFA, 2010)

5.1 Proceso de extracción

El proceso de extracción se refiere al beneficio de los frutos y comprende desde la extracción del aceite hasta la recuperación de las almendras del fruto. El proceso de extracción de aceite pasa por las siguientes etapas: (*Figura 2*)

- a) Recepción de la fruta del campo: El cual consiste en la cosecha, y es transportado desde el sitio de cultivo e ingresa a la sección de recepción en las plantas de beneficio.
- b) Esterilización: Los frutos ingresan a la autoclave horizontal dentro de canastas con capacidad de 1,5 a 5 toneladas, ya dentro el fruto es sometido a cocción con vapor húmedo a alta temperatura.
- c) Desgrane o separación de frutos del racimo: Las canastas, al salir del esterilizador, son descargadas a la tolva con la ayuda de grúas o por volteadores mecánicos de canastas. Desde la tolva, los racimos son transportados hasta el tambor giratorio por medio de bandas

de arrastre, y una vez dentro del tambor, giran y se golpean contra las paredes, con lo cual se desprende la casi totalidad de los frutos del racimo.

- d) Extracción de aceite de los frutos: Los frutos desgranados llegan de la unidad de separación a la de extracción, a través de una banda transportadora, y son depositados dentro de un cilindro perforado llamado digestor, instalado en la sección de digestión. Allí se les inyecta agua caliente, para formar una masa o pasta aceitosa homogénea, integrada por la piel del fruto, el mesocarpio, las fibras y las almendras.
- e) Clarificación del aceite: La clarificación del aceite consiste en adicionar agua caliente al aceite primario obtenido durante la extracción.
- f) Procesamiento de las almendras: La mezcla de fibras y nueces obtenida durante la etapa de prensado es conducida a través de un transportador secador hacia la columna de separación. En ella, son separadas las nueces y las fibras mediante ventilación y agitación. (Fedepalma, GUIA AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA, 2011)

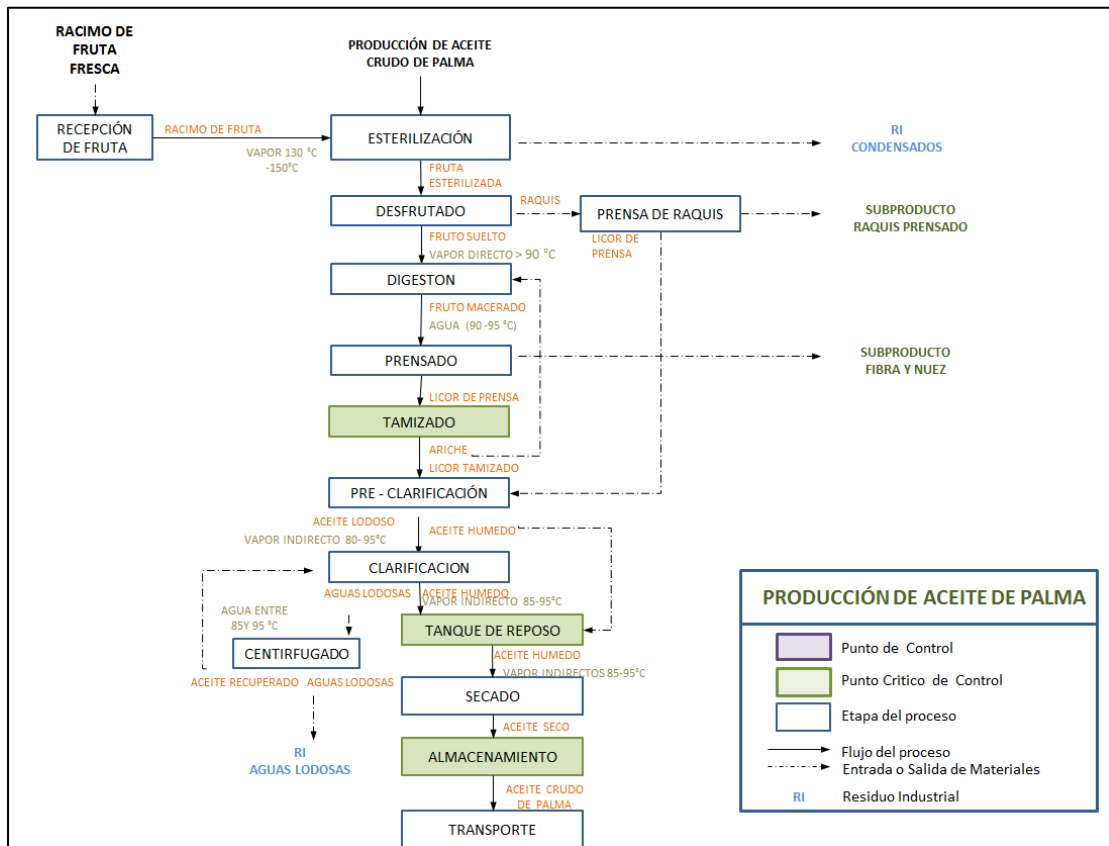


Figura 2. Diagrama del Proceso de extracción de palma de aceite

5.2 Palma Africana en Colombia

En el último informe de FEDEPALMA (Fedepalma, 2016), se describe de manera detallada el comportamiento del sector de la palma de aceite en Colombia. En 2015 la producción de aceite de palma crudo alcanzó 1'272.523 toneladas, mostrando una variación de 14.7% en comparación a lo obtenido en el 2014. En general, todas las zonas se destacaron por su buen comportamiento en la producción de aceite de palma, principalmente la oriental y suroccidental, que obtuvieron una variación positiva interanual del 27.7%.

A partir del Censo Nacional de Palma de Aceite en Colombia 2011, y conforme a los ajustes realizados sobre cifras de siembra de palma de aceite en el país, durante el año 2015 el área sembrada fue de 466.185 hectáreas. Del total, 88.523 hectáreas se encontraban en fase de desarrollo y 377.662 estaban en fase de producción, lo que muestra una composición de 19% en edad improductiva y un 81% en etapa de producción. (Fedepalma, BOLETIN ECONOMICO, 2016) (VER ANEXO I) En la Tabla 2 se ilustra la distribución de la siembra de palma de aceite a nivel regional en Colombia, siendo la región central del país la zona que mayores hectáreas sembradas tiene.

Según el mismo informe, las exportaciones del sector palmero colombiano en 2015 aumentaron considerablemente. Para el caso del aceite de palma, alcanzaron una cifra histórica de 438.106 toneladas, 60% por encima de lo registrado en 2014 (164.598 toneladas adicionales). Los principales destinos de exportación fueron Holanda (48%), México (13%) y España (6%). Se evidencia que la Unión Europea se mantuvo como el principal mercado de exportación de aceite de palma, gracias a la entrada en vigor, en 2013, del acuerdo de libre comercio suscrito por Colombia. (Fedepalma, BOLETIN ECONOMICO, 2016)

Tabla 2. Cultivo de palma de aceite en Colombia (2015)

ZONA PALMERA	DEPARTAMENTOS	AREA SEMBRADA (Ha)	# MUNICIPIOS
NORTE	9	123.330	50
CENTRAL	7	143.557	37

ORIENTAL	5	181.543	36
SUROCCIDENTAL	3	17.754	3

Fuente: (Fedepalma, 2016)

5.3 Efluentes de planta extractora de aceite de palma.

Dentro del proceso de extracción del aceite de palma se generan varios residuos. Uno de estos son los efluentes líquidos que se obtienen como resultado de los procesos de clarificación, esterilización y de palmistería a través de hidrociclones.

En la *Tabla 3* se presenta una caracterización típica de estos efluentes.

Tabla 3. Caracterización de efluente de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Promedio
pH	Unidad	3,87-5,25	4,55
DBO	mg/L	18700-175521	48873
TEMPERATURA	°C	53-77	67,4
DQO	mg/L	45256-232000	79729,6
Sólidos totales (ST)	mg/L	32482-232000	79729,6
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	19129-88258	35105

Grasas y aceites	mg/L	6480-80701	18747,1
-------------------------	------	------------	---------

Fuente: (CENIPALMA, 1996)

Adicionalmente, los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, contienen cantidades importantes de nitrógeno, fosforo y potasio los cuales pueden servir de nutrientes en la plantación una vez se haya estabilizado la materia orgánica.

Para dar una idea de la contaminación que puede causar una planta extractora de aceite de palma, esta se relaciona con la contaminación producida por una población equivalente de habitantes. Así, una extractora con una capacidad de 15 toneladas hora de Racimos de Fruta Fresca (RFF) puede producir la contaminación de una población con más de 180.000 habitantes. La DQO y la DBO de un agua residual doméstica es de aproximadamente 500 y 250 mg/L respectivamente, las cuales si se comparan con los promedios de la tabla anterior para estos dos parámetros (DQO 79730 mg/L y DBO₅ 48833 mg/L) se nota la gran cantidad de materia orgánica presente en estos últimos. Es necesario recalcar que no obstante esta gran carga de materia orgánica que producen las extractoras de aceite de palma no contiene compuestos tóxicos ni metales pesados que puedan causar un tipo de contaminación más grave (CENIPALMA, 1996).

6 SISTEMA DE RIEGO

La irrigación se puede definir como la aplicación de agua al suelo con el fin de suministrar la humedad esencial para el crecimiento vegetal. El riego juega un papel vital en el aumento de rendimiento de los cultivos y la estabilización de la producción. En las regiones áridas y semiáridas, el riego es esencial para la agricultura económicamente viable, mientras que en las zonas semi-húmedas y húmedas, a menudo se requiere de manera supletoria. Las siguientes condiciones básicas deben cumplirse para que la agricultura de regadío sea un éxito (FAO, 2017):

- Suministro de la cantidad necesaria de agua que se debe aplicar al cultivo en cuestión.
- El agua debe ser de aceptable calidad.
- La aplicación de agua debe estar debidamente programada.
- La utilización del método adecuado de riego.

- La acumulación de sales en la zona radicular se debe impedir por medio de lixiviación y apropiado drenaje.
- El adecuado suministro de nutrientes a la planta.

Los anteriores requisitos son igualmente aplicables cuando la fuente de agua de riego se trata de aguas residuales. Los nutrientes de las aguas residuales municipales y los efluentes tratados presentan una ventaja particular sobre los sistemas de riego y fertilizantes convencionales. Sin embargo, los requisitos medioambientales y de salud adicionales deben tenerse en cuenta cuando las aguas residuales tratadas son la fuente de agua de riego, basados en los criterios de calidad exigidos por la legislación vigente (Resolución 1207 de 2014).

6.1 Cantidad de agua que se aplicará

Es bien sabido que más del 99 % del agua absorbida por las plantas se pierde por la transpiración y la evaporación de la superficie de la planta. Por lo tanto, a todos los efectos prácticos, las necesidades de agua de los cultivos es equivalente al requisito de la evapotranspiración ;La evapotranspiración del cultivo se determina principalmente por factores climáticos y por lo tanto se puede estimar con precisión razonable a partir de datos meteorológicos. (Doorenbos, 1979, pág. 203)

6.2 Programación del riego

Para obtener el máximo rendimiento, el agua se debe aplicar a los cultivos antes que la humedad potencial del suelo alcance un nivel en el que es probable que se reduzca por debajo de su potencial de la tasa de evapotranspiración.

Hay varios métodos disponibles para determinar la programación óptima de riego. Los factores que determinan la programación de riego son: capacidad de retención de agua disponible de los suelos, la profundidad de la zona de la raíz, la tasa de evapotranspiración, cantidad de agua a aplicar por riego, método de riego y las condiciones de drenaje. (Doneen, Irrigation and Drainage, 1988).

6.3 Métodos de riego

En condiciones normales, el tipo de método de riego seleccionado dependerá de las condiciones de abastecimiento de agua, el clima, el suelo, el tipo de cultivo, el costo de método de riego y la capacidad del agricultor para gestionar el sistema. Sin embargo, cuando se utilizan aguas

residuales como fuente de riego otros factores, como la contaminación de las plantas y productos cosechados, los trabajadores agrícolas, el medio ambiente, y los peligros de salinidad y toxicidad, deberán ser tenidos en cuenta. Existe un amplio margen para reducir los efectos indeseables del uso de aguas residuales en el riego por medio de la selección de métodos apropiados de riego. (FAO)

La elección del método de riego en el uso de las aguas residuales se rige por los siguientes factores técnicos:

- La elección de cultivos.
- La humectación del follaje, frutos y partes aéreas.
- La distribución de agua, sales y contaminantes en el suelo.
- La facilidad con la que se podría mantener un alto potencial hídrico del suelo.
- La eficiencia de la aplicación.
- El potencial de contaminar de los trabajadores agrícolas y el medio ambiente.

La eficiencia de los métodos de riego superficial en general, las fronteras, las cuencas, y surcos, no se ve afectada en gran medida por la calidad del agua, aunque el riesgo para la salud inherente a estos sistemas es sin duda motivo de preocupación. Algunos problemas pueden surgir si el efluente contiene grandes cantidades de sólidos en suspensión y éstos se sedimenten y restringen el flujo en el transporte de canales, compuertas, tuberías y accesorios. El uso de las aguas residuales tratadas podrá superar muchos de estos problemas. Para evitar el encharcamiento superficial del efluente estancado, la nivelación de tierras debe llevarse a cabo con cuidado y debe proporcionarse gradientes adecuados de la tierra. (FAO)

El rociador o spray son métodos de riego generalmente son más eficiente en términos de consumo de agua, ya se puede lograr una mayor uniformidad en la aplicación. Sin embargo, estos métodos de riego por aspersion pueden contaminar los cultivos de tierra, árboles frutales y los trabajadores agrícolas. Además, los patógenos contenidos en los efluentes en forma de aerosol pueden ser transportados a favor del viento y crean un riesgo de salud para los residentes cercanos.

En general, los sistemas mecanizados o automatizados tienen costos relativamente altos de capital y mano de obra barata en comparación con los sistemas de rociadores movidos manualmente. La nivelación del terreno áspero es necesario que los sistemas de rociadores, para

evitar las pérdidas de carga excesivas y lograr la uniformidad de humectación. Los sistemas de rociadores son más afectados por la calidad del agua de los sistemas de riego superficial, principalmente como consecuencia de la obstrucción de los orificios en cabezas de los aspersores, las posibles quemaduras foliares y fitotoxicidad cuando el agua es salina y contiene elementos tóxicos excesivos, y la acumulación de sedimentos en los tubos, válvulas y distribución sistemas. (FAO)

Los sistemas de riego por goteo son caros, sin embargo, requieren una alta calidad de efluente para evitar la obstrucción de los emisores a través del cual se libera lentamente agua en el suelo. La tabla 7 presenta los requisitos de calidad del agua para evitar la obstrucción en los sistemas de riego localizado. Los sólidos en el crecimiento de efluentes emisores crearán problemas, graves filtración del efluente tratado secundario y lavado regular de líneas se han encontrado para ser eficaz en la prevención de este tipo de problemas en Chipre (Papadopoulos, 1988). El riego Bubbler, es una técnica desarrollada para el riego localizado de cultivos de árboles, evita la necesidad de pequeños orificios de emisor, pero se requiere ajuste cuidadoso para su aplicación exitosa (Hillel, 1987).

Muchos métodos diferentes son utilizados por los agricultores para regar los cultivos. Sin embargo, desde el punto de mojar el suelo, estos métodos se pueden agrupar en cinco categorías, a saber:

- Riego por inundación: El agua se aplica en todo el campo de infiltrarse en el suelo (por ejemplo, inundaciones salvajes, inundaciones contorno, las fronteras, las cuencas, etc.).
- El riego por surcos: Se aplica agua entre crestas (por ejemplo, nivel y surcos graduadas, surcos en contorno, ondulaciones, etc.). El agua llega a la cresta, donde se concentran las raíces de las plantas, por acción capilar.
- Riego por aspersión: El agua se aplica en forma de un spray y alcanza el suelo muy parecido a la lluvia (por ejemplo, aspersores conjunto portátiles y sólidos, aspersores de viaje, Pistolas, sistemas de pivote central, etc.). La proporción de aplicación se ajusta de modo que no crea acumulación de agua en la superficie.
- riego de tierra: El agua se aplica debajo de la zona de las raíces de una manera tal que se posa en la zona de la raíz por el ascenso capilar (por ejemplo, del subsuelo canales de riego,

tuberías enterradas, etc.). Canales profundas de la superficie o tuberías enterradas se utilizan para este propósito.

- Riego localizado: El agua se aplica alrededor de cada planta o un grupo de plantas con el fin de mojar a nivel local y la zona de las raíces sólo (por ejemplo, riego por goteo, burbujeadores, micro-rociadores, etc.). La tasa de aplicación se ajusta para satisfacer las necesidades de evapotranspiración de modo que las pérdidas por percolación se reducen al mínimo.

6.4 Lixiviación

En la agricultura de riego, se requiere una cierta cantidad de agua en exceso a filtrarse a través de la zona de la raíz con el fin de eliminar las sales que se han acumulado como resultado de la evapotranspiración del agua de riego inicial. Este proceso de desplazamiento de las sales de la zona de la raíz se denomina lixiviación y la parte del agua de riego que moviliza el exceso de sales se llama la fracción de lavado, LF. El control de la salinidad por lixiviación eficaz de la zona de la raíz se vuelve más importante ya que el agua de riego presenta un alto grado de solución salina. (FAO).

6.5 Drenaje

El drenaje se define como la eliminación de exceso de agua de la superficie y por debajo del suelo, a fin de permitir un crecimiento óptimo de las plantas. La eliminación del exceso de agua de la superficie se denomina superficie de drenaje, mientras que la eliminación del exceso de agua de debajo de la superficie del suelo se denomina drenaje sub-superficial. La importancia de drenaje para la agricultura de riego ha sido bien demostrada. Es particularmente importante en las zonas semiáridas y áridas para evitar la salinización secundaria. En estas áreas, el nivel freático se levantará con el riego cuando el drenaje interno natural del suelo no es el adecuado. Cuando el nivel freático se encuentra a pocos metros de la superficie del suelo, el ascenso capilar del agua subterránea salina transportará sales a la superficie del suelo. En la superficie, el agua se evapora, dejando las sales atrás. Si este proceso no se detiene, la acumulación de sales continuará, lo que resulta en la salinización del suelo. En tales casos, el drenaje sub-superficial puede controlar el aumento de la tabla de agua y por lo tanto evitar la salinización. (FAO).

6.6 Momento de riego

El momento de riego, incluyendo la frecuencia de riego, riego de pre-siembra y el riego antes de la temporada de lluvias de invierno, puede reducir el riesgo de salinidad y evitar el estrés hídrico entre riegos. Algunas de estas prácticas son fácilmente aplicables a riego con aguas residuales.

En cuanto a la satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos, el aumento de la frecuencia de riego será deseable, ya que elimina el estrés hídrico entre riegos. Sin embargo, desde el punto de vista de la gestión del agua en general, esto puede no siempre producir los resultados deseados. Por ejemplo, con la frontera, lavado y otros métodos de riego por inundación, riegos frecuentes pueden resultar en un aumento inaceptable de la cantidad de agua aplicada, disminución de la eficiencia del uso del agua y una mayor cantidad de agua para drenar. Sin embargo, con aspersores y métodos de riego localizado, aplicaciones frecuentes con cantidades más pequeñas pueden no resultar en disminución de la eficiencia del uso del agua y, de hecho, podría ayudar a superar el problema de la salinidad del agua de riego asociado con solución salina.

El riego de pre siembra se practica en muchos sistemas de riego por dos razones, a saber: para lixiviar las sales de la superficie del suelo que pueda haberse acumulado durante el período de cultivo anterior y proporcionar un ambiente libre de sal para la germinación de las semillas (que debería ser para la mayoría de los cultivos, las etapas de germinación de semillas y plántulas son más sensibles a la salinidad); y para proporcionar la humedad adecuada para que germinen las semillas y plantas jóvenes. Una práctica común entre los productores de lechuga, tomates y otros cultivos de hortalizas es comprobar la validez de regar el campo antes de la siembra, ya que un riego poco después de la siembra podría crear estancamiento de agua y manchas húmedas locales que no son deseables. Las aguas residuales tratadas es una buena fuente para el pre-riego, ya que normalmente no es solución salina y los riesgos para la salud son prácticamente nulos. (FAO)

7 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL SECTOR PALMERO

La contaminación del agua se produce por el vertimiento en ella de un elemento o compuesto, orgánico o inorgánico, que disuelto, disperso o suspendido, alcance una concentración que exceda la tolerancia para un uso determinado. Las corrientes, lagos, bahías y demás masas de agua tienen capacidad de dilución y auto purificación de los contaminantes. Sin embargo, debido al aumento creciente de la población, y de las actividades industriales y agropecuarias, las cargas

contaminantes vertidas a las fuentes cada vez exceden más estas capacidades, con el consecuente deterioro paulatino de este recurso, igualmente cada vez más necesitado para la actividad humana e industrial (Orozco, 2013).

Los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, generan contaminación, principalmente por la gran cantidad de materia orgánica, sólidos y aceites que poseen. Debido a que la extracción del aceite se hace mediante procesos físicos y mecánicos ya que por diferencias de densidades se separan los sólidos, el agua y el aceite, no se generan elementos tóxicos ni metales pesados en sus aguas residuales, y el tratamiento se orienta principalmente a estabilizar la materia orgánica presente (CENIPALMA, 1996).

Para la estabilización de estos efluentes, expertos en el sector palmero recomiendan principalmente sistemas de tratamientos de tipo biológico anaeróbicos, dado que el uso de sistemas aeróbicos con inyección de oxígeno sería demasiado costoso. Así mismo, la adición de químicos para floculación y sedimentación además de costosa es muy ineficiente. (Whitthing, 1.979)

Los tratamientos biológicos, son los responsables de la depuración de la materia orgánica biodegradable, presente en las aguas residuales. Básicamente es el desarrollo de microorganismos utilizando la materia orgánica como fuente de alimento, y de esta manera, reducir eficientemente la carga orgánica de la misma. Todos estos procesos se realizan a través de las reacciones bioquímicas, que se dan en condiciones controladas y se clasifican en dos grupos: Reacciones aerobias (Se produce en presencia de oxígeno) y reacciones anaerobias (En ausencia de oxígeno disuelto), (Eddy, 1972).

7.1 Tratamiento secundario Anaerobio

En las últimas décadas surgió la nueva tecnología de Digestión Anaerobia que presenta una alternativa novedosa en el tratamiento de las aguas residuales. Los reactores anaerobios están dirigidos a tratar aguas residuales industriales (ARI), ya que normalmente tienen altas concentraciones de DQO y altas temperaturas, condiciones que favorecen la digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no

hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3% - 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido (Rodríguez, 2015).

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio.

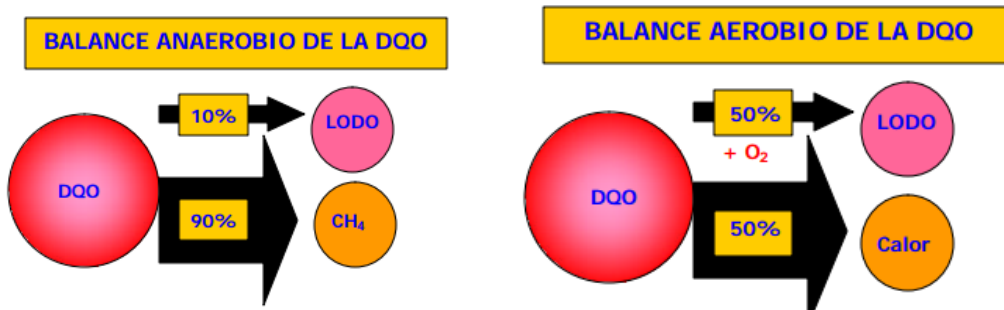


Figura 3. Balance general del tratamiento anaerobio (Izquierda) y tratamiento aerobio (Derecha)

Fuente: (Rodríguez, 2015)

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo.

La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación:

1. Hidrólisis: Grupo I: bacterias hidrolíticas
2. Acidogénesis: Grupo I: bacterias fermentativas
3. Acetogénesis: Grupo II: bacterias acetogénicas
4. Metanogénesis: Grupo III: bacterias metanogénicas

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H₂ y CO₂. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno”.

Finalmente, las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO₂, o reducen el CO₂ a metano (ver *Figura 4*). Estas Transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usados como sustratos del grupo metanogénico (Díaz-Báez, 2002).

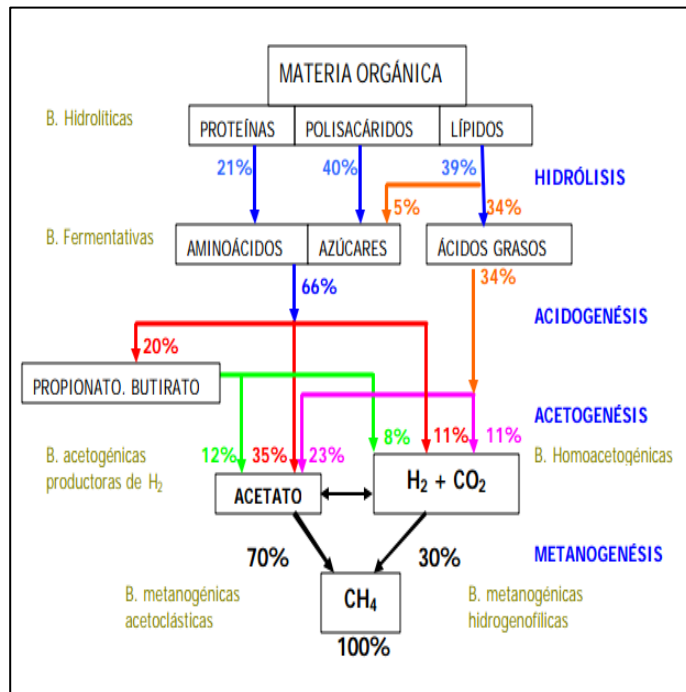


Figura 4. Etapas de la digestión anaerobia

Fuente: (Rodriguez, 2015)

La principal ventaja del tratamiento anaeróbico es que no utiliza energía externa para mover componentes mecánicos, como son los aireadores utilizados en las plantas aerobias, además, de una generación mínima de lodos precisamente porque la mayoría de la materia orgánica es convertida en biogás.

De modo que, según Orozco (2005), el balance energético entre el sustrato y los productos solo varía en menos de 5% en términos de calorías, y es equivalente en términos de DQO. El balance se expresa matemáticamente en la siguiente ecuación:

$$\Delta S = 4.00 \Delta CH_4 + 1.22 \Delta X$$

Dónde:

ΔS = Sustrato removido (DQO) mg/L

ΔCH_4 : metano producido, en CH_4 , en mg/L.

ΔX : biomasa anaerobia producida, en SSV, mg/L

Los factores 4,00 y 1,22 son para convertir los mg de CH_4 y biomasa anaerobia en términos de DQO. La Ecuación presenta el balance de energía en la bioconversión anaerobia. El tratamiento principal se produce por la conversión del DQO en Metano, que luego se separa del agua, y por supuesto de la poca biomasa anaerobia que se produce, que también se debe separar.

A continuación, se hará hincapié en los tratamientos anaerobios, los cuales son usados en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la extracción de aceite de palma y de sistemas terciarios que pueden ayudar como pulimiento de los efluentes de dichas unidades.

7.1.1 Laguna de oxidación Anaerobia.

El proceso de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización ha sido ampliamente utilizado en las comunidades rurales, pequeñas y medianas ciudades, en zonas con clima más cálido y sin limitación de tierras (Feing, 1991) También en Colombia este sistema representa un método de tratamiento popular debido a los requisitos de baja energía (Von Sperling, 1996) la construcción y operación de la simplicidad, la rentabilidad, bajos requerimientos de

mantenimiento y el proceso de tratamiento de residuos produce dos tipos: los biosólidos (lodos de depuradora), y el efluente de aguas residuales tratadas.

El sistema de lagunas de estabilización (también conocido como el sistema australiano) se divide generalmente en dos etapas diferentes. (Pescod, 1996) La primera etapa se lleva a cabo en los estanques anaeróbicos (tratamiento primario) que están diseñados principalmente para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la eliminación de los sólidos orgánicos e inorgánicos, grasas y aceites. (Feing, 1991) En estos estanques la degradación de la materia orgánica es lenta, dando lugar a molestias por malos olores debido a la formación de sulfuro de hidrógeno. En la etapa final del proceso anaeróbico se dan las fases acidogénicas y metanogénicas que producen la liberación de metano, hidrógeno y dióxido de carbono. (Léon Suematsu, 1999, pág. 109)

La etapa secundaria (tratamiento secundario), que tiene lugar en las lagunas facultativas, se considera como la fase más importante en el proceso de tratamiento de aguas residuales. (Feing, 1991) Las lagunas facultativas son más grandes en la zona, relativamente poco profundas y predominantemente caracterizadas por los procesos de oxidación en los procesos de la superficie y anaeróbicas en profundidad. Durante la etapa secundaria en las lagunas facultativas mayor parte de la materia orgánica restante se elimina a través de un mutualismo coordinado de algas-bacterias. Las algas suministran el oxígeno (por fotosíntesis) para las bacterias (aeróbico o facultativo) para oxidar los compuestos orgánicos en las aguas residuales, y las bacterias proporcionan por la degradación de los residuos orgánicos, nutrientes y CO₂ para las algas para ser fijadas en el nuevo material celular. El resultado de este proceso biológico es convertir el contenido orgánico del efluente a formas más estables. Como los Tratamiento Terciarios; El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es llamada pulir el efluente. (Perez & Camacho, 2011)

7.1.2 Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB)

La abreviación U. A. S. B. se define como Up Flow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia

orgánica. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros (Caicedo, 2006).

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.

Los UASB funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%; Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas.

El reactor UASB está siendo experimentado con éxito en el tratamiento de aguas residuales muy diversas de procesos de la industria de alimentos, industriales, urbanas y lixiviados, aunque inicialmente se desarrolló para aguas residuales de tipos principalmente solubles y de concentración media.

El afluente es alimentado por el fondo del reactor, donde se pone en contacto con el lodo; la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, y allí se produce el biogás, o sea, tanto la acidificación como la Metanogénesis ocurren en el mismo reactor.

El flujo combinado ascendente de las aguas residuales puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son arrastrados con el agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado. Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen permiten el funcionamiento a alta carga orgánica con buenas eficiencias de eliminación. La biomasa activa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de

lodos flocculentos con buena sedimentabilidad lo cual convierte en su característica principal la retención de la biomasa sin necesidad de soporte.

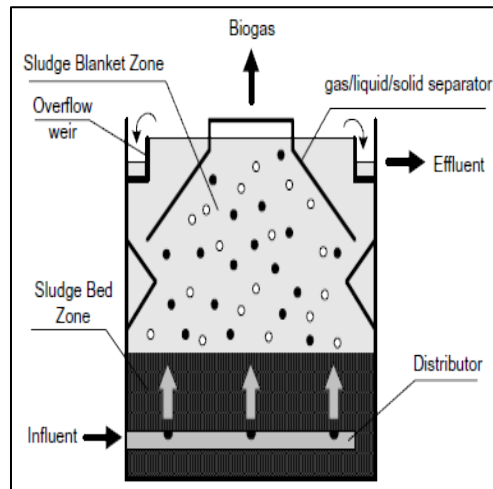


Figura 5. Esquema general de Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB)

Fuente: (Caicedo, 2006)

7.1.3 Reactor anaerobio flujo a pistón (RAP)

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales con una configuración similar a la de un filtro anaerobio ya que el agua pasa a través de un medio sólido o lecho filtrante sobre el cual se adhiere una biopelícula formada por una comunidad microbiana anaerobia.

La principal característica de este Sistema está dada por el flujo a pistón que se presenta debido a que la remoción de la materia orgánica se realiza progresivamente a medida que el agua residual pasa por cada una de las etapas, definidas por secciones o cámaras separadas por pantallas al interior del reactor y que acentúan el efecto de sedimentación en cada una de ellas. Además de esto, el régimen de flujo a pistón favorece el contacto del agua residual con la biomasa aumentando la eficiencia del tratamiento.

El reactor anaerobio de flujo a pistón es un sistema de tratamiento de aguas residuales de película fija, en el cual dichas aguas se ponen en contacto con una población microbiana mixta, en forma de una biopelícula adherida a la superficie de un medio sólido de soporte, en donde las aguas residuales que poseen nutrientes y materia orgánica entra en contacto con la biopelícula y los

microorganismos allí contenidos se encargan de metabolizarlos, los sólidos en suspensión se aglomeran formando coloides que son degradados por los microorganismos presentes en el agua; el RAP posee un comportamiento final de sedimentación y un flujo a pistón, en el cual el fluido se desplaza y sale del tanque en la misma secuencia en la cual entra; cumpliendo un tiempo de retención hidráulica que da lugar a la degradación de la carga contaminante (Balda et al., 2008).

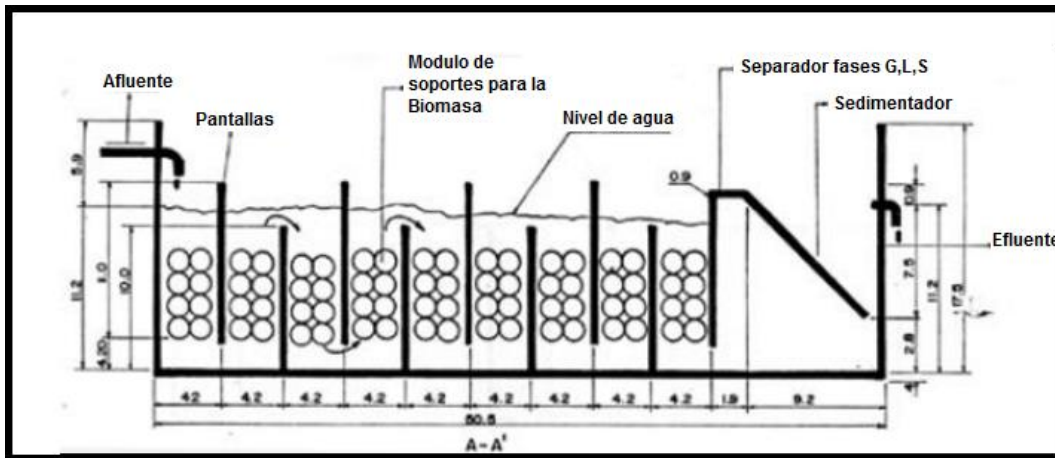


Figura 6. Esquema general Reactor anaerobio flujo a pistón (RAP)

Fuente: (Jimenez, Elvia; Mojica, Martha, 1991)

El reactor de flujo en pistón es un reactor ideal, en el cual las partículas de flujo viajan a lo largo del reactor sin mezclarse y, por lo tanto, se descargan en la misma secuencia u orden en que entran al reactor. No existe difusión longitudinal ni mezcla, la dispersión es nula, todos los elementos del sistema viajan a la misma velocidad, las partículas retienen su densidad y permanecen en el tanque durante un tiempo de retención. Este tipo de reactor se obtiene, aproximadamente con tanques largos, de una relación longitud/ancho grande, para mantener la dispersión longitudinal en un valor mínimo (Romero, 2004).

La característica de estos reactores es la variación de la DQO, los microorganismos y de las características del proceso biológico en general, a lo largo de él. Es de esperar que la diferente proporción de sustrato a biomasa (F/M) produzca el desarrollo de microorganismos diferentes (Ferrer & Seco, 2008).

7.1.3.1 Inoculación de reactores anaerobios

Con el fin de conseguir inicialmente condiciones anaerobias dentro del RAP, es necesario realizar la inoculación de lodos, los cuales deben tener una actividad metanogénica, cuanto mayor sea ésta, más corto será el periodo de arranque.

Para la inoculación es recomendable el uso de lodos procedentes de lagunas anaerobias, sino es accesible, deberán elegirse aquellos que contengan gran cantidad de materia orgánica en condiciones anaerobias, tales como lodos domésticos procedentes de tanques sépticos o estiércol de ganado (CEPIS, 1995).

A continuación, en la Tabla 7, se presenta una lista preferencial con fuentes de inóculos susceptibles de utilizar en reactores anaerobios, con los respectivos valores de actividad metanogénica específica (AME) y el contenido de sólidos suspendidos volátiles (SSV).

Tabla 4. Diferentes fuentes de inóculo para reactores anaerobios.

Tipo de inóculo	AME (g CH ₄ -DQO/gSSV-d)	Concentración típica de SSV en lodo (g/L)
Lodo granular	0.5-1.0	70-120
Biopelícula	0.4-1.2	ND
Lodos domésticos digeridos	0.02-0.2	15-40
Estiércol digerido	0.02-0.08	20-80

Fuente: (Dolfing et al., 1985)

7.2 Filtración en medio granular

La filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes de tratamientos biológicos y químicos. La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración. Mientras la descripción de los fenómenos que se producen durante la fase de filtración es, prácticamente, idéntica para todos los sistemas de filtración que se emplean para las aguas residuales, la fase de lavado es bastante diferente en función de si el filtro es de funcionamiento continuo o semicontinuo (Metcalf & Eddy, 1995).

La fase de filtración en la que se elimina la materia particulada se lleva a cabo haciendo circular el agua a través de un lecho granular, con o sin la adición de reactivos químicos. El final del ciclo de filtrado se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga

prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. Idealmente, ambas circunstancias se producen simultáneamente. Una vez se ha alcanzado cualquiera de estas condiciones, se termina la fase de filtración, y se debe lavar el filtro a contracorriente para eliminar la materia (sólidos en suspensión) que se ha acumulado en el seno del lecho filtrante. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua de lavado, que contienen los sólidos en suspensión que se eliminan en el proceso de filtración, se retorna a las instalaciones de sedimentación primaria o al proceso de tratamiento biológico.

7.2.1 Variables del proceso de filtración

En la aplicación de la filtración para la eliminación de sólidos en suspensión remanentes, se ha comprobado que las variables más importantes del proceso de diseño son, posiblemente, la naturaleza de las partículas presentes en el agua a filtrar, el tamaño del material o materiales que componen el filtro y el caudal de filtración.

7.2.1.1 Características del agua a filtrar

Las características más importantes del agua a filtrar son las concentraciones de sólidos suspendidos, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, y la consistencia de los flóculos.

7.2.1.2 Características del medio filtrante

Las características del medio filtrante que más afectan al proceso de filtración es el tamaño del grano. El tamaño del grano afecta tanto la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño de grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que, si el tamaño efectivo es demasiado grande, muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua a filtrar pasarán directamente a través del filtro sin ser eliminadas.

7.2.1.3 Velocidad de filtración

La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta a la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia

de los flóculos y del tamaño medio de grano del lecho filtrante. Se ha observado que las velocidades de filtración están dentro del intervalo de 5 a 20 m³ / m²*h (Metcalf & Eddy, 1995).

En la Tabla 5, se describen otras características de sistemas de filtración (Pérez, 1998) :

Tabla 5. Características de sistemas de filtración

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Lentos 2-10 m³/m²*d	Lecho simple:	Ascendentes	Por gravedad
	1) Arena	Descendentes	
Rápidos: 120-360 m³/m²*d	Lecho simple:	Ascendentes	Por gravedad
	1) Arena	Descendentes	Por presión
Rápidos: 240-480 m³/m²*d	Lecho mixto:		
	a) Lecho doble -Arena -Antracita	Ascendentes	Por gravedad
	b) Lecho triple -Arena -Antracita -Granate	Descendentes	Por presión

Fuente: (Pérez, 1998)

7.3 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre desinfección y la esterilización, proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos. Los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen: (1)

Cloro y sus compuestos; (2) El bromo; (3) El yodo; (4) El ozono; (5) El fenol y los compuestos fenólicos; (6) los alcoholes; (7) los metales pesados y compuestos afines; (8) los colorantes; (9) Los jabones; (10) los compuestos amoniacales cuaternarios; (11) el agua oxigenada, y (12) ácidos y álcalis diversos (Metcalf & Eddy, 1995).

Los siguientes factores influyen en la desinfección del agua (Gonzalez, 2007):

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada: cuanto más baja sea la temperatura, más rápida y eficiente es la desinfección.
- El tiempo de contacto; el efecto de desinfección se vuelve más completo cuando los desinfectantes permanecen más tiempo en contacto con el agua.
- La naturaleza del agua a ser desinfectada; si el agua contiene materia particulada, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, el proceso de desinfección es generalmente obstaculizado.
- El pH del agua.
- Mezcla; una buena mezcla asegura la adecuada dispersión del desinfectante a través de toda el agua y, así, promueve el proceso de desinfección.

7.3.1 Cloración con gas

El cloro es un gas tóxico de color amarillo-verdoso, tiene un olor característico penetrante e irritante, es más pesado que el aire, como gas seco, el cloro no es corrosivo, pero ante la presencia de humedad se vuelve altamente corrosivo para todos los metales, excepto la plata y el plomo. La forma en que se debe usar el desinfectante se rige por varios factores tales como la cantidad de agua a ser tratada, costo y disponibilidad de sustancias químicas, el equipo necesario para su aplicación y la habilidad requerida para operación y control. Para plantas de tratamiento de agua superiores a los 500.000 litros diarios, se ha descubierto que el gas de cloro es el más económico. Para abastecimientos pequeños, se dispone de controladores de gas de cloro montados en el cilindro, pero estos no pueden alimentar con precisión cantidades muy pequeñas de gas. Se dispone de dos métodos diferentes para la aplicación controlada del gas de cloro:

A) Alimentador de solución: Primero se disuelve el gas en un volumen pequeño de agua y la solución de cloro resultante es alimentada a la corriente principal del agua a ser desinfectada. La disolución del gas en un volumen pequeño de agua promueve la dispersión completa y rápida en el punto de aplicación.

B) Alimentación directa: Aquí se alimenta el gas directamente al punto de aplicación. Se necesita un tipo especial de difusor o tubería perforada (de plata o plástico) para la dispersión adecuada del gas.

El cloro es un gas peligroso, por lo que debe manejarse con cuidado. Para garantizar la mayor seguridad y economía, los sistemas de cloración de gas deben ser diseñados e instalados por personas experimentadas y deben ubicarse lejos de laboratorios, almacenes, oficinas, salas de operación, etc., para evitar la contaminación ante una posible fuga.

Los cilindros que contienen cloro no se deben guardar donde les dé la luz solar directa para evitar que se calienten. Se debe proporcionar la ventilación adecuada a las instalaciones, siempre en el nivel del piso ya que el cloro es más pesado que el aire. Los cilindros de una tonelada de capacidad se colocan en posición horizontal, por lo cual deberán contar con grúas para su recambio y de un sistema de anclaje para evitar su rodamiento.

7.3.2 Cloración con Hipoclorito de Calcio.

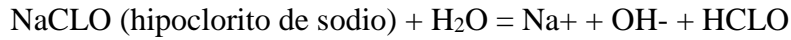
El hipoclorito de Calcio puro ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) tiene de 60% - 70 % de contenido disponible de cloro y se conserva durante más de un año bajo condiciones normales de almacenamiento. Se les puede obtener en paquetes de 2,3 Kg y en latas de hasta 45 Kg; también están disponibles en forma granular o de tabletas. Es inestable cuando se expone a la luz solar y a fuentes térmicas (mayor de 50° C). Es un buen desinfectante, bactericida, algicida, fungicida y blanqueador. Se altera su composición química cuando es almacenado en lugares húmedos; el producto es higroscópico.



7.3.3 Cloración con Hipoclorito de Sodio.

Como solución, el hipoclorito de sodio (NaClO) contiene de 12 a 15 por ciento de cloro disponible en el producto comercial. Las soluciones caseras blanqueadoras de hipoclorito de sodio por lo general contienen solo del 3 al 5 por ciento de cloro disponible (con un pH de alrededor de

11, es irritante). En disolución acuosa sólo es estable a pH básico. Al acidular en presencia de cloruro libera cloro elemental. Por esto debe almacenarse alejado de cualquier ácido.



El hipoclorito de sodio en solución es claro, de ligero color amarillento y un olor característico. El hipoclorito de sodio tiene una densidad relativa de 1,1 (5,5% solución acuosa). Puede ser fácilmente transportado y almacenado. Cuando se produce en el sitio es seguro. El hipoclorito de sodio es tan efectivo como el gas cloro para la desinfección y también produce desinfección residual.

7.3.4 Cloración con Cal clorada.

Conocida como polvo blanqueador o de desmanche, antes de la utilización del cloro en forma líquida, se lograba la cloración mediante el uso de cal clorada. Es una combinación suelta de cal apagada y gas de cloro, con la composición del 25% al 37 % de cloro.



Cuando se le añade al agua, se descompone para producir ácido hipocloroso, HOCl. Cuando está fresca, la cal clorada tiene un contenido de cloro de 33% a 37%. La cal clorada es inestable, al exponerla al aire, la luz y la humedad, estos agentes hacen que el contenido de cloro descienda en forma rápida. Se debe almacenar el compuesto en un lugar oscuro, fresco y seco, en contenedores cerrados y resistentes a la corrosión. La cloración es la adición de cloro gaseoso o compuestos de cloro en el agua, es uno de los procedimientos más usados en desinfección del agua, se ha utilizado desde comienzos del presente siglo, en la tabla N.º 1 se observa una comparación de los diferentes desinfectantes usados en la cloración.

A pesar de que este procedimiento sigue siendo el más usado para destruir microorganismos, se presentan dificultades técnicas, sociopolíticas, económicas y culturales que han hecho que los sistemas de dosificación de soluciones de hipoclorito de sodio sean ineficientes, ya que no se mantiene en funcionamiento regular por la disolución que hay que preparar en relación a la periodicidad y en la cuantía adecuados, más aún si la persona que la prepara no tiene conocimientos técnicos en la materia. Razón por la que la cloración por el sistema habitual ha

resultado inefectiva y, en ocasiones, contraproducente, al generar una falsa idea de potabilidad del agua, en especial en las pequeñas poblaciones.

8 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Para lograr los objetivos propuestos se empleó una metodología de tipo cuantitativa y cualitativa, de tipo exploratorio, donde se identificaron las variables relevantes en el sistema; descriptivo, donde se midieron variables relevantes; correlacional; donde se midió el grado de asociación entre las variables y causal, ya que se midieron las relaciones funcional causa-efecto entre las variables. (Tam, Vera, & Olivero, 2008). El proyecto de grado se estructuró en tres fases:

FASE I. DIAGNOSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

FASE II. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

FASE III. IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA REUSO.

FASE IV. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

FASE V. ANALISIS DE LOS POSIBLES EFECTOS EN EL SUELO POR LA APLICACIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA.

9 FASE I: ÁREA DE ESTUDIO: PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA HACIENDA LA CABAÑA S.A

El objetivo del proyecto de grado es proponer un sistema de tratamiento para el agua residual proveniente del proceso de extracción de aceite de la palma africana, y así evaluar la viabilidad de esta para ser reutilizada en riego por aspersión en los cultivos, específicamente en la empresa Hacienda La Cabaña S.A, y así dar soluciones y alternativas para optimizar el uso de recurso hídrico.

Hacienda La Cabaña, inicio sus labores en el año 1961 con 50 hectáreas sembradas de palma africana; En la actualidad es una de las empresas pioneras en desarrollo genético de diferentes variedades de palma para la producción de aceite; Se encuentra ubicada en los llanos orientales de Colombia, en el departamento del Meta, teniendo zonas de influencia directa en los municipios de Cumaral, Cabuyaro y Paratebueno, en donde se encuentran los cultivos, la planta extractora y las demás instalaciones de procesos industriales, sin embargo, el proyecto se desarrolló en la zona de cultivo del Municipio de Cumaral específicamente. Sus coordenadas de ubicación geográfica se especifican en la Tabla 6.

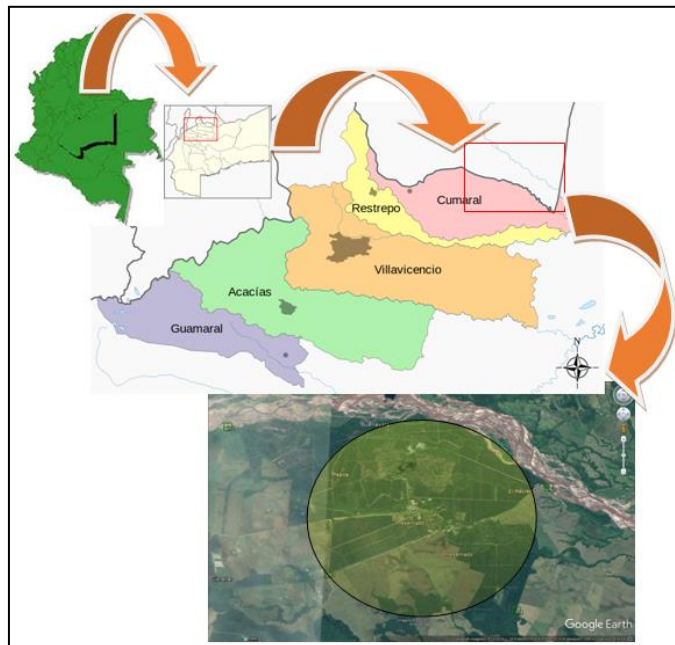


Figura 7. Ubicación Hacienda La Cabaña, 2017

Fuente: Google Earth, 2017

Tabla 6. Coordenadas área de cultivo de palma, 2017

Punto de control	
	680732.00 E
PUNTO 1	474161.00 N
	678479.00 E
PUNTO 2	477101.00 N
	685250.00 E
PUNTO 3	476183.00 N
	684695.00 E
PUNTO 4	473576.00 N
	682850.00 E
PUNTO 5	475508.00 N

Fuente: Autores, 2017

Hacienda La Cabaña cuenta con una plantación de cultivos de palma africana y palma híbrida de aceite alto oleico, con un área de 3000 hectáreas de palma sembradas y administra 2000 hectáreas de cultivos de terceros; cuenta con una planta extractora que procesa la producción de fruta de los cultivos y compra producción de otros 22 productores de la zona.

En el año 1968 se instala la primera planta extractora con capacidad de procesar una tonelada por hora, actualmente se han instalado nuevas tecnologías que permiten optimizar el proceso de extracción procesando 30 toneladas de fruta por hora; la planta trabaja aproximadamente 5000 horas en el año y procesa en promedio 135.000 toneladas de fruto con una tasa de extracción promedio del 22 %. La empresa invierte en investigación y desarrollo desde hace 30 años, esto surgió a raíz de la problemática en los cultivos llamada la pudrición de cogollo (PC), desde entonces se tiene un departamento de investigación con el cual se han realizado más de 40 ensayos enfocados a la optimización para aumento de productividad.

La empresa comercializa productos como:

- Aceite crudo de palma
- Aceite crudo de palma alto oleico
- Aceite crudo de palmiste
- Torta de palmiste
- Polen
- Plántulas de vivero

9.1 Gestión ambiental

Las políticas de gestión ambiental están encaminadas a programas de conservación de bosque nativo en las plantaciones; Actualmente la empresa desarrolla programas de reforestación con especies nativas en las fuentes hídricas internas de las fincas pertenecientes a la empresa, desde el inicio de los programas en el año 2011 hasta la fecha se han logrado reforestar cerca de 10 hectáreas de la ronda del Río Guacavia. La empresa hizo parte en el proyecto acerca de la conservación de la biodiversidad en zonas de cultivo de palma financiado por el GEF, por lo que la empresa cuenta con asesorías y acompañamiento para la identificación de las diferentes especies de fauna y flora existentes en los cultivos y bosques aledaños a la plantación.

Existen programas de ahorro y uso eficiente de agua y energía, siendo estos dirigidos a todo el equipo y grupo de trabajo tanto en las instalaciones de la plantación como en las instalaciones administrativas de la empresa, realizando campañas de sensibilización y monitoreos de los consumos periódicamente, cuentan con un plan integral de residuos sólidos, realizando la respectiva separación entre residuos reciclables, ordinarios y peligrosos, siendo cada uno de estos almacenados de manera adecuada, para posteriormente realizar un pesaje de los mismos y finalmente ser entregados a cada una de las empresas certificadas correspondientes en el manejo y disposición de cada uno de los residuos; de igual manera se reduce el uso de agroquímicos por medio de la implementación de buenas prácticas agrícolas.

9.2 Caracterización del área de influencia del proyecto

Se encuentra ubicado al noroccidente del departamento del Meta, a una distancia de 24 Km de la ciudad de Villavicencio y a 114 Km de Bogotá, su altura sobre el nivel del mar es de 452 metros. Cumaral limita al norte con el departamento de Cundinamarca y el municipio de San Juanito, al oriente con Puerto López y Cabuyaro y al sur oriente con el municipio de Restrepo (Meta), cuenta en total con una extensión de 61.862 Hectáreas, de los cuales el 99.2% corresponden según composición de uso del suelo a zona rural y el 0.8% a zona urbana. La zona rural está compuesta por ocho (8) áreas rurales y doce (12) veredas y la zona urbana corresponden a diecisiete (17) (EOT, 2011).

Tabla 7. Información general del municipio

Departamento	Meta
Municipio	Cumaral
Localización Geográfica	4° 16' 08" Latitud Norte 73° 28' 59" Longitud Oeste
Temperatura promedio	21° centígrados.
Extensión Superficial	61.862 hectáreas.
Altura sobre el nivel del mar	452 m.
Piso térmico	Cálido
Topografía	Plana Paisaje Piedemonte Llanero
Precipitaciones pluviales	2.500 a 3.500 mm/año
Periodo de lluvia	Abril, mayo, junio, octubre Periodo de verano Diciembre, Enero y Febrero
Humedad relativa	84%
Brillo solar	1.450 horas
Vientos dominantes	Dirección del Sureste al Noreste
Hidrología	Guacavia, Guatiquia, caney y humea Caños Caibe, Pecuca, Mayuga

Población	17.328 habitantes
Gentilicio	Cumaraleño
Veredas	11

Fuente: (EOT, 2011)

9.2.1 Componente Abiótico

9.2.1.1 Geografía

El municipio de Cumaral se encuentra localizado en la parte Noroccidental del Departamento del Meta, sus coordenadas son 4°16'08" latitud norte y 73 ° 28'59" de longitud oeste. Zona del Piedemonte llanero. La altura sobre el nivel del mar es de 452 metros.

La geología del sector donde se emplaza el proyecto minero es caracterizada por los depósitos aluviales recientes, de edad Cuaternaria y depósitos terciarios. Es una zona que alcanza a ser influenciada por sistemas de fallas regionales, como las fallas del borde Llanero, las cuales se encuentran cubiertas.

En el municipio de Cumaral pueden observarse cinco (5) unidades geomorfológicas bien diferenciadas, las cuales se aprecian en el mapa denominado unidades geomorfológicas que muestra el dominio del paisaje de Terrazas Aluviales, seguido en su orden por la Planicie aluvial de Desborde, los Abanicos, los Valles Secundarios (de la red hidrográfica secundaria) y finalmente el paisaje de Vertiente.

9.2.2 Componente Biótico

9.2.2.1 Flora

Flores exóticas (silvestres): ginger, orquídeas, primavera y cayenas.

9.2.2.2 Fauna

Animales silvestres: micos, cachicamos, cachirres, lapa, chigüiro, tortugas, boas, anacondas, rayas, cachama, bagres, bocachico, nicuro, peces ornamentales, loros, pavas, pajuiles, pollos de monte, yátaros, toches, turpiales, mirlas, azulejos y muchos más.

9.3 Reconocimiento Topográfico y Georreferenciación.

El reconocimiento de la topografía del área de estudio es imprescindible para determinar las zonas adecuadas con las que se cuenta para la implementación de la planta de tratamiento de agua residual para reúso agrícola, además de establecer el área para la construcción de la planta, limitando de esta manera al diseñador para establecer que unidades son las más adecuadas; es decir, el área de construcción también representa un parámetro de diseño para las plantas de tratamiento. El área total de estudio comprende: Zonas de cultivo, la planta de extracción de aceite de palma y las lagunas de oxidación, principalmente.

La georreferenciación de la zona fue llevada a cabo con una imagen satelital obtenida del programa Google Earth en coordenadas planas en el sistema UTM para Colombia, como se observa a continuación (Figura 8).

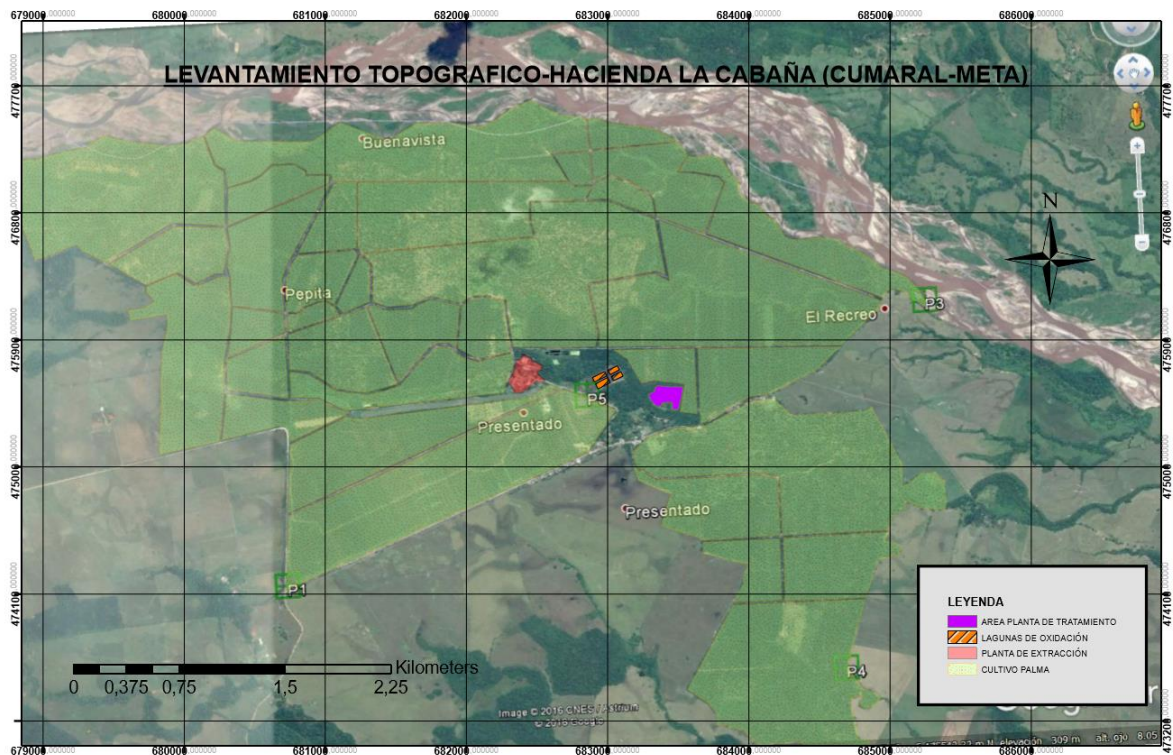


Figura 8. Georreferenciación Hacienda La cabaña (Cumaral-Meta)/ ARCGIS

Fuente: Autores, 2017

Para el proyecto, el área no es limitante ya que se cuentan con aproximadamente 1.5 Ha para la implementación de la planta.

9.4 Sistema de tratamiento de agua existente en Hacienda la cabaña.

Hacienda La Cabaña, en busca de mejorar sus procesos y dar cumplimiento a la legislación ambiental, implemento un sistema de tratamiento para lograr mejorar la calidad del agua utilizada en los procesos de extracción de aceite. Sin embargo, los sistemas construidos presentan deficiencias operacionales, generando bajas eficiencias de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, dando como resultado problemas en las operaciones de riego, tales como el taponamiento de tuberías y aspersores en general.

Los efluentes líquidos provenientes de las plantas de extracción de aceite de palma están conformados principalmente por las siguientes etapas del proceso: condensados de la esterilización, o el agua que resulta de la condensación del vapor utilizado para esterilizar los racimos. Lodo de la clarificación, o los líquidos que quedan después de que los racimos han sido procesados y se han separado y extraído los aceites. Existen otras fuentes de efluentes líquidos (aguas de lavado provenientes de las fábricas, condensados de vapor de los procesos de calentamiento, aguas de hidrociclón) en una planta de procesamiento de aceite de palma; en el estudio Tratamiento del efluente del aceite de palma y producción de biogás se estipulan cuáles son los efluentes y la contaminación resultante con el fin de evaluar los parámetros establecidos y así proponer el tratamiento pertinente a para cada uno de ellos.

9.4.1 Sistema de lagunas de oxidación

Hacienda la cabaña cuenta con un tratamiento biológico para los efluentes de la producción de aceite de palma, denominado lagunas de oxidación (Véase sección 7.1.1), las cuales no están operando de la mejor manera, lo cual ocasiona la baja eficiencia de remoción de materia orgánica y material suspendido, generando un vertimiento con valores de DQO (8.467mg/L) y sólidos suspendidos (12.500mg/L) altos.

De manera general, el flujo hidráulico de agua residual se transporta de manera modular, es decir se construyeron dos módulos de iguales características y dimensiones que funcionan de manera paralela. Las lagunas existentes son:

- Laguna de enfriamiento: Esta laguna se diseñó para un tiempo de retención de 1 día acorde al flujo de la planta y su objetivo de diseño es disminuir la temperatura del efluente de la planta de beneficio y servir como trampa de aceite para que el mismo no ingrese a la siguiente laguna y se pueda recuperar.
- Laguna Anaeróbica: La laguna se encarga del proceso anaeróbico para la descomposición de la materia orgánica en biogás. Se diseñaron para un tiempo de retención de 45 días, los cuales serán acorde al flujo de la planta.
- Laguna Facultativa: Esta laguna, es la encargada de dar un tratamiento de tipo aeróbico al sistema, en donde se recibe la descarga de la laguna anaeróbica, la cual tiene un contenido aproximado del 10% al 15% de la carga orgánica inicial. (CIAM, 2012)

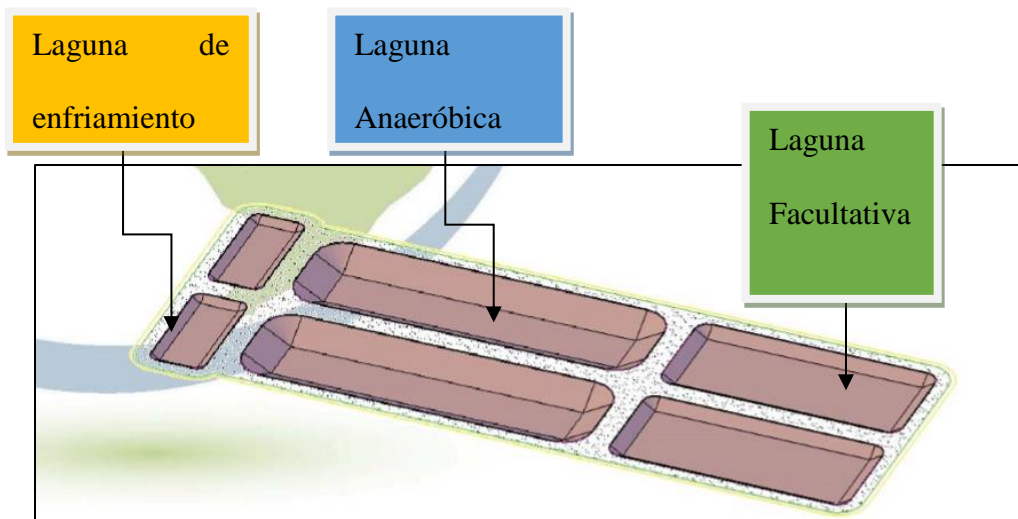


Figura 9. Sistema de laguna de oxidación Hacienda La Cabaña

Fuente: (CIAM, 2012)

9.4.1.1 Manejo de lodos

Para el manejo de lodos residuales en las lagunas, se contempló la instalación de un sistema de tuberías de polietileno de alta densidad en el fondo de cada una, para realizar la extracción a través

de un sistema de bombeo. La tubería de lodos es una tubería de 4" de diámetro, distribuida de la siguiente manera:

- Laguna de enfriamiento: 2 líneas por laguna
- Laguna Anaeróbicas: 20 líneas por laguna
- Lagunas Facultativas: 4 líneas por laguna. (CIAM, 2012)

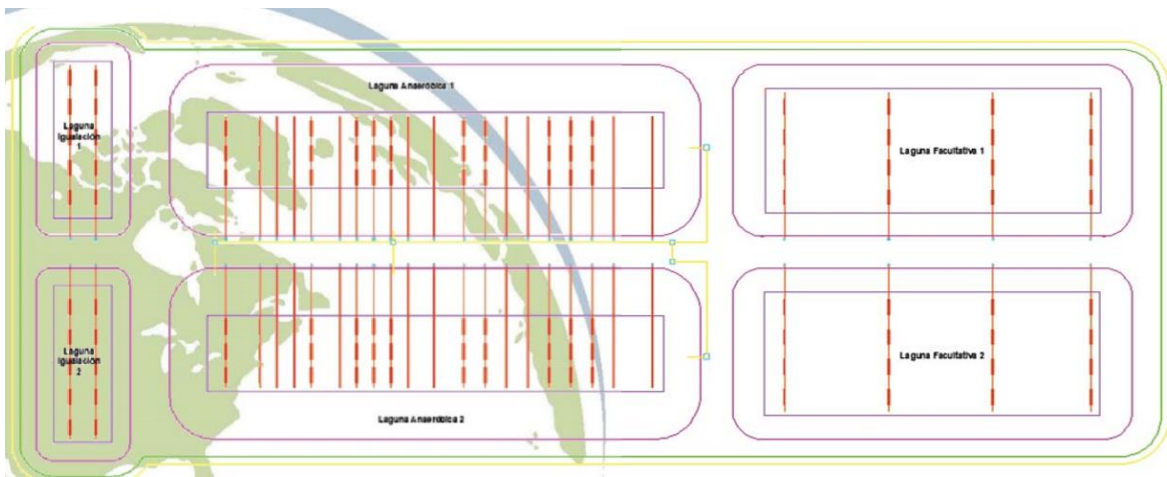


Figura 10. Sistema de manejo de lodos de lagunas de oxidación

Fuente: (CIAM, 2012)

10 FASE II. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

Con el fin de evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento compuesto por cuatro lagunas de oxidación y determinar las condiciones actuales del agua residual provenientes de estos sistemas biológicos de depuración, se realizó la caracterización fisicoquímica del agua residual en el afluente de la unidad de lagunas de estabilización descritas en el numeral 9.4, además de un aforo de caudal para determinar las condiciones actuales del efluente.

10.1 Caudal

El caudal es una de las variables más importantes en el dimensionamiento y diseño de las unidades de tratamiento de agua residual, de ahí que su correcta estimación, permite garantizar la adecuada remoción de contaminantes y su óptimo funcionamiento.

La descarga de caudal de las lagunas de oxidación se conduce por un canal abierto de concreto (Figura 11). El método empleado para cuantificar el caudal de salida de las lagunas de oxidación fue aforo de caudal de canales abiertos, el cual consiste en la estimación de la velocidad del flujo de agua, usando un pingpong en la corriente de agua residual midiendo el tiempo que tardaba éste en recorrer una distancia de un (1) metro; posteriormente y por medio de un metro se estableció las dimensiones del canal y la profundidad de la columna de agua hora a hora. Con la información obtenida se calculó el caudal de la siguiente manera:

$$Q = v * A$$

Siendo.

Q= Caudal (m³/S)

V= Velocidad (m/s)

A= Área (m²)



Figura 1.

Figura 11. Canal de descarga de efluente de lagunas de oxidación

Fuente: Autores, 2017

Tabla 8. Estimación de caudal en canal de descarga de efluente de lagunas de oxidación

Hora	Tiempo (Seg)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/h)	Caudal (L/s)
01:00	4	1	0,25	0,0105	0,0026	9,5	2,63
02:00	3,5	1	0,29	0,0105	0,0030	10,8	3,00
03:00	4	1	0,25	0,0105	0,0026	9,5	2,63
04:00	4,2	1	0,24	0,0105	0,0025	9,0	2,50
05:00	4,3	1	0,23	0,0105	0,0024	8,8	2,44
06:00	3,4	1	0,29	0,0105	0,0031	11,1	3,09
07:00	2	1	0,50	0,0105	0,0053	18,9	5,25
08:00	3,85	1	0,26	0,0105	0,0027	9,8	2,73
09:00	3,81	1	0,26	0,0105	0,0028	9,9	2,76
10:00	1,8	1	0,56	0,0105	0,0058	21,0	5,83
11:00	2,33	1	0,43	0,0105	0,0045	16,2	4,51
12:00	1,73	1	0,58	0,0105	0,0061	21,8	6,07
13:00	2,02	1	0,50	0,0105	0,0052	18,7	5,20
14:00	1,82	1	0,55	0,0105	0,0058	20,8	5,77
15:00	1,87	1	0,53	0,0105	0,0056	20,2	5,61
16:00	1,75	1	0,57	0,0105	0,0060	21,6	6,00
17:00	3,2	1	0,31	0,0105	0,0033	11,8	3,28
18:00	4,4	1	0,23	0,0105	0,0024	8,6	2,39
19:00	4	1	0,25	0,0105	0,0026	9,5	2,63
20:00	2,9	1	0,34	0,0105	0,0036	13,0	3,62
21:00	2,6	1	0,38	0,0105	0,0040	14,5	4,04
22:00	3,5	1	0,29	0,0105	0,0030	10,8	3,00
23:00	3,7	1	0,27	0,0105	0,0028	10,2	2,84

Fuente: Autores, 2017

10.2 Composición de la muestra.

Con las muestras puntuales se hizo la composición de la muestra para los correspondientes análisis de laboratorio de la siguiente manera:

$$V_i = \frac{V * Q_i}{n * Q_p}$$

V_i = Volumen de cada alícuota

V = Volumen total a componer

Q_i = Caudal instantáneo de cada muestra

Q_p = Caudal promedio durante el muestreo

N = Número de muestras tomadas

Tabla 9. Calculo de volumen de alícuota para componer la muestra

HORA	V alícuota (L)	V alícuota (ml)	V total que componer (L)	Q instantáneo muestra (L/s)	Q promedi o (L/s)	# Muestras tomadas
07:00	0,14	137,8	1	5,3	4,8	8
08:00	0,07	71,6	1	2,7	4,8	8
09:00	0,07	71,8	1	2,8	4,8	8
10:00	0,15	151,9	1	5,8	4,8	8
11:00	0,12	117,4	1	4,5	4,8	8
12:00	0,16	158,1	1	6,1	4,8	8
13:00	0,14	135,4	1	5,2	4,8	8
14:00	0,15	150,2	1	5,8	4,8	8

Fuente: Autores, 2017

10.3 Muestreo

Se realizó la toma de muestra y su posterior análisis según lo establecido en el “PROTOCOLO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL” (Zambrano, 2010); Se analizaron en los laboratorios del programa de ingeniería ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, partiendo de las guías fijadas por el Laboratorio ambiental del IDEAM (IDEAM, Laboratorio de calidad ambiental , 2016) y el “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES” (MINAMBIENTE, 1996).

Los procedimientos para: la identificación y registro de muestras, materiales básicos para muestreo, tipo de recipientes para toma de muestras, procedimiento de limpieza de recipientes y equipos, almacenamiento y conservación de la muestra, etiqueta, rotulación de muestras, sellos y libro de campo, se observan en el ANEXO II. El muestreo se realizó en el punto de descarga de las lagunas de oxidación.



Figura 12. Punto de muestreo a la salida de lagunas de oxidación

Fuente: Autores, 2017

10.3.1 Parámetros In Situ

Para la caracterización de los parámetros *In Situ*, se tomaron 8 muestras en las horas más representativas; se evaluaron parámetros tales como: Temperatura ambiente (°C), potencial de hidrogeno (pH), Conductividad (s/cm₂) y sólidos sedimentables (SS). En la Tabla 10 se observan los resultados obtenidos.



Figura 13. Prueba de sólidos sedimentables (Izquierda); Multi parámetro análisis parámetros *In Situ* (Derecha)

Fuente: Autores, 2017

Tabla 10. Resultado parámetros *In Situ*

PARAMETROS <i>IN SITU</i> Muestreo: sábado 8 de abril de 2017					
Muestra No.	HORA	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (sm/cm₂)	Sólidos sedimentables (mg/L)
			AMBIENTE		
1	7:00	7,86	21,2	45	0
2	8:00	7,99	23,8	48	0
3	9:00	7,92	24,7	51	0
4	10:00	7,07	24,8	48	0
5	11:00	6,81	28,7	38	0
6	12:00	7,5	29,1	35	0
7	13:00	7,7	29,3	47	0
8	14:00	7,4	30,9	51	0
Máximo		7,99	30,9	51	0
Mínimo		6,81	21,2	35	0

Fuente: Autores, 2017

10.3.2 Parámetro Ex Situ

Partiendo de la composición de la muestra descrita en el numeral 10.1.2 en el Laboratorio de la Universidad de la Salle, se procede a realizar las pruebas *Ex Situ* de sólidos suspendidos totales, para corroborar este parámetro empleando una metodología gravimétrica, ya que ha generado problemas en la plantación, al momento de realizar el riego por aspersión; Este parámetro se eligió debido a que existe un problema de taponamiento de los aspersores. En la *Tabla 11*, se muestran los resultados obtenidos siendo evidente la alta carga de sólidos disueltos que presenta el efluente de las lagunas de oxidación.



Figura 14. Determinación de sólidos suspendidos totales (Laboratorio Universidad de la Salle)

Fuente: Autores, 2017

Tabla 11. Resultados Sólidos Suspendidos Totales

Muestra	Peso Cápsula (g)	Peso Filtro (g)	Volumen (ml)	Peso Final (g)	Peso SST (g)	SST (gr/ml)	SST(mg/L)
1	75,7	0,5	100	78,8	2,6	0,03	26000,0
2	75,7	0,5	100	77,2	1	0,01	10000,0
3	75,7	0,5	100	78,5	2,3	0,02	23000,0
4	75,7	0,5	100	77,2	1	0,01	10000,0
						PROMEDIO	17250,0

Fuente: Autores, 2017

Por otro lado, se realizó una indagación con funcionarios responsables de la gestión ambiental de Hacienda La Cabaña, acerca de antecedentes relacionados al recurso hídrico de la planta, encontrando que para el año 2016 en el mes de mayo se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual antes y después de las lagunas de oxidación.

Tabla 12. Resultados de análisis de efluente de las lagunas de oxidación

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA AL TRATAMIENTO	SALIDA DEL TRATAMIENTO
ALUMINIO TOTAL	mg Al/L	-	3,9
ARSENICO TOTAL	mg As/L	-	<0,01
BERILIO TOTAL	mg Be/L	-	0,004
BORO TOTAL	mg B/L	-	0,13
CADMIO TOTAL	mg Cd/L	-	<0,03
CALCIO TOTAL	mg Ca/L	-	400
CIAUNURO TOTAL	mg CN/L	-	<0,01
CLORO RESIDUAL LIBRE	mg Cl-/L	-	<0,1
CLORUROS	mg Cl/L	-	816
COBRE TOTAL	mg Cu/L	-	<0,05
CONDUCTIVIDAD	ms/cm	-	17,7
COBALTO TOTAL	mg Co/L	-	<0,15
CROMO TOTAL	mg Cr/L	-	<0,1
D.B.O₅	mg O ₂ /L	19300	2370
D.Q.O	mg O ₂ /L	50999	8497

FENOLES TOTALES	mg	-	0,57
	Fenol/L		
FLURUROS	mg F-/L	-	<0,3
FOSFORO TOTAL	mg P/L	-	259
GRASAS Y ACEITES	mg/L	5519,7	37,5
HIDROCARBUROS	mg/L	-	10,7
TOTALES			
HIERRO TOTAL	mg Fe/L	-	1
LITO	mg Li/L	-	<0,005
MANGANESO TOTAL	mg Mn/L	-	2,97
MERCURIO TOTAL	mg Hg/L	-	<0,00027
MOLIBDENO TOTAL	mg Mo/L	-	<0,0029
NIQUEL TOTAL	mg Ni/L	-	<0,015
NITRATOS	mg N- NO ₃ /L	-	<0,3
NITROGENO TOTAL	mg N/ L	-	536,6
OXIGENO DISUELTO	mg/L	<0,2	<0,2
pH	UN	4,95	7,3
PLOMO TOTAL	mg Pb/L	-	<0,25
POTASIO	mg K/L	-	4678,9
SELENIO TOTAL	mg Se/L	-	0,005
SODIO	mg Na/L	-	2,84
SOLIDOS	mg/L	30200	12500
SUSPENDIDOS			
TOTALES			
SULFATOS	mg SO ₄ /L	-	<5
TEMPERATURA	°C	67	28,7
VANADIO TOTAL	mg V/L	-	<0,036
ZINC TOTAL	mg Zn/L	-	0,2
COLIFORMES	NMP/100	-	547500
TERMOTOLERANTES	ml		
ESTEROCOCOS Y	NMP/100	-	920000
ESTREPTOCOCOS	ml		
FECALES			
HUEVOS HERMINTOS	#Hv200mL	-	6
SALMONELLA SP		-	Ausente

Fuente: (Tecnoambiental, 2016)

Con el fin de garantizar la calidad y salubridad del agua que sería utilizada para reúso en los cultivos de palma, se parte de la legislación ambiental vigentes que enmarca jurídica y técnicamente dicho proceso de utilización de los recursos naturales renovables. De ahí que, la

resolución 1207 de 2014, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible titulada: “Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas”, tiene por objetivo establecer las disposiciones relacionadas al uso de agua residual tratada.

De los usos establecidos para agua residual tratada, se encuentra el uso agrícola, para el riego de:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibra celulósica y derivados.
- Cultivos para obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos y químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
- Jardines en áreas no domiciliarias.

Para el caso del proyecto, se toma una clasificación como: Uso agrícola; Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos y químicos. A continuación, se expresan los criterios de calidad que aplican para este tipo de cultivos.

Tabla 13. Criterio de calidad para uso agrícola

Variable	Unidad de medida	Valor Límite Máximo Permisible
FISICOS		
pH	Unidades de pH	6,0-9,0
Conductividad	s/cm	1.500
MICROBIOLOGICOS		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E (+5)
Enterococos Fecales	NMP/100 ml	1,0*E (2)

Helmintos Parásitos	Huevos y larvas / L	1
Humanos		
Protozoos Parásitos	Quistes / L	1
Humanos		
<i>Salmonella sp</i>	NMP/100 ml	1
QUIMICO S		
Fenoles Totales		1,5
Hidrocarburos Totales		1
Iones		
Cianuro Libre	mg CN-/l	0,2
Cloruros	mg CL-/l	300
Fluoruros	mg F-/l	1
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500
Metales		
Aluminio	mg Al/L	5
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1
Cromo	mg Cr/L	0,1
Hierro	mg Fe/L	5
Mercurio	mg Hg/L	0,002
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Níquel	mg Ni/L	0,2
Plomo	mg Pb/L	5
Sodio	mg Na/L	200
Vanadio	mg V/L	0,1
Metaloides		

Arsénico	mg As/L	0,1
Boro	mg B/L	0,4
No Metales		
Selenio	mg Se/L	0,02
Otros parámetros		
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl ₂ /L	Menor a 1
Nitratos (NO₃-N)	mg/L	5

Fuente: Resolución 1207 de 2014

Con base en la información anteriormente mencionada se realiza una tabla comparativa, de los parámetros según la norma aplicada:

Tabla 14. Comparación de parámetros.

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE (Resolución 1207 de 2014)	SALIDA DEL TRATAMIENTO LAGUNAS DE OXIDACIÓN	CUMPLIMIENTO NORMA DE REUSO	
				SI	NO
FISICOS					
pH	Unidades de pH	6,0-9,0	7,3	X	
Conductividad	ms/cm	1.500	17,7	X	
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+5)	547500		X
Esterococos Fecales	NMP/100 ml	1,0*E(2)	920000		X
Helmintos Parásitos Humanos	Huevos y larvas / L	1	6		X
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes / L	1	X		X
Salmonella sp	NMP/100 ml	1	Ausente	X	
QUÍMICOS					
Fenoles Totales		1.5	0,57	X	
Hidrocarburos Totales		1	10,7		X
Iones					
Cianuro Libre	mg CN-/l	0,2	<0,01	X	
Cloruros	mg CL-/l	300	816		X
Fluoruros	mg F-/l	1	<0,3	X	
Sulfatos	mg SO42-/l	500	<5	X	
Metales					
Aluminio	mg Al/L	5	3,9	X	
Berilio	mg Be/L	0,1	0,004	X	
Cadmio	mg Cd/L	0,01	<0,03	X	
Cinc	mg Zn/L	3	0,2	X	
Cobalto	mg Co/L	0,05	<0,15		X
Cobre	mg Cu/L	1	<0,05	X	
Cromo	mg Cr/L	0,1	<0,1	X	
Hierro	mg Fe/L	5	1	X	
Mercurio	mg Hg/L	0,002	<0,00027	X	
Litio	mg Li/L	2,5	<0,005	X	
Manganeso	mg Mn/L	0,2	2,97		X
Molibdeno	mg Mo/L	0,07	<0,0029	X	
Níquel	mg Ni/L	0,2	<0,015	X	
Plomo	mg Pb/L	5	<0,25	X	
Sodio	mg Na/L	200	2,84	X	
Vanadio	mg V/L	0,1	<0,036	X	
Metaloides					
Arsénico	mg As/L	0,1	<0,01	X	
Boro	mg B/L	0,4	0,13	X	
No Metales					
Selenio	mg Se/L	0,02	0,005	X	
Otros parámetros					
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl2/L	Menor a 1	<0,1	X	
Nitratos (NO3-N)	mg/L	5	<0,3	X	

Con la comparación de los parámetros realizada anteriormente se pueden estipular los valores de desfase con respecto a la norma de cada uno de los parámetros que no cumplen con la misma, esto deberá ser tenido en cuenta para los criterios de diseño puesto que el sistema a implementar deberá reducir dichos valores; dentro de los rangos más significativos se tienen los coliformes y cloruros; en cuanto a los valores de menor rango en desfase están el cobalto y el manganeso.

10.4 Balance hídrico del cultivo

Para el uso agrícola la normatividad es muy clara al expresar que el Usuario Receptor deberá demostrar mediante mediciones *in situ*, balance de humedad en el suelo u otros procedimientos técnicamente establecidos por la ciencia y la técnica, que las cantidades de agua y los tiempos de aplicación en los diferentes periodos estacionales, satisfacen los requerimientos de agua del suelo y/o del cultivo y que no se generan cantidades excedentes de la misma como escorrentía o percolación (Resolución 1207 de 2014). Por tal motivo, a continuación, se presenta el balance hídrico de la plantación con datos obtenidos del IDEAM, para lograr determinar las épocas del año donde se presenta escases y exceso de agua.

Para realizar el Balance Hídrico se requieren datos como la temperatura, precipitación y horas de sol; para la obtención de los datos se cuenta con una estación ubicada dentro de las instalaciones de Hacienda la Cabaña de donde se encuentran datos históricos desde al año 1969 hasta el año 2016, del cual se tomó el registro más reciente correspondiente al año 2016 para la realización del balance hídrico.

Inicialmente se procede a realizar el cálculo de la ETP mensual mediante la fórmula de Thornthwaite, para la cual se necesita calcular el índice de calor, ETP sin corregir y la ETP corregida por medio de las siguientes formulas:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

En donde t es la temperatura media (Si la temperatura es <0, los valores de i y de ETP deben ser 0).

$$ETP \text{ sin corregir} = 16 \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

$$a = 6.75 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0,49239$$

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial corregida se tiene la siguiente formula:

$$ETP = ETP \text{ sin corr} \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

En donde N es el número máximo de horas de sol y d corresponde al número de días al mes.

Los valores obtenidos para el déficit del balance se realizan por medio de la resta entre la ETP y ETR, para el cálculo de la reserva se utiliza la siguiente formula:

$$p - (ETR + RU)$$

Donde RU hace referencia a los excedentes de agua presentes en el suelo, y para la obtención de este se utiliza la siguiente formula:

$$RU = P - ETR$$

Tabla 15. Balance hídrico agrícola. Año 2016

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp	27,6	29,0	27,7	26,2	26,3	25,5	25,2	26,3	26,5	26,7	26,5	26,6
i	13,25	14,28	13,34	12,30	12,33	11,75	11,60	12,32	12,46	12,61	12,47	12,58
ETP sin corr	154,1	184,6	156,7	128,6	129,6	115,3	111,7	129,1	132,8	136,7	133,1	135,9
nºdías mes	30	31	30	31	31	28,25	31	30	31	30	31	31
nº horas luz	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,9
P	0,0	27,0	163,0	513,5	282,0	250,5	433,0	586,0	400,0	278,0	438,0	45,0
ETP corr.	152,9	190,8	158,0	135,1	137,2	112,2	118,3	132,4	138,4	136,7	136,4	139,3
ETR	40,0	27,0	158,0	135,1	137,2	112,2	118,3	132,4	138,4	136,7	136,4	85,0
Déficit	112,9	163,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,3
Reserva	0,0	0,0	5,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	0,0
Excedentes	0,0	0,0	0,0	343,3	144,8	138,3	314,7	453,6	261,6	141,3	301,6	0,0

Fuente: Autores, 2017

Con base a la información anteriormente mencionada se observa que la capacidad de almacenamiento del suelo es de aproximadamente 40mm, este valor se obtiene a partir del conocimiento de la textura del suelo por medio del grafico de relación entre la fracción volumétrica de agua aprovechable en el suelo y su textura , para la cual el valor obtenido para un suelo franco arcilloso es de 0,20cm, dicho valor será multiplicado por la profundidad efectiva del suelo la cual es de 20cm en el suelo de los cultivos de Hacienda La Cabaña .

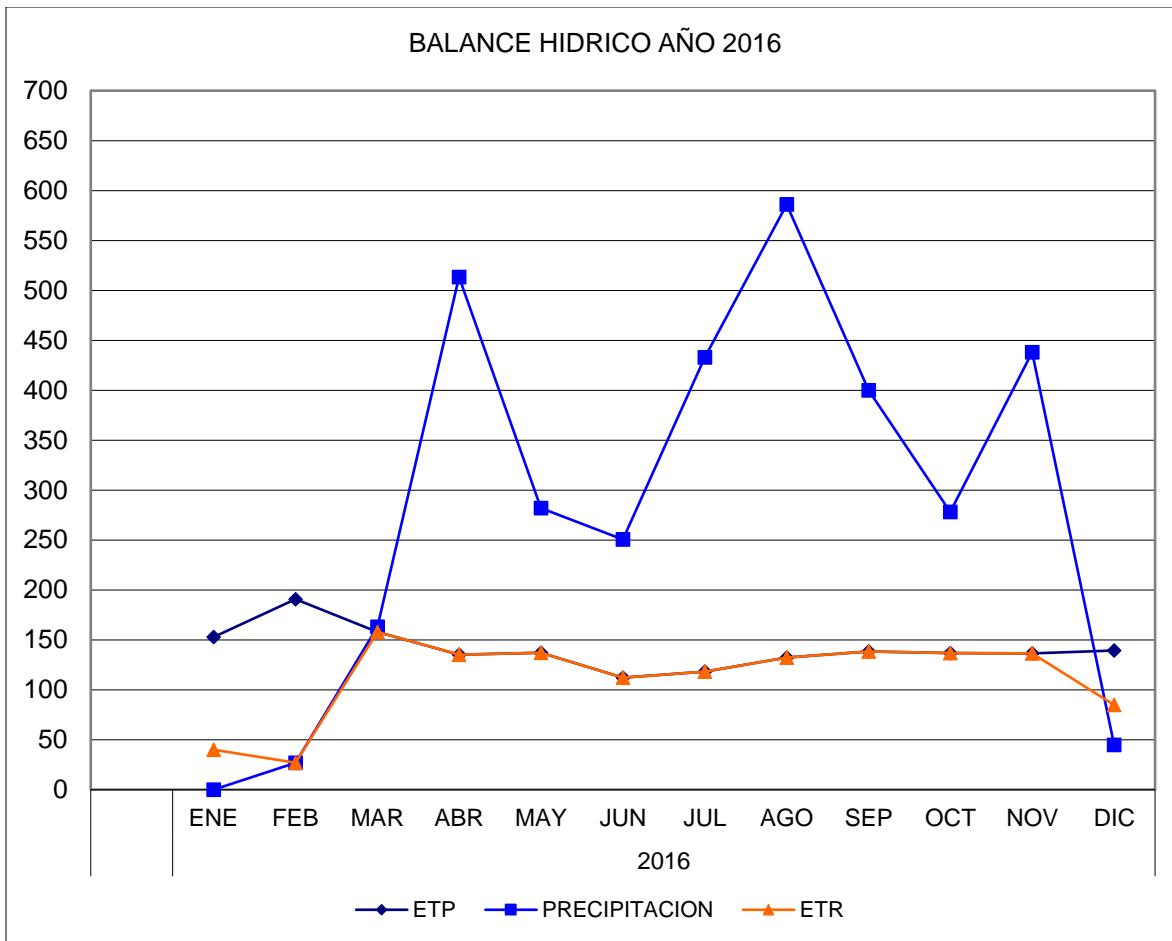


Figura 15. Balance hídrico Hacienda La Cabaña

Fuente: Autores, 2017

Con los datos mostrados anteriormente se establece que para los cultivos presentes en la zona de estudio, se obtienen valores de déficit hídrico en los meses de enero ,febrero y diciembre, con valores de :112,9, 163,8 y 54,3 respectivamente; Meses en los cuales se deberá suplir las necesidades hídricas del cultivo , para la realización del riego se deberán tener en cuenta esta épocas específicas del año , además de tener en cuenta las épocas en las cuales hay excedentes presentes en los meses de abril a noviembre con valores que oscilan entre 141,3 y 453,6 , dichos factores son de vital importancia ya que permitirán establecer la cantidad y frecuencia de riego en

el transcurso del año, con el fin de evitar problemas de desarrollo en la plana a falta de requerimientos hídricos y a su vez problemas de encharcamientos por excesos del mismo.

10.5 Distancia mínima de retiro para el desarrollo del reúso.

Además de cumplir con los criterios de calidad para el reúso, se debe cumplir con las siguientes distancias mínimas de retiro al momento de efectuar la actividad de reúso:

- 90 metros medidos desde la línea de mareas máximas o la del cauce permanente de todo cuerpo de agua superficial hasta el perímetro de las áreas de aplicación.
- 90 metros de radio medidos desde los pozos y aljibes de agua subterránea hasta el perímetro de las áreas de aplicación.
- 30 metros de radio medidos desde cada punto de aplicación en aquellas áreas con acceso peatonal, si el riego es realizado por aspersion durante el lapso de tiempo que dure esta actividad.

11 FASE III. IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA REÚSO.

El proyecto de grado tiene como finalidad evaluar alternativas de tratamiento de agua residual proveniente de las lagunas de oxidación del proceso de extracción de aceite de palma, con el fin de realizar un tratamiento que permita reusar el efluente en la irrigación de los cultivos existentes. En las *Tabla 12* y

Tabla 13, se presentan los parámetros de calidad del efluente de la laguna de oxidación como de los criterios de calidad exigidos por la norma de reúso respectivamente; sin embargo, en la *tabla 14*, se realiza una comparación entre estos valores, para poder establecer las unidades de tratamiento y así cumplir a cabalidad con la legislación ambiental.

El tratamiento de las aguas residuales permite no solamente mitigar y así reducir algunos de los contaminantes en cuanto a vertimientos a fuentes hídricas se refiere, si no que a su vez permite generar diversas alternativas de uso de la misma; el reúso de las aguas residuales permite ahorrar gastos a nivel económico en diversos procesos industriales y permite generar un ahorro y uso

eficiente del recurso haciendo viable realizar actividades industriales sin la necesidad de hacer nuevamente captación de aguas para la ejecución de las mismas.

Para la estabilización de estos efluentes se usan principalmente sistemas de tratamientos de tipo biológico anaeróbicos, dado que el uso de sistemas aeróbicos con inyección de oxígeno sería demasiado costoso. Así mismo, la adición de químicos para floculación y sedimentación que además de costosa es muy ineficiente. (Whitthing, 1.979) Se presenta a continuación el desarrollo del diseño para los procesos de estabilización de la materia orgánica a través de sistemas biológicos anaeróbicos.

11.1 Balance de cargas

El flujograma o Diagrama de flujo es tal vez la parte más importante en el diseño de una PTAR, y su preparación consiste en definir los procesos que se deben emplear en el tratamiento de un agua residual específica (Doméstica o industrial) y su secuencia lógica de tratamiento, con el objeto de obtener el resultado deseado. Es pues importante definir un flujograma apropiado para la eficiencia deseada, pero también que este tenga en cuenta la minimización de los problemas inherentes al funcionamiento de una PTAR, y el concepto de **costo-efectividad**. (Orozco, 2013) Este diagrama de flujo va ligado al balance de cargas, ya que basados en las eficiencias de remoción de las unidades, es más factible determinar el diagrama de flujo del sistema de tratamiento.

Hacienda La Cabaña actualmente cuenta con un sistema de tratamiento biológico anaerobio, denominado laguna de oxidación anaeróbica, la cual no presenta valores de remoción de materia orgánica aceptables, reflejando altos valores de DQO y DBO₅ (8497 mg/L y 2370 mg/L), ocasionando taponamiento en los sistemas de aspersión del cultivo de palma. A continuación, se calcula la eficiencia de remoción de las lagunas de oxidación existentes, teniendo en cuenta las concentraciones obtenidas en laboratorio.

11.1.1 Eficiencia de remoción de Laguna de oxidación

La eficiencia de remoción de parámetros DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales y grasas y aceites, está dada por la siguiente ecuación:

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) * 100$$

Dónde:

E= Eficiencia de la unidad (%)

So= Concentración inicial (mg/L)

S= Concentración final (mg/L)

- Eficiencia de DQO

$$E = \left(\frac{50999 \frac{mg}{L} - 8497 \frac{mg}{L}}{50999 \frac{mg}{L}} \right) * 100 = 83.3\%$$

- Eficiencia de DBO₅

$$E = \left(\frac{19300 \frac{mg}{L} - 2370 \frac{mg}{L}}{19300 \frac{mg}{L}} \right) * 100 = 87\%$$

- Eficiencia SST

$$E = \left(\frac{30200 \frac{mg}{L} - 12500 \frac{mg}{L}}{30200 \frac{mg}{L}} \right) * 100 = 58\%$$

- Eficiencia GYA

$$E = \left(\frac{5519,7 \frac{mg}{L} - 37,5 \frac{mg}{L}}{5519,7 \frac{mg}{L}} \right) * 100 = 99\%$$

Las eficiencias obtenidas, se emplean en el balance de cargas de la totalidad del sistema para simular las condiciones actuales y futuras, una vez se emplee el sistema de tratamiento propuesto. En el Anexo IV se presenta el balance de cargas del sistema y se indican las unidades propuestas para el reúso de aguas en el cultivo de aceite de palma.

11.2 Diseño de unidades que conforman el sistema de tratamiento para reúso

A continuación, se presenta el diseño de cada una de las unidades seleccionadas basados en el balance de carga para conformar el sistema de tratamiento de agua residual que se propone sea implementado en el cultivo de palma de aceite de Hacienda La Cabaña, en el Municipio de Cumaral (Meta).

11.2.1 Tanque de igualamiento

El tanque de igualamiento según Romero (2009) se construye para que los problemas causados por las variaciones de caudal no afecten de sobremanera el proceso de tratamiento de agua, de igual manera este proceso permite neutralizar los pH, minimizando así futuras inversiones para implementar procesos de neutralización, este proceso también permite una mejora notable en los procesos biológicos, llevados a cabo más adelante, ya que permite controlar las cargas choque orgánicas. Es fundamental en las temporadas secas, ya que los caudales que pasan a las unidades siguientes no van a variar de manera significativa, manteniendo unos niveles promedio en todo el proceso. Por último mejora la confiabilidad y rendimiento del proceso. Para el cálculo del volumen se tiene en cuenta el aforo de caudal establecido con anterioridad, durante 24 horas, y el día de mayor producción. En el Anexo V, se muestran en más detalle los datos para el cálculo de las dimensiones del tanque.

Este tanque hace las funciones de un pozo de bombeo donde mínimo deben estar en funcionamiento dos bombas que trabajan de forma alterna, el agua es conducida a la siguiente unidad.

Basados en los datos del Anexo V, se tiene:

$$\text{Volumen tanque (m}^3\text{)} = \text{Volumen tanque máximo} - \text{Volumen de tanque mínimo}$$

$$\text{Volumen tanque (m}^3\text{)} = 21.62 - (-24.25) = 45.869 \text{ m}^3$$

Por diseño, se recomienda sobredimensionar este volumen en un 20%, por lo tanto, se multiplica por 1.2 dando un volumen de tanque (m³) sobredimensionado de 55.043 m³.

Tabla 16. Dimensiones tanque de igualación

Parámetro	Valor
Volumen del tanque (m³) Sobredimensionado	45,869
Volumen del tanque (m³) Sobredimensionado	55,043
Caudal (QMDF) (m³/hora)	13,742
Largo (m)	4,000
Ancho (m)	3,000
Relación	1,333
Altura (m)	4,587
Borde Libre (m)	1,000
Altura Real (m)	5,587
Altura Real (m)	6

Fuente: Autores, 2017

Las especificaciones técnicas de las bombas se presentan en Anexo VI. Las bombas se deben controladas mediante un tablero electrónico y un breaker, que estará ubicado en un lugar protegido de la lluvia y agentes externos que puedan perjudicar su funcionamiento.

Para la activación de las bombas se requiere de dos flotadores que envíen una señal al tablero electrónico, el cual activará las bombas de manera alterna cuando cada uno alcance una altura de 1.5 metros. Cuando este se desocupe y el flotador regrese a su nivel mínimo, el tablero desactivará la bomba. Esta operación se repetirá cada vez que los flotadores lleguen a la altura mencionada. El tablero activará una bomba a la vez y las irá activando de manera alternada una cada vez que se llena el pozo.

11.2.2 Diseño Reactor anaeróbico flujo a pintón (RAP)

La eficiencia de los reactores anaerobios depende del material de soporte (VER Anexo VII), del sustrato bacteriano y su capacidad para degradar la materia orgánica; por lo tanto, el dimensionamiento del RAP depende de la carga orgánica a tratar, pues su longitud y altura varía con respecto a la eficiencia esperada. En la Tabla 12, se resumen los principales estándares de diseño del RAP aplicado al tratamiento de aguas residuales, con los cuales se pueden llegar a obtener eficiencias de remoción de DBO₅, DQO y SST de aproximadamente un 60%.

Como tratamiento biológico y enfoque de la investigación, se diseñó un Reactor Anaeróbico de Flujo a Pintón (RAP), utilizando soportes plásticos como medio de soporte y acompañado de un sedimentador secundario para la recolección y evacuación de lodos que pueden ser arrastrados por el reactor. Siendo la siguiente metodología para definir sus dimensiones:

11.2.2.1 Carga orgánica

Para determinar la carga orgánica se utilizó la DQO promedio obtenida.

$$L = Q * DQO$$

$$L = 13,5 \frac{m^3}{h} * 8497 \frac{mg}{L} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1Kg}{1000g} * \frac{24h}{1dia} = 2,75 \frac{KgDQO}{día}$$

11.2.2.2 Eficiencia de remoción de DQO

En los parámetros de la resolución 1207 de 2014 no se tiene en cuenta el valor de la DQO, sin embargo, este valor representa de manera directa las concentraciones de sólidos suspendidos que ocasionan el taponamiento de los aspersores. Se estableció una eficiencia de 80% de remoción de DQO (Metcalf & Eddy, 1995):

$$RDOQ = DQO * (1 - E)$$

$$RDOQ = 8669,83 \frac{mg}{L} * (1 - 0.83) = 1733,97 mg/L$$

Dónde:

RDQO= Remoción total de DQO por el sistema (mg/L)

DQO = DQO promedio (mg/L)

Para alcanzar dicha remoción cada cámara debe tener una eficiencia del 33%

Remoción cámara 1:

$$RDOQ1 = DQO - (DQO * E)$$

$$RDOQ1 = 8669.83 \frac{mg}{L} - (8669.83 \frac{mg}{L} * 0.33) = 5808,78 \text{ mg/L}$$

Remoción cámara 2:

$$RDOQ1 = DQO - (DQO * E)$$

$$RDOQ2 = 5808,78 \frac{mg}{L} - (5808,78 \frac{mg}{L} * 0.33) = 3891,88 \text{ mg/L}$$

Remoción cámara 3:

$$RDOQ1 = DQO - (DQO * E)$$

$$RDOQ3 = 3891,88 \frac{mg}{L} - \left(3891,88 \frac{mg}{L} * 0.41 \right) = 2607,56 \frac{mg}{L}$$

Remoción cámara 4:

$$RDOQ1 = DQO - (DQO * E)$$

$$RDOQ3 = 2607,56 \frac{mg}{L} - \left(2607,56 \frac{mg}{L} * 0.41 \right) = 1747,06 \frac{mg}{L} \cong 1733,97 \frac{mg}{L}$$

Dónde:

RDQO1= Remoción en la primera cámara

RDQO2= Remoción en la segunda cámara

RDQO3= Remoción en la tercera cámara

E= Eficiencia de remoción en cada cámara

11.2.2.3 Tiempo de retención en cada cámara

A partir de la ecuación de eficiencia para reactores anaerobios determinada por Haandel y Gatzaltinga (1994), se calculó el tiempo de retención para cada cámara.

$$E1\% = (1 - TRH^{-0.4}) * 100$$

$$TRH = \sqrt[{-0.4}]{1 - \frac{E}{100}} = \sqrt[{-0.4}]{1 - \frac{33\%}{100}} = 2,72 \text{ Horas}$$

Dónde:

TRH = Tiempo de retención hidráulico para cada cámara (h)

11.2.2.4 Volumen para cada cámara

$$V = Q * TRH$$

$$V = 13,7 \frac{m^3}{h} * 2,72 \text{ horas} = 37 m^3$$

Dónde:

V = volumen para cada cámara (m³)

Q = Caudal medio promedio (m³/h)

11.2.2.5 Altura total

Para cada cámara se asumió una altura del medio filtrante de 2 m con un borde libre de 0,3 m y un falso fondo de 0,2 m , obteniendo la altura total mediante la siguiente expresión:

$$Ht = Hmf + Bl + Ff$$

$$Ht = 2 + 0,3 + 0,2 = 2,5$$

Dónde:

Ht = Altura total (m)

Hmf = Altura del medio filtrante (m)

Bl = borde libre (m)

Ff= Falso fondo (m)

11.2.2.6 Área de cada cámara

$$A = \frac{V}{Hmf}$$

$$A = \frac{37 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} = 18,5 \text{ m}^2$$

Dónde:

A = Área de cada cámara (m²)

Hmf = Altura del medio filtrante (m)

11.2.2.7 Largo y ancho de cada cámara

Se consideró una relación largo: ancho de 3:1 en todo el reactor, con el fin de mantener la dispersión longitudinal en un valor mínimo. Teniendo en cuenta que son 4 cámaras, se terminó el largo y el ancho de cada cámara:

- Ancho

$$W = \frac{AT^{0.5}}{3}$$

$$W = \left(\frac{74}{3} \text{ m}^2\right)^{0.5} = 5 \text{ m}$$

- Largo

$$L = \frac{AT}{W}$$

$$L = \frac{74 \text{ m}^2}{5} = 14,8 \text{ m}$$

11.2.2.8 Largo efectivo total

$$L = \frac{L_t}{\text{No. decámaras}}$$

$$L = \frac{15 \text{ m}}{4 \text{ Cámaras}} = 3,7 \text{ m}$$

Dónde:

Lt = Largo efectivo total (m)

L = largo de cada cámara (m)

11.2.2.9 Carga volumétrica

Para cada cámara se parte de la carga contaminante que viene de la cámara anterior dividida por el volumen del medio filtrante en cada cámara, así:

$$Cv = \frac{Q * C}{V}$$

Dónde:

Q= Caudal (m³/d)

C= Concentración de DQO que entra a la cámara correspondiente (Kg/m³)

V= Volumen del medio de guadua (m³)

Cv = Carga volumétrica (kg DQO/m³*d)

- Carga volumétrica de la cámara 1

$$Cv1 = \frac{Q * C}{V}$$

$$Cv1 = \frac{13,7 \frac{m^3}{h} * 8669,83 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1Kg}{1000g} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{24h}{1día}}{37 m^3} = 77,04 \frac{Kg}{m^3 * día}$$

- Carga volumétrica de la cámara 2

$$Cv1 = \frac{Q * C}{V}$$

$$Cv1 = \frac{13,7 \frac{m^3}{h} * 5808,78 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1Kg}{1000g} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{24h}{1día}}{37 m^3} = 51,6 \frac{Kg}{m^3 * día}$$

- Carga volumétrica de la cámara 3

$$Cv1 = \frac{Q * C}{V}$$

$$Cv1 = \frac{13,7 \frac{m^3}{h} * 3891,88 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1Kg}{1000g} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{24h}{1día}}{37 m^3} = 34,5 \frac{Kg}{m^3 * día}$$

- Carga volumétrica de la cámara 4

$$Cv1 = \frac{Q * C}{V}$$

$$Cv1 = \frac{13,7 \frac{m^3}{h} * 2607,56 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1Kg}{1000g} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{24h}{1día}}{37 m^3} = 23,17 \frac{Kg}{m^3 * día}$$

11.2.2.10 Carga hidráulica cada cámara

$$So = \frac{Q}{A}$$

$$So = \frac{13,7 \frac{m^3}{h}}{18,5 m^2} = 0,74 \frac{m^3}{m^2 * h}, \text{ para caudal medio}$$

$$So = \frac{21,8 \frac{m^3}{h}}{18,5 m^2} = 1,17 \frac{m^3}{m^2 * h}, \text{ para caudal máximo}$$

11.2.3 Sedimentador secundario (RAP)

Para el diseño se utilizó las formulas propuestas por el autor Metcalf & Eddy (1995). En los cuales se establecen los parámetros mínimos para la construcción de los sedimentadores secundarios. En primer lugar, se tiene en cuenta el caudal de diseño promedio ya establecido con anterioridad, el cual es 13,7 m³/día.

11.2.3.1 Volumen del sedimentador

$$V = Q * TRH$$

$$V = 13,7 \frac{m^3}{h} * 2horas = 27,4 m^3$$

Dónde:

V = Volumen sedimentador secundario (m³)

Q = Caudal medio promedio (m³ / h)

TRH = El tiempo de retención hidráulica asumida (Metcalf & Eddy, 1995)

11.2.3.2 Área superficial del sedimentador secundario

$$A = \frac{Q}{S_o}$$

$$A = \frac{13,7 \frac{m^3}{h}}{0,5 \frac{m^3}{m^2 * h}} = 27,4 m^2$$

Dónde:

A= Área superficial del sedimentador secundario (m²)

Q = Caudal medio promedio (m³ /h)

So = Carga hidráulica (m³/m²*d), se asumió la carga hidráulica, la cual debe ser menor a 1m³/m²-h

11.2.3.3 Ancho y largo del sedimentador secundario

- Ancho: El ancho del sedimentador es el mismo que el ancho del RAP

$$W = 5 m$$

- Largo:

$$L = \frac{A}{W}$$

$$L = \frac{27,4 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} = 5,48 \text{ m}$$

Dónde:

A= Área superficial del sedimentador secundario (m²)

W= Ancho del sedimentador secundario (m)

11.2.3.4 Altura efectiva del sedimentador secundario

$$He = \frac{V}{A} = \frac{27,4 \text{ m}^3}{27,4 \text{ m}^2} = 1 \text{ m}$$

Dónde:

He= Altura efectiva del sedimentador secundario (m)

V = Volumen sedimentador secundario (m³)

A= Área superficial del sedimentador secundario (m²)

11.2.3.5 Altura total del sedimentador secundario

$$H = He + Bl$$

$$H = 1 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

Dónde:

H= Altura Total del sedimentador secundario (m)

He= Altura efectiva del sedimentador secundario (m)

Bl= Borde libre (m), se asumió

11.2.4 Estimación de lodos producidos por el reactor y diseño de lechos de secado

El manejo de lodos es uno de los componentes más importantes en la operación de una PTAR. Básicamente consiste en el espesamiento, la digestión (y/o estabilización) y la deshidratación, antes de efectuar la disposición final de los residuos.

La estimación de lodos producidos dentro del reactor, al igual que para el biogás obedece a la carga orgánica removida por éste y a la actividad microbiana lograda por las bacterias metanogénicas. Según experiencias similares cuando un reactor se encuentra estabilizado, del 10% al 12 % de la DQO removida, representa la producción de lodos en base seca. Como el reactor en estudio está en la etapa de arranque aún sin estabilizar se puede asumir un 5% de la DQO removida como el lodo producido en base seca, debido a que no es un reactor estabilizado. Como los lodos biológicos presentan un valor típico de humedad del 98 %, se puede decir que la fracción de DQO removida, que es convertida en lodo, es tan solo el 2% de la cantidad de lodo en base húmeda (Cubillos, 2006).

Tabla 17. Estimación de lodos generados

Parámetros	Unidades	Valor
DQO Entrada	mg/L	8669,83
DQO Salida	mg/L	1733,97
Caudal	m ³ /día	328,8
Carga orgánica a la entrada del reactor	Kg DQO/día	2850,64
Carga orgánica a la salida del reactor	Kg DQO/día	570,13
DQO removida	Kg DQO/día	2280,51
Densidad típica de lodos	kg/m ³	1080
Producción de lodos en base seca: Kg DQO removida/día*5%	Kg lodo/día	114,03
Producción de lodos en base húmeda: Kg lodo en base seca/2%	Kg lodo/día	5701,28
Volumen de lodos generado: Producción de lodos en base húmeda/densidad típica de lodo	m ³ /día	5,3

Fuente: Autores, 2017

En este proyecto se diseñaron dos lechos de secado para el manejo de los lodos residuales provenientes del sedimentador, teniendo en cuenta que están compuestos por sólidos y agua, por lo tanto, su función es deshidratarlos, disminuyendo al máximo su humedad.

11.2.4.1 Volumen de diseño

$$Vd = Pl. Húmeda * 7 * Psecado$$

Dónde:

Vd: Volumen de diseño, en m³

Pl. Húmeda: Producción de lodos base húmeda, en m³-lodo/día

P secado: Periodo de secado en semanas

$$Vd = 5,3 \frac{m^3}{día} * \frac{7días}{1semana} * 2 semanas = 74,2 m^3$$

11.2.4.2 Área del lecho

$$Alecho = \frac{Vd}{Pr. útil}$$

Dónde:

A lecho = Área del lecho, en m²

Vd = Volumen de diseño, en m³

Pr.útil = Profundidad Útil, en m

Entonces:

$$Alecho = \frac{74,2 m^3}{0,5 m} = 148,4 m^2$$

11.2.4.3 Largo del lecho

$$Ll = \frac{Alecho}{ACLecho}$$

Dónde:

LL = Largo del lecho, en m

A LECHO = Área del lecho, en m²

Ac LECHO = Ancho del lecho, en m

$$Ll = \frac{148,4 \text{ m}^2}{5\text{m}} = 29,68 \text{ m}$$

Tabla 18. Dimensionamiento lechos de secado

Parámetro	Unidad	Valor
PERIODO DE SECADO	Semana	2
PROFUNDIDAD ÚTIL	m	0,5
ANCHO DEL LECHO	m	5
ESPESOR DE ARENA	m	0,3
ESPESOR DE GRAVA	m	0,3
ESPESOR MEDIO DE SOPORTE	m	0,1
DIAMETRO DRENAJE	Pulg	4"
PENDIENTE FONDO EN CONCRETO	%	1,5
BORDE LIBRE	m	0,6
VOLUMEN DE DISEÑO	m ³	74,2
AREA DEL LECHO	m ²	148,4
LARGO DEL LECHO TOTAL	m	29,68
ALTURA TOTAL	m	1,8
Numero de lecho de secado	UN	3
LARGO DEL LECHO	m	9,89

Fuente: Autores, 2017

11.2.5 Sistema de filtración en arena

Cuando el agua sale de los sedimentadores puede contener aún partículas suspendidas que van desde tamaños relativamente grandes (1mm) hasta partículas de tamaño coloidal, además de bacterias y virus. El proceso que se utiliza para separar del agua dichas partículas es la filtración, que ocurre en dos etapas distintas pero complementarias, a saber:

- Transporte de partículas dentro de los poros, mecanismo físicas.
- Adherencia de ellas a los granos del medio filtrante, mecanismo químico.

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc.) empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo

ascendente o descendente; Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

La carga hidráulica está dada por la expresión:

$$S_o = \frac{Q}{A}$$

El área de filtración se calcula a partir de la carga hidráulica del sistema de filtración, recomendada por los autores Metcalf & Eddy, 1995:

$$A = \frac{13,7 \text{ m}^3/\text{h}}{15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{h}} = 0,92 \text{ m}^2$$

Donde

S_o = Carga hidráulica, ($\text{m}^3/\text{m}^2*\text{h}$)

Q = Caudal promedio ($\text{m}^3/\text{día}$)

A = Área de filtración (m^2)

Para la planta se implementarán dos filtros de arena de 30", como se expresa en la *Tabla 19*.

Tabla 19. Calculo de área de filtración

CALCULOS HIDRAULICOS			
Q Total / Flujo (m^3/h)	13,70	m^3/h	60,32 <i>gpm</i> 228 <i>lpm</i> 3,81 <i>lps</i>
SELECCIÓN DEL FILTRO			
Carga hidráulica	15	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$	Estimado
Área de Filtración	0,913	m^2	
$A = \pi r^2$			
Diámetro filtro en in	Conv. de in a m	Área filtrante m^2	3,141592654
30	0,762	0,45604	0,912073462
	Cant. Filtros	2	

Fuente: Autores, 2017

El lecho filtrante está constituido, para el caso de los filtros de las plantas de tratamiento de aguas, por un material granular de arena:

Tabla 20. Valores recomendados para filtros de arena

CARACTERISTICAS DEL LECHO	FILTRO
Material	Arena silicea
Espesor (m)	0,8-1,2
Tamaño efectivo (mm)	0,8-1,0
Coef. De Uniformidad	1,5-1,8
Pérdida de carga máxima (m)	1,5 mca

Fuente: (CERES, 2010)

11.2.6 Sistema de filtración en carbón activado

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

En el diseño de las columnas de CAG, los siguientes factores se toman principalmente en consideración: Tiempo de contacto en lecho vacío, carga hidráulica, profundidad del lecho y número de filtros. Los filtros de CAG se pueden diseñar como sistemas de flujo ascendente o descendente consistentes en uno o más recipientes en serie o en paralelo. Los principales parámetros de diseño se detallan a continuación.

$$TRH = \frac{V_f}{Q}$$

Dónde

V_f = Volumen del lecho de GAC (m^3)

Q = Caudal de diseño (m^3/h)

También puede expresarse como:

$$TRH = \frac{Lb}{Q/A}$$

Dónde:

Lb= Profundidad del lecho de GAC (m)

A= Área de la sección del lecho (m²)

Q/A = Carga hidráulica superficial (m³/m²*h)

Según La Universidad de Cataluña (Cataluña, 2015), un filtro de carbón activado que utiliza GAC, se encuentran típicamente en los rangos de 5-25 (m³/m²*h); por tanto se toma el mismo tamaño del filtro de arena calculado en el numeral anterior, dando como resultado la implementación de dos filtros de 30” cada uno (*Tabla 19*).

11.2.7 Desinfección con cloro

El efluente de las lagunas de oxidación cuenta con concentraciones de patógenos que la normatividad exige eliminar. Los sistemas de filtración en arena y carbón activado ayudan a la eliminación de estos patógenos por procesos biológicos y físicos tales como la adsorción y la absorción. Para apoyar esta eliminación se recomienda el uso de un sistema de fácil maniobra y que permite trabajar al caudal de diseño de la planta (13,7 m³/h). Se trata de un sistema de cloración por pastillas, el cual es ampliamente usado en el tratamiento de agua, y que gracias a su diseño hermético y de fácil acceso, es una buena opción para este tipo de sistemas.

A continuación, se describe de manera específica el sistema que se recomienda implementar, el cual es un *Clorinador Rainbow 300 o similar de pastillas para 2 libras*.

Fabricado en plástico ABS, resistente a la corrosión.

- No requiere de ventilación especial.
- Herméticamente cerrado, sin peligro de fuga de gases.
- Para uso con tabletas de Hipoclorito de Calcio al 70% de 3” y de 1”.
- Capacidad de cloración máxima, 25 m³/h con una temperatura del agua de 27° – 30°C para alcanzar una concentración de 3ppm.
- Cupo máximo de tabletas de 1”, 98 unidades.

12 POSIBLES EFECTOS GENERADOS EN LA PROPIEDADES DEL SUELO POR EL RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA

Los cultivos de palma africana, presentan algunas condiciones particulares en cuanto a suelos se refiere, ya que dichos cultivos se pueden desarrollar en suelos moderadamente ácidos para los cuales el pH oscila en valores como 4,5 y 7,5; los suelos que presentan estos valores de pH suelen tener deficiencias en elementos nutricionales como lo son el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y boro, por lo cual se hace necesario un manejo adecuado de fertilizantes que permitan suplir y alcanzar los requerimientos nutricionales específicos del cultivo (Regalado, 2009).

En cuanto a características granulométricas, se hace favorable el crecimiento de la planta en suelos limosos profundos y franco arcillosos, teniendo en cuenta que suelos con texturas extremas como las arcillas y las arenas presentan problemas de drenaje y retención de humedad, afectando así el lavado y la lixiviación de nutrientes presentes en el suelo; por lo tanto los suelos óptimos para el cultivo de la palma africana, son suelos profundos con buen drenaje, de textura ligeramente arcillosa, con buen contenido en materia orgánica, topografía de plana a ligeramente ondulada con pendientes inferiores al 2% y con un nivel de fertilidad de medio a alto.

La palma africana se desarrolla de forma adecuada en medios porosos, con suficiente capacidad de saturación de humedad, que permitan, además de un buen desarrollo radical, soportar cortos períodos de sequía, sin disminuir su producción (INFOAGRO, 2017).

En cuanto a las características de los suelos presentes en la zona de estudio ubicados en los predios de Hacienda La Cabaña en el municipio de Cumaral meta, se encuentran en su mayoría suelos de tipo franco-arcilloso seguidos en menor proporción por arenas, arcillas y algunos conglomerados, con un pH aproximado de 7,5; A continuación se muestra una tabla con análisis foliares de una de las parcelas elegidas al azar compuesta de 20 sub muestras posteriormente homogenizadas, en donde los valores nutricionales obtenidos son:

Tabla 21. Análisis de suelo Hacienda La Cabaña

Parámetro	Base seca	Base húmeda
Humedad (%)		99,8
PH	7,25	7,25
Conductividad Eléctrica (dS/m)	6,23	6,23
Carbono Orgánico (%)	0,07	0,00
Nitrógeno	2,30	0,005
Fosforo	2,84	0,007
Potasio	27,46	0,063
Calcio	0,69	0,002
Magnesio	13,65	0,031
Azufre	0,39	0,001
Boro	N.D	N.D.
Hierro	409	0,94
Cobre	14,5	0,03
Manganeso	192,6	0,44
Zinc	12,5	0,03
Relación C/N	0,03	0,03

Fuente: LAFS/CENIPALMA, 2017

Los requerimientos nutricionales básicos para el óptimo desarrollo de los cultivos de palma africana varían según la edad de la planta para las cuales en el primer y tercer año se hacen bajas y para el cuarto y octavo año aumentan debido al crecimiento y al inicio de la producción de fruto, a continuación, se muestran los requerimientos nutricionales desde la siembra de la plántula hasta los 15 años de edad de la planta:

Tabla 22. Requerimientos nutricionales según los años de la planta

AÑOS	Kg/ha/año					
	N	P	K	Mg	Ca	S
0-1	97	8,0	13,6	2,4	1,9	1,7
1-2	72,8	8,5	138,0	20,0	21,6	11,3
2-3	83,8	9,6	197,8	19,9	20,7	17,2
3-5	110,3	13,2	219,2	18,7	21,5	29,2
5-7	115,1	12,8	173,5	13,0	16,9	25,9

7-15	130,0	13,3	155,3	12,9	19,4	29,3
Total	521,7	65,5	897,3	86,9	10,0	114,5

Fuente: (COAPALMA, 2013)

Los aportes de los elementos primarios el nitrógeno, fósforo, magnesio, boro, calcio y azufre tienen las siguientes incidencias en el desarrollo de las plantas:

Nitrógeno (N)

Es esencial para el crecimiento de la planta especialmente en el desarrollo de follaje, también participa en la fotosíntesis que es la forma por la cual las plantas adquieren energía.

Fósforo (P)

Esencial para el crecimiento de la raíz durante el establecimiento y las primeras etapas de la plantación.

Potasio (K)

Participa en el crecimiento de la planta, sobre todo los frutos. Controla la apertura y cierre de los estomas (poros de la planta) por lo que controla el agua en la planta, contrarresta condiciones de sequía. Es un factor nutricional importante para mayor rendimiento su carencia resulta en fruto vano (Vacío) y quebradura de tallos con vientos fuertes, también ayuda en la resistencia a enfermedades.

Magnesio (Mg)

El elemento central en la fotosíntesis y respiración de la planta. Es importante para que la planta absorba la energía solar.

Boro (B)

Participa en el crecimiento, maduración y elongación de la planta, en ausencia de boro el crecimiento decrece.

Calcio (Ca)

Interviene en la elongación de las células en los tallos, puntos de crecimiento y puntos de crecimiento radicular. La descomposición de las flores, follaje, frutas y vegetales en la postcosecha depende del calcio.

Azufre (S)

Estimula la producción de semillas. Ayuda a la planta a soportar temperaturas bajas. Es importante en la formación de vitaminas para la planta.

Fuente: (COAPALMA, 2013)

Las condiciones y la frecuencia de riego juegan un papel importante en cuanto al desarrollo y optimización del cultivo se refiere, ya que criterios como el volumen y la calidad de agua para riego deben ser tenidos en cuenta, debido a que la acumulación de sales solubles y exceso de sodio intercambiable reducen la productividad agrícola.

12.1 Planificación y manejo del riego y drenaje en una plantación de palma africana

Según Pabón, 2006, en las plantaciones de palma africana las prácticas de riego con aguas residuales tratadas son nuevas y no se han difundido extensivamente, además de consideraciones como las provisiones de lluvia y la administración de insumos agronómicos como los fertilizantes, los cuales aún no han sido comparados con el rendimiento o la calidad productiva de la palma cosechada, a esto se suma que aún no se encuentran estudios específicos o en detalle realizados en diversas plantaciones en cuanto a las ventajas o desventajas del riego con dicha agua. Sin embargo el centro de investigación palmero a nivel nacional CENIPALMA, está desarrollando las investigaciones correspondientes a una nueva alternativa de reúso de agua residual proveniente de las plantas de beneficio para riego en cultivo.

La más reciente investigación desarrollada por July Marley Buitrago Barbosa en el año 2016, la cual busca evaluar los residuos líquidos agroindustriales de la palma sobre las propiedades químicas de un suelo de uso agrícola en la plantación Extractora Central S.A ubicada en el municipio de Puerto Wilches Santander; El efluente utilizado es el producto obtenido de la reducción y estabilización de su carga orgánica a través de procesos microbiológicos en lagunas de oxidación, de las cuales se obtienen los siguientes parámetros:

Tabla 23. Análisis de agua residual para aplicación en cultivo

Parámetro	Rango
Ph	7,73
Temperatura (°C)	32,8
Conductividad (mS/cm)	7,64
Sólidos sedimentables (ml/L)	<0,1
DBO₅ (mg/L O₂)	253
DQO (mg/L O₂)	1.753
SST(mg/L)	467
Grasas y aceites (mg/L)	<10
Acidez total (mg/L CaCO₃)	<5
Alcalinidad total (mg/L CaCO₃)	2.730
Tensoactivos (mg/L MBAS)	<0,2
Nitrógeno amoniacal (mg/L N-NH₃)	79
Nitrógeno total (mg/L N)	515,2
Fósforo total (mg/L P)	12,1
Cadmio (mg/L Cd)	<0,033
Plomo (mg/L Pb)	<0,21
Dureza total (mg/L CaCO₃)	1.205
Dureza cálcica (mg/L CaCO₃)	385
Cloruros (mg/L Cl⁻)	902
Sulfatos (mg/L SO₄)	13,75
Ortofosfatos (mg/L P)	4,6
Nitratos (mg NO₃-N/L)	1,6
Nitritos (mg NO₂-N/L)	<0,005
Arsénico (µg As /L)	<0,64
Cinc total (mg Zn/L)	0,0764
Níquel total (mg Ni/L)	0,03

Fuente: (ExtractoraCentral, 2015)

Teniendo en cuenta los datos obtenidos a la salida de las lagunas de oxidación y haciendo una relación con los parámetros y límites permisibles establecidos por la norma de reúso 1207 del 2014, en el artículo 6 donde se establecen los usos para agua residual tratada para cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos. En el caso de la planta extractora central se infringe la norma en algunos casos como lo son los cloruros, esto es mencionado no solo por temas de legislación ambiental ya que a su vez es probable que existan cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo que estén directamente ligados en los rangos de dichos parámetros.

En la investigación se desarrollaron muestreos de suelo en dos lotes seleccionadas al azar para los cuales se tuvo una frecuencia de riego semanal dada por 6 aplicaciones, posteriormente se realizó la toma de la muestra a los dos días siguientes de cada aplicación, teniendo en cuenta la precipitación en la época y el lugar del muestro.

En total se tomaron diez sub-muestras en zigzag a fin de cubrir la mayor área de estudio; estas fueron tomadas a 20cm de profundidad, antes limpiando la cobertura superficial del suelo y dejando una franja aproximada de 3cm en el centro, descartando el material sobrante. De esta forma las 10 sub-muestras son recolectadas individualmente en bolsas y posteriormente llevadas a un balde para su homogenización, se procede a tomar 1 Kg de la misma, la cual es empacada y rotulada, para su posterior envío al laboratorio. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24. Análisis de suelo antes de la aplicación

Composición	Resultado	Lote	Resultado	Lote
	N°1		N°2	
pH		6,2		4,6
MO (%)		1,36		1,29
N (mg N/Kg)		0,33		0,55
P (ppm)		39,4		3,06
K (meq/100g)		0,05		0,01
Ca (meq/100g)		2,3		0,29
Mg (meq/100g)		0,71		0,03
S (ppm)		3,61		3,95

Fuente: (Buitrago, 2016)

Para los requerimientos nutricionales de la planta, existen variaciones de los mismos dependiendo de la edad de la misma, es decir que en épocas jóvenes los requerimientos son menores que en épocas entre los 4 y 8 años de maduración; por ende, las variaciones y las necesidades de nutrientes básicos en el suelo estarían ligados a la edad de la planta en la que se realiza el riego.

Por medio de la realización del estudio se plantea una hipótesis en cuanto al comportamiento del suelo con la aplicación del efluente de la planta de beneficio, ya que pueden existir variaciones de diferentes parámetros dependiendo de la granulometría del suelo, las variables de respuesta más notorias son la retención de nutrientes y sales, las cuales fueron mayor en el lote N°1 con textura franco arenosa con respecto al lote N° 2 con textura arenosa.

Los datos encontrados para cada uno de los macro y micro nutrientes por medio de la correlación lineal, mostraron un cambio significativo en los nutrientes esenciales para el cultivo como los son N, K, P, ya que estos tuvieron mayor fluctuación que los elementos como Mg, Ca, S.

En cuanto a la salinidad de los suelos se evidencio que esta es baja, debido a la precipitación de la zona y a la solubilidad de las sales dependiendo de la textura de los suelos, por percolación o lixiviación teniendo en cuenta factores adicionales como la porosidad del suelo de cada lote.

Los datos obtenidos en dicho estudio pueden estar sujetos a variaciones como ya se mencionó anteriormente ligadas al comportamiento del suelo en cada lote y a factores externos como la climatología y las condiciones ambientales de la zona de estudio; a continuación, se muestra la tabla con los rangos correspondientes antes y después de la aplicación en cada uno de los lotes.

Tabla 25. Valores obtenidos antes y después de la aplicación en lote No.01

DESCRIPCION LOTE N° 1 :suelo arenoso – franco con una composición del 86% arena, 12% limo y 2% arcilla			
Antes de la aplicación	Rango	Después de la aplicación	Rango
pH	6,2	pH	8,20
MO (%)	1,36	MO (%)	2,05
N (mg N/Kg)	0,33	N (mg N/Kg)	0,5
P (ppm)	39,4	P (ppm)	153
K (meq/100g)	0,05	K (meq/100g)	1,3
Ca (meq/100g)	2,3	Ca (meq/100g)	4,4
Mg (meq/100g)	0,71	Mg (meq/100g)	2,3
S (ppm)	3,61	S (ppm)	9,8

Fuente: (Buitrago, 2016)

Por medio de los valores mostrado anteriormente se evidencia un aumento significativo en todos las variables tomadas en consideración , dentro de las cuales se tienen los nutrientes requeridos para el óptimo desarrollo de la palma, en cuanto a los valores de pH se nota un aumento en la alcalinidad del suelo , a pesar de que la palma se puede desarrollar en suelos ligeramente ácidos, el valor obtenido en pH de 8,20 después del riego puede llegar a ser perjudicial debido a su aumento de alcalinidad ya que los valores estándar de desarrollo se encuentran entre los 4,5 y los 7,5 .

Tabla 26. Valores obtenidos antes y después de la aplicación en lote No.02

DESCRIPCION LOTE N° 2: suelo arenoso con: 94% arena, 4% limo y 2% arcilla.			
Antes de la aplicación	Rango	Después de la aplicación	Rango
pH	4,6	pH	8,5
MO (%)	1,29	MO (%)	1,91
N (mg N/Kg)	0,55	N (mg N/Kg)	0,66
P (ppm)	3,06	P (ppm)	400
K (meq/100g)	0,01	K (meq/100g)	1,6
Ca (meq/100g)	0,29	Ca (meq/100g)	12,1
Mg (meq/100g)	0,03	Mg (meq/100g)	2,52
S (ppm)	3,95	S (ppm)	15,2

Fuente: (Buitrago, 2016)

Con respecto a los valores presentados anteriormente se ve un aumento significativo tanto en nutrientes como el calcio, y el azufre en mayor cantidad con respecto a los demás nutrientes tomados en cuenta, la aplicación del efluente en cultivo dependerá no solo de la cantidad y frecuencia de riego ya que el aumento en dichos parámetros van directamente ligados a los altos contenidos de materia orgánica en los efluentes de las plantas extractoras, en la industria palmera se han implementado diversas prácticas de reúso de residuos orgánicos aplicados directamente en el cultivo, esto surge a partir de la necesidad de minimizar los impactos generados por la actividad y por los altos contenidos en cuanto a fertilizantes requeridos por la planta en sus diferentes etapas, generando economía en cuanto a las metodologías existentes de fertirriego.

Con los resultados experimentales y los requerimientos de suelos para los cultivos de palma se puede observar que dicho riego es beneficioso para el cultivo, aunque como ya se ha mencionado con anterioridad esto depende del tipo de suelo en donde se realice el mismo, y el factor de más incidencia a tener en cuenta es el pH del mismo ya que en el experimento se evidenció un aumento significativo de alcalinidad del mismo, de igual manera según las prácticas y manuales para cultivos de aceite de palma debido a la longevidad de la *Elaeis guineensis* se hace necesario tener un tiempo de riego al menos de dos años, con el fin de saber la eficiencia del riego en temas de productividad y calidad del aceite extraído posteriormente.

El aporte de materia orgánica, proveniente de los efluentes aporta las siguientes características al suelo (Atanacio, 2009):

- Incrementa la capacidad de retención de agua del suelo.
- Aumenta la permeabilidad y disminuye el riesgo de encharcamiento.
- Aumenta la estabilidad estructural, de los horizontes superficiales y agregados.
- Regula el pH del suelo, amortiguando variaciones de dicho pH y mejorando su estabilidad química.
- Aumenta la fertilidad química del suelo, aumentando la CIC y actuando como reserva de nutrientes.
- Favorece el buen estado sanitario de las raíces, activando así desarrollo y crecimiento de las mismas.
- Estimula la diversidad de los organismos beneficiosos del suelo y regula la actividad microbiana.
- Aporta reguladores para la mejora del crecimiento vegetal.
- Modera las temperaturas extremas del suelo.

Los efluentes también cuentan con características que actúan como mejoradores en los suelos ya que ayudan a conservar la humedad, aportan nutrientes y estimulan la actividad microbiana.

Debido a esto los efluentes son considerados como un recurso alternativo para la nutrición del cultivo y como fuente importante para la conservación del medio ambiente.

La caracterización de las aguas residuales tratadas en Hacienda la Cabaña para reusó en riego demostraron orgánicos disueltos, los cuales inducen cambios significativos en el movimiento del agua en comparación con el riego realizado con aguas dulces naturales.

Los efluentes de la planta extractora de Hacienda La Cabaña tienen un alto contenido de nutrientes como N (Nitrógeno), P (Fosforo), K (Potasio), Mg (Magnesio) Ca (Calcio) y S (Azufre) lo que hace que este sea una fuente interesante para su uso como fertilizante orgánico.

Partiendo de los análisis de laboratorio realizados al efluente de la planta extractora realizados en el año 2016, se realiza una estimación de los aportes teniendo en cuenta las cantidades de fruta procesada y por ende el volumen generado durante el proceso.

Tabla 27. Resultado del análisis de muestra de efluentes de planta extractora Hacienda la Cabaña para el año 2016.

consumo promedio agua por /TM de fruto														
Uso m3/TM	0,8													
		total año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Produccion/TM fruto		126.926	10.087	10.430	12.853	15.573	12.377	11.217	9.877	9.355	8.362	9.251	8.847	8.697
Volumen de afluente total mes		101.541	8.070	8.344	10.282	12.458	9.902	8.974	7.902	7.484	6.690	7.401	7.078	6.958
		g/L	KG TOTAL / AÑO	APORTES TOTALES EN KILOGRAMOS FUENTE EFLUENTES DE PLANTA										
Nitrogeno	0,4	40.616	3.228	3.338	4.113	4.983	3.961	3.589	3.161	2.994	2.676	2.960	2.831	2.783
fosforo	0,12	14.444	3.228	1.001	1.234	1.495	1.188	1.077	948	898	803	888	849	835
potasio	0,9	91.387	7.263	7.510	9.254	11.213	8.911	8.076	7.111	6.736	6.021	6.661	6.370	6.262
calcio	0,2	20.308	1.614	1.669	2.056	2.492	1.980	1.795	1.580	1.497	1.338	1.480	1.416	1.392
magnesio	0,1	12.575	3.228	834	1.028	1.246	990	897	790	748	669	740	708	696
azufre	0,5	49.963	3.228	4.172	5.141	6.229	4.951	4.487	3.951	3.742	3.345	3.700	3.539	3.479

Fuente: Hacienda la cabaña, 2017

Con base en los datos obtenidos en la tabla mostrada anteriormente y a partir de los estudios realizados por Múnevar, para fertilización de la palma y la obtención de altos rendimientos, se calcularon las cantidades de nutrientes requeridos para la producción de una de tonelada de fruto y se establecieron los requerimientos totales con base en las áreas sembradas y el promedio de producción anual de fruto (Munevar, 2001)

Tabla 28 Cálculo del requerimiento nutricional para la producción de una Tonelada de fruta.

Produccion Promedio TM Ha/año	20													
Hectareas en producción	2200													
Total toneladas año	44000													
Distribución anual de cosecha		8%	8%	10%	12%	10%	9%	8%	7%	7%	7%	7%	7%	
produccion Promedio TM finca/mes		3497	3616	4456	5399	4291	3888	3424	3243	2899	3207	3067	3015	
Requerimientos Kg/TM	Kg / TM	KG AÑO TOTAL	REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES TOTAL LA CABAÑA AÑO EN KILOGRAMOS											
Nitrogeno	4,85	213.400	16.959	17.536	21.610	26.183	20.809	18.859	16.606	15.729	14.059	15.554	14.874	14.622
Fosforo	0,64	28.160	2.238	2.314	2.852	3.455	2.746	2.489	2.191	2.076	1.855	2.052	1.963	1.930
Potasio	8,25	363.000	28.848	29.829	36.759	44.538	35.397	32.080	28.248	26.755	23.915	26.457	25.302	24.873
Calcio	1,33	58.520	4.651	4.809	5.926	7.180	5.706	5.172	4.554	4.313	3.855	4.265	4.079	4.010
Magnesio	1,48	65.120	5.175	5.351	6.594	7.990	6.350	5.755	5.067	4.800	4.290	4.746	4.539	4.462
Boro	0,011	488	39	40	49	60	48	43	38	36	32	36	34	33
Cobre	0,012	541	43	44	55	66	53	48	42	40	36	39	38	37
Zinc	0,025	1.117	89	92	113	137	109	99	87	82	74	81	78	77
Manganeso	0,184	8.079	642	664	818	991	788	714	629	595	532	589	563	554
total		738.425												

Fuente: Hacienda la cabaña,2017

Con la información mostrada anteriormente, se puede evidenciar que el efluente proveniente de la planta extracción puede realizar aportes nutricionales significativos, lo que conlleva a un ahorro importante en cuanto al uso de fertilizantes convencionales y así disminuir los impactos ambientales generados durante el proceso de producción del aceite de palma.

En la siguiente tabla por medio de los análisis obtenidos por Hacienda la Cabaña se calcularon los porcentajes nutricionales del efluente provenientes de las lagunas de oxidación, para así tener un conocimiento acerca de lo que puede aportar en el cultivo, de igual manera esos valores pueden tener unas variaciones mínimas después del tratamiento propuesto, dentro de los cuales se observa que el fosforo es un elemento que puede cubrir un alto porcentaje del requerimiento de la plantación.

Tabla 29. Aportes nutricionales del efluente al cultivo

NUTRIENTE	REQUERIMIENTO FINCA AÑO (Kg)	APORTE TOTAL EFLUENTE (Kg)	APORTE AL REQUERIMIENTO	FALTANTE POR APORTAR (Kg)
Nitrógeno	213,400	40,616	19%	172,784

Fosforo	28,160	14,444	51%	13,716
Potasio	363.000	91,387	25%	271,613
Calcio	65.120	12,575	19%	52,545
Magnesio	58.520	20,308	35%	38,212
Boro	488		0%	488
Cobre	541		0%	541
Zinc	1,117	-	0%	1,117
Manganeso	8,079	-	0%	8,079
Total	738,425	179,331	24%	559,094

Fuente: Autores, 2017

Se puede decir que el riego con efluentes tratados es beneficioso para el cultivo, no solo por aporte nutricional si no por su aporte en cuanto a la disminución de fertilizantes, trayendo consigo una ventaja económica en cuanto a las técnicas de fertirriego en la plantación aportando un ahorro aproximadamente del 24% en implementación de los mismos.

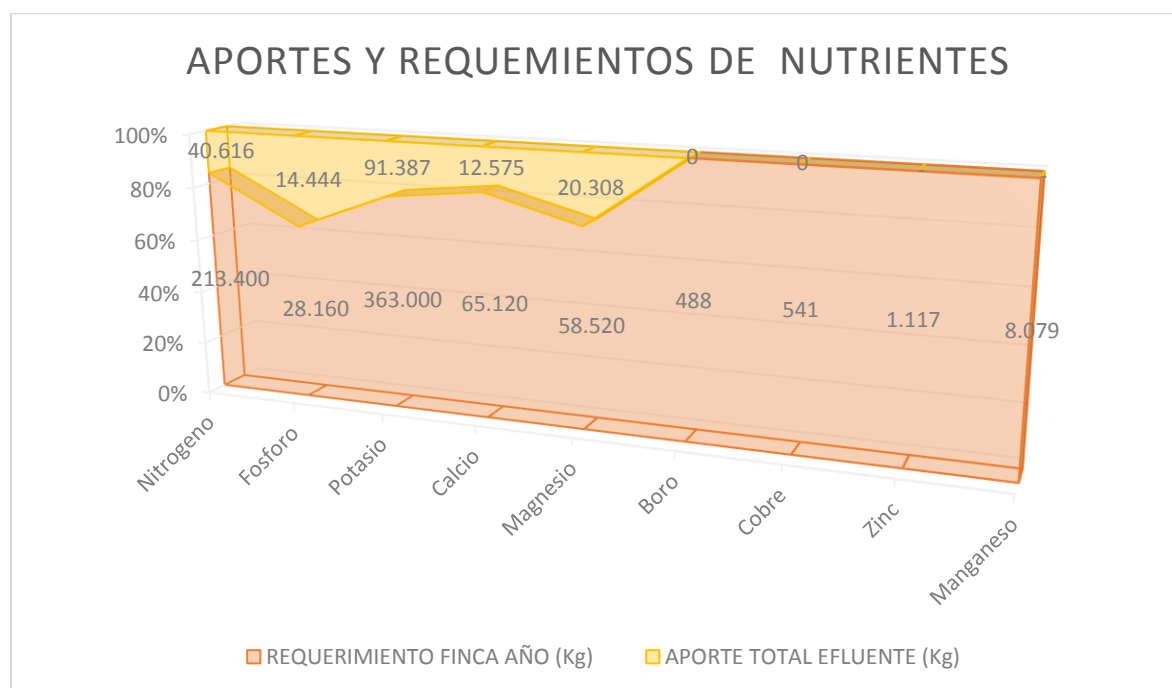


Figura 16. Aportes y requerimientos de nutrientes.

Fuente: Autores, 2017

Dentro de los datos experimentales se deben tener en cuenta las variaciones significativas en cuanto a pH, ya que se evidencio un aumento en la alcalinidad y este es un factor a considerar

ya que las plantas de palma africana toleran suelos ligeramente ácidos y se desarrollan de manera óptima en pH que oscilen en el rango de 4,5 y 7,5.

De igual manera factores como la utilización de otro tipo de residuos orgánicos producto del proceso de extracción, como para el caso de la cabaña en donde se reutiliza la tusa, los lodos tratados, la ceniza y las hojas de palma como aporte nutricional en cultivo, los cuales pueden generar cambios significativos en la aplicación del efluente, contando con factores climáticos y de frecuencias de riego en los mismos.

12.2 Criterios de calidad de aguas para riego con efluentes tratados.

Teniendo en cuenta las necesidades hídricas de los cultivos se buscan alternativas de ahorro del mismo, por lo que los sectores agrícolas plantean el riego en cultivo con efluentes tratados como una de las alternativas de ahorro a nivel económico y ambiental.

La FAO como uno de los mayores organismos especializados en cuanto a la seguridad alimentaria y mejora de la productividad agrícola, presenta una guía en cuanto a aguas para riego con efluentes tratados ; en la cual se estipulan ciertas características y criterios en cuanto a la calidad del efluente , con el fin de mantener la mayor productividad en cultivo y los parámetros necesarios que garanticen la seguridad alimentaria, siendo en el caso de estudio cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos y químicos como lo es la extracción de aceite proveniente de la palma africana.

Con el fin de evaluar ciertos parámetros de calidad agrícola del agua se realiza el cálculo de la relación de absorción de sodio(RAS), ya que dicho parámetro puede ocasionar cambios fisicoquímicos en el suelo, particularmente en la estructura puesto que tiene la capacidad de dispersar el mismo y dicha dispersión afecta las tasas de infiltración de agua y aire en el suelo, causando cortezas que presentan dificultades para cultivar e interfieren en la germinación y el crecimiento de las plántulas. (FAO, 1992) Debido a lo anteriormente mencionado el agua de riego

puede ser una fuente generadora de excesos de sodio en el suelo; a continuación, se realiza el cálculo del RAS del cual se obtiene:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}}$$

Reemplazando los valores obtenidos del efluente proveniente de la planta extractora se obtiene:

$$RAS = \frac{1,38}{\frac{\sqrt{5,29+16,07}}{2}} = 0,59 \text{ meq/L}$$

Según la guía de tratamiento y uso de aguas residuales en la agricultura emitida por la FAO, se obtienen los siguientes valores en cuanto al RAS y su grado de restricción en el uso:

Tabla 30. Valores RAS y su grado de restricción

PROBLEMA DE RIEGO POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN EN EL USO		
Infiltración		Ninguna	Ligero a Moderado	Grave
	Meq/L			
		> 0,7	0,7 - 0,2	<0,2
RAS				

Fuente: (FAO, 1992)

Partiendo del valor obtenido anteriormente para la relación de absorción de sodio el cual fue de 0,59 meq/L, por lo cual no se presentan restricciones, este valor como se mencionó anteriormente infiere en la infiltración del suelo, generando problemas en la emergencia de las plántulas.

En cuanto a los metales presentes en el efluente se obtienen valores muy bajos en términos de elementos como: cobre, cobalto, cromo, hierro mercurio, molibdeno, níquel, plomo y zinc, para los cuales se presentan las siguientes concentraciones:

Tabla 31. Concentración de metales en el efluente.

METALES	CONCENTRACION (mg/L)
Cobre	<0,5
Cobalto	<0,5
Cromo	<0,1
Hierro	1,0
Mercurio	<0,00027
Molibdeno	<0,0029
Níquel	<0,15
Plomo	<0,25
Zinc	0,20

Fuente: Caracterización de aguas residuales Hacienda La Cabaña

Debido a la naturaleza de los procesos de extracción de aceite de palma africana, se encuentra mayor contenido de materia orgánica y de nutrientes, es por ello que los niveles de metales encontrados en el efluente de este tipo de industria están en rangos muy bajos, por lo cual no se relaciona un impacto significativo en cuanto a contaminación en suelos por presencia de los mismos.

Acontinuacion se muestra una trabla con los valores umbrales de elementos para la produccion de cultivos y la incidencia de estos:

Tabla 32. Valores umbrales de los elementos para la producción de cultivos y su incidencia.

ELEMENTO	CONCENTRACION(mg/L)	POSIBLES IMPACTOS
Cobre	0,20	Tóxico para un número de plantas de 0,1 a 1,0 mg / l en soluciones nutritivas.
Cobalto	0,05	Tóxico para las plantas de tomate a 0,1 mg / l en solución nutritiva. Tiende a ser inactivado por suelos neutros y alcalinos.
Cromo	0,10	No se reconoce generalmente como elemento esencial del crecimiento. Se recomiendan límites conservadores debido a la falta de conocimiento sobre su toxicidad para las plantas.
Hierro	5,0	No es tóxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y pérdida de disponibilidad de fósforo esencial y molibdeno
Molibdeno	0,01	No es tóxico para las plantas a concentraciones normales en el suelo y el agua. Puede ser tóxico para el ganado si el forraje se cultiva en suelos con altas concentraciones de molibdeno disponible.

Níquel	0,20	Tóxico para un número de plantas de 0,5 mg / l a 1,0 mg / l; Toxicidad reducida a pH neutro o alcalino.
Zinc	2,0	Tóxico para muchas plantas en concentraciones muy variadas; Toxicidad reducida a pH > 6,0 y en suelos de textura fina u orgánicos.

Fuente: (FAO, 1992)

El porte nutricional de macro y micro elementos en los cultivos es de vital importancia para el crecimiento y producción de los mismos, dentro de estos encontramos los nutrientes esenciales como el nitrógeno, fosforo y potasio los cuales permiten el desarrollo de la fotosíntesis en las plantas.

13 FASE III. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Una vez se ha establecido la propuesta de tratamiento de agua para reúso en el cultivo de aceite de palma, se finaliza con evaluar las posibles alternativas a implementar de acuerdo con los resultados obtenidos. En apartados anteriores, se hace hincapié en la factibilidad técnica de la implementación de dicho sistema, el cual cumple con la normatividad legal vigente con relación a los criterios de calidad para reúso. Sin embargo, para la formulación y evaluación de proyectos, es de vital importancia tener en cuenta el marco financiero, y así lo afirma el autor Córdoba, 2011, el cual afirma que en el marco financiero se especifican las necesidades de recursos a invertir, con detalles de las cantidades de los items necesarios, permitiendo establecer los recursos que demanda el proyecto, y así lograr determinar una factibilidad económica.

También establece, que la rentabilidad que se estime para cualquier proyecto dependerá de la magnitud de los beneficios netos que la empresa obtenga a cambio de la inversión realizada en su implementación, serán estos obtenidos mediante ingresos, mediante la creación de valor a los activos, o mediante la reducción de costos. En este orden de ideas, en esta fase del proyecto se presenta la evaluación económica de la implementación del sistema de tratamiento y la evaluación

economica de la optimización de las lagunas presentes en Hacienda La Cabaña, las cuales serviran como punto de partida para la toma de desiciones en terminos ingenieriles y financieros.

13.1 Evaluación de alternativa de implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la evaluación económica que concierne a la implementación de la planta de tratamiento, se detallaron los insumos y recursos necesarios para llevar a cabo la ejecución de las unidades propuestas, por medio de dicha evaluación se tendrán presentes y de manera clara los costos generados en la implementación del proyecto, mostrando a la empresa Hacienda la cabaña el monto total de la inversión generada.

Esto se realiza con el fin de establecerlos costos que conlleva la ejecución de este proyecto, y basados en los recursos con los cuales dispone la empresa, se plantea la ejecución. Por tanto, la relación de costos presentado se convierte en una herramienta para la compañía de gran relevancia.

En el anexo VIII se detallan los requerimientos tanto en materiales, insumos y mano de obra requeridos para la implementación del sistema de tratamiento propuesto; vale la pena aclarar que dicho sistema le permitirá no solamente cumplir con los parámetros establecidos por la resolución 1207 de 2014 para reúso en cultivo, permitiendo generar un ahorro en gastos de mantenimiento del sistema de riego existente el cual es por aspersión, ya que existen problemas de taponamiento en el mismo lo cual conlleva a buscar alternativas que generan costos adicionales para poder suplir las necesidades hídricas de los cultivos.

En cuanto al valor total de la realización del proyecto se obtuvo que el costo de la inversión inicial será de \$198.720.892 pesos M/CTE; dicho valor se aplica específicamente para las condiciones propuestas para el sistema de tratamiento de los efluentes generados en la planta de extracción de aceite de Hacienda La Cabaña.

Hacienda la cabaña es una de las empresas pioneras en el sector palmero y por ende sus niveles de producción son altos, lo cual conlleva a una relación costo beneficio alta en cuanto a ingresos generados por la comercialización de aceite, ya que esta empresa cuenta con clientes multinacionales como: Unilever, BioD, Colgate, Palmolive, fritolay, entre otros; la empresa cuenta

con los recursos necesarios para la implementación del proyecto y mejorar algunos de los factores existentes generando ahorros significativos en cuanto a uso eficiente del recurso agua e incluso de la energía.

13.2 Evaluación de alternativa de optimización de la laguna de oxidación existente.

Con la realización de proyectos de impacto ambiental , se busca dar las posibles soluciones a las problemáticas ambientales generadas y así mitigar los impactos ocasionados por las diversas actividades de tipo industrial; aplicadas al caso de estudio como lo es la extracción de aceite de palma, deberán ser tenidos en cuenta no solo los factores ambientales sino que a su vez se debe realizar un análisis y tener de manera clara los montos económicos que acarreen la implementación de proyectos, ya que el éxito de los mismo se ve reflejado en la inversión que realiza la empresa para ejecutar las alternativas planteadas.

Hacienda La Cabaña actualmente cuenta con un sistema de pre tratamiento denominado lagunas de oxidación anaerobia, la cual como se manifiesto en su funcionamiento utiliza la materia orgánica como alimento para un conjunto de microorganismos anaerobios estrictos que en el mejor de los casos está compuesto por colonias de microorganismo metanogénicos, los cuales de su metabolismo generan biogás como producto. La alternativa propuesta en cuanto al carpado de las lagunas presentes en la empresa se realiza debido a que se debe buscar la optimización de los procesos o de las herramientas existentes con el fin de disminuir los costos ligados al proyecto, ya que no sería viable económicamente hablando proponer el diseño de otras lagunas o cambiar la estructura existente de las mismas ya que se generaría un gasto doble sin contar con el gasto adicional de la implementación y operación de la propuesta del sistema de tratamiento de agua residual; es por ello que se plantea el carpado de las lagunas, este cumple la misma función de los biodigestores, los cuales son los más conocidos para la recuperación de biogás, ya que permiten canalizar el gas producido en el proceso de descomposición de la materia orgánica, dando así la posibilidad de inyectarlo a las plantas eléctricas para generar energía y disminuir el consumo de combustible.

Por otro lado, uno de los síntomas del bajo rendimiento en las lagunas de oxidación es el factor viento, el cual genera una deshidratación de los lodos presentes en la fase ácida del proceso, que si no son tratados de manera adecuada, podrían producir algunas interferencias operacionales como lo es la colmatación. Básicamente el lodo o espuma superficial al entrar en contacto con el aire se seca, disminuyendo su densidad, y favoreciendo la flotación, provocando que la materia orgánica presente no termine su proceso de degradación de manera favorable. La interacción del viento con la laguna propicia la transferencia de oxígeno a las capas superiores, haciendo que la laguna no sea del todo anaerobia, sino facultativa, dando como resultado menores eficiencias de remoción.



Figura 17. Laguna de oxidación anaerobia (Hacienda La Cabaña)

Fuente: Autores, 2017

En vista de estos inconvenientes encontrados, se estableció una alternativa para mejorar las condiciones del efluente provenientes del proceso de extracción. Se plantea la implementación de un sistema de “carpado” en las dos lagunas anaerobias existentes como mecanismo de optimización del proceso y así mejorar la calidad del efluente, y aunque la remoción de materia orgánica no sea la deseada en su totalidad, lo cual implicaría el uso de otras unidades de tratamiento, como un sistema de filtración (arena y carbón activado), esta alternativa tiene la ventaja de poder aprovechar la generación de biogás por parte de las lagunas, siendo posible la captación y el aprovechamiento de este recurso, que de ser aprovechado podría ser una alternativa para generar energía amigable con el medio ambiente, que podría ser usada en otros procesos de la plantación.

En la siguiente figura, se observa un esquema del sistema de carpado a implementar, el cual aprovecha la generación de biogás de las lagunas, reduciendo así los gases efecto invernadero emitidos y los olores generados por los subproductos del metabolismo microbiano.

Biodigestor Laguna IKL Aprovechamiento de los sub productos

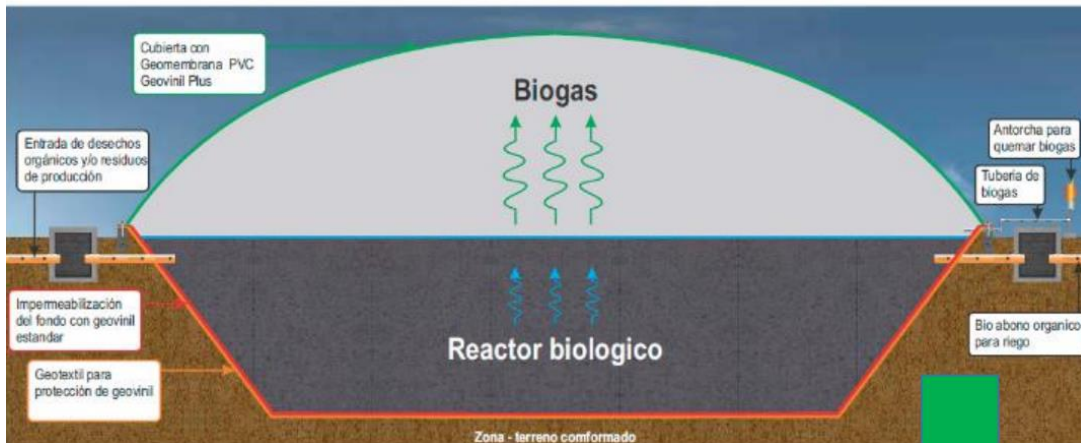


Figura 18. Esquema de sistema de carpado a implementar

Fuente: (IKL.CARPAS, 2017)

13.2.1.1 Estimación de biogás producido por el reactor.

Para tener una idea de la cantidad de gas producido y de la energía que se podría ahorrar, se estima el biogás producido dentro del reactor, se llevó a cabo el cálculo de éste a partir de la carga orgánica removida por el reactor. En condiciones estándar (0°C y 1 atm), la estimación de biogás en forma de CH₄, producido por el reactor se puede establecer de la siguiente relación:

$$1 \text{ kg DQO Removido} = (0.35 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4).$$

$$\text{Biogas producido} \left(\text{m}^3 \frac{\text{CH}_4}{\text{día}} \right) = \text{DQO} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{ Removido} * 0,35 \text{ m}^3 \text{CH}_4$$

$$\text{Biogas producido} \left(\text{m}^3 \frac{\text{CH}_4}{\text{día}} \right) = 13917,83 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{ Removido} * 0,35 \text{ m}^3 \text{CH}_4 = 4871,24 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Corrección de presión y temperatura} = \left(\frac{725 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}}\right) * \left(\frac{298 \text{ }^\circ\text{K}}{273 \text{ }^\circ\text{K} + 26,6}\right) = 0,9488$$

$$\text{Biogas producido} = \text{carga} * 0,35 * \text{corrección por presión y temperatura}$$

$$\text{Biogas producido} = 13917,83 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{Removido} * 0,35 * 0,9488 = 4621,83 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{45 \text{ día}}$$

Es decir, que al día se producen $102,7 \text{ m}^3 \text{CH}_4$

Para establecer, los posibles beneficios energéticos, en la *Tabla 33*, se observan las equivalencias energéticas del biogás:

Tabla 33. Equivalencias energéticas del biogás

Equivalencias energéticas del biogás	
1 metro cúbico de biogás equivale a:	
Madera	1,3 kg
Bosta seca	1,2 kg
Alcohol	1,1 litros
Gasolina	0.8 litros
Gas natural	0,65 litros
Carbón	0,76 m ³
Electricidad	2,2 Kw/h

Fuente: (IKL.CARPAS, 2017)

Es así como cada 45 días, Hacienda la cabaña se estaría ahorrando: 978,16 Galones de gasolina utilizados como energía en alguno de los procesos, o si implementaran una generadora de energía, se producirían aproximadamente: 101,68 Kw/h de energía.

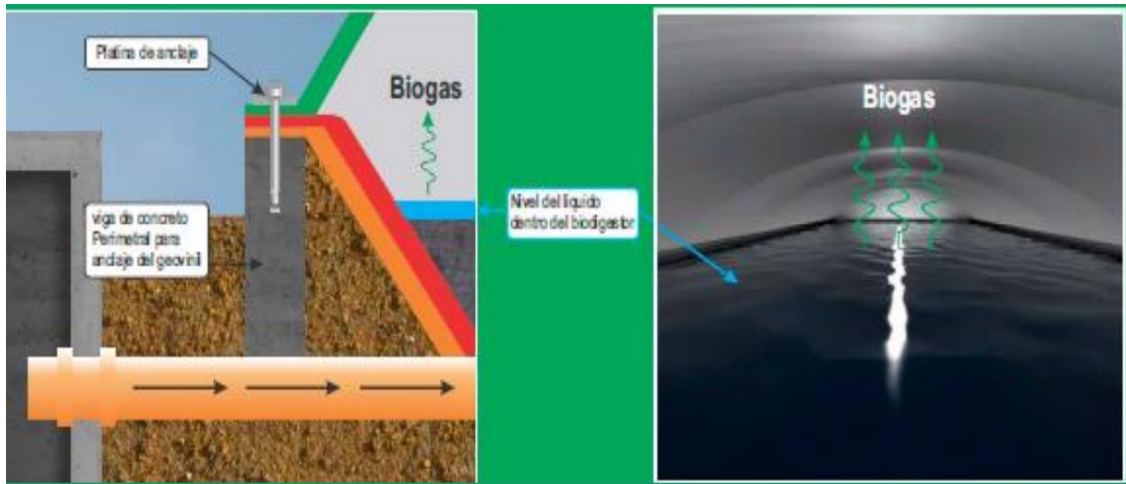


Figura 19. Aprovechamiento de biogás(Biodigestor)

Fuente: (IKL.CARPAS, 2017)

De igual manera se hace un análisis económico para determinar los costos de esta alternativa, como se observa a continuación.

DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Suministro de Geomembrana HDPE 30	m2	6.320	\$6.415	\$ 40.542.800
Suministro de Geotextil NT-2000	m2	6.320	\$2.223	\$ 14.049.360
Instalación de Geomembrana HDPE 30 y de Geotextil NT-2000	m2	6.320	\$1.754	\$ 11.085.280
Sistema de Tecnofijacion a Tuberias de 6".	un	4	\$90.000	\$ 360.000
SUBTOTAL				\$ 66.037.440
NOTA: Se cotizó la geomembrana a la T.R.M. del día 23-feb-2016 (\$3.314,24), esta se revalorará al momento de recibir la orden de compra.			IVA	16%
TOTAL				\$ 76.603.430

Figura 20. Costos carpado lagunas anaerobias

Fuente: Geomembranas, 2017

14 CONCLUSIONES

- El reusó del efluente proveniente de la planta de extracción de aceite de palma africana , cumple con los estándares de calidad para las aguas de riego según la FAO, en cuanto a su incidencia en el suelo se obtiene aportes nutricionales significativos en nutrientes esenciales como N,P,K, entre otros, aunque existen cambios significativos en cuanto a pH ya que según los datos obtenidos experimentalmente en planta extractora S.A. se vuelven los suelos más alcalinos cambian el pH de 6,2 a 8,20 ; aunque la cantidad de materia orgánica y la cantidad de solidos suspendidos en el efluente pueden generar impactos negativos en cuanto a vertimientos se refiere , para el caso de aporte nutricional en el suelo cultivado juega un papel importante; se debe tener en cuenta que para ver de manera más concisa los cambios generados en el suelo por el efluente se debe realizar el riego con un periodo mínimo de dos años esto debido a la longevidad de la palma africana. La textura granulométrica de los suelos en los cultivos de Hacienda La Cabaña infiere en que no se observen cambios significativos en la salinidad del mismo, factor que debe ser tenido en cuenta en rendimientos productivos del cultivo y a su vez el aporte nutricional en el mismo.
- Partiendo de las características fisicoquímicas del efluente y debido a los altos contenidos de materia orgánica a degradar, se plantean los sistemas de tipo anaerobio ya que son los más eficientes y de bajo costo aplicados a este caso, ya que los sistemas de tipo aerobio generarían elevados costos por las grandes cantidades de inyección de oxígeno y por las unidades complementarios que se necesitarían para cumplir con los parámetros establecidos por la norma; por lo anteriormente mencionado se evalúa que la unidad más apta para el caso de estudio es un reactor anaerobio flujo a pistón , estando este complementado por dos filtros ya que permiten pulir el tratamiento, y lograr la remoción

de excesos de cloruros, posibles trazas de hidrocarburos y demás compuestos que puedan sobre pasar los tratamientos biológicos, finalizando por un sistema de desinfección el cual generara un pulimiento en el tratamiento del efluente.

- En cuanto a la evaluación de alternativas se busca la optimización del sistema de pretratamiento de lagunas de oxidación , para el cual se estipula un carpado que permita aumentar los porcentajes de remoción ya que se mejoran las condiciones necesarios para la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias, además de la captación de metano para utilizar como energía renovable y así reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, además se ahorrará costos a la empresa de nuevas instalaciones para optimizar el pretratamiento, a su vez se realiza una evaluación económica con todos los requerimientos y valores netos de implementación del sistema de tratamiento propuesto, siendo viable económicamente teniendo en cuenta las posibilidades económicas de la empresa.
- En cuanto a la parte de incidencia en los suelos se hace necesario un estudio enfocado directamente a la influencia en los suelos, teniendo en cuenta el tiempo de riego y la procedencia del efluente identificando el tipo y la efectividad de tratamiento a la cual puede estar sujeta el efluente.

15 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis de las características de los lodos de las lagunas de oxidación por medio del índice volumétrico de lodos (IVL), parámetros que nos indican la sedimentabilidad de lodos en un volumen determinado.
- La viabilidad de riego con efluentes tratados genera un gran aporte en los cultivos, vale la pena aclarar que para temas de productividad y calidad del aceite se deben realizar análisis y sus respectivas investigaciones en periodos más largos de tiempo, teniendo en cuenta factores como los valores de extracción de aceite y la productividad como tal de los racimos de fruta.
- Debido a que el riego en cultivos es una técnica desarrollada recientemente pueden existir cambios significativos incluso en tramos muy cortos de suelo debido a las características especiales de cada uno, por la tanto está sujeta a un campo amplio de investigación y en periodos de tiempo más largos, teniendo en cuenta las metodologías en cuenta a variables de respuesta o parámetros a medir como la frecuencia y épocas de mediciones de las mismas.
- Para cuantificar y relacionar los valores máximos permisibles necesarios y beneficios para el cultivo se deberán hacer investigaciones y análisis estadísticos que permitan establecer algunos valores estandarizados en cuanto a riego con efluentes tratados.
- Debido al alto contenido de materia orgánica presente en los efluentes se recomienda realizar una evaluación previa en donde se estipulen las unidades o medidas necesarias para reducir principalmente los sólidos suspendidos, esto debido a las instalaciones de riego que tenga la plantación, con el fin de prever posibles inconvenientes en taponamientos y así evitar el uso de carro tanque u otros métodos para realizar el riego en cultivo, garantizando

que las instalaciones de riego se encuentren en las condiciones óptimas para realizar la labor.

- Se recomienda de manera general a las plantaciones que quieran implementar el riego en cultivo con efluentes de proceso de extracción de aceite, realizar un tratamiento que garantice lo establecido por la normatividad y a su vez garantice los requerimientos necesarios para el desarrollo del cultivo, partiendo de las relaciones en cuanto a fertilizantes Vs nutriente con el fin de saber que tan frecuente y en que cantidades se deberá realizar el fertirriego.
- En la tabla 29 se evidencian los porcentajes de aporte nutricional de algunos elementos del efluente estos porcentajes no son los mismos después del tratamiento propuesto debido a que puede haber una variación mínima de estos, de igual manera se evidencia que el aporte nutricional del efluente aun sin tratar es altamente significativo de nutrientes para el cultivo.

16 Bibliografía

- ABSUN. (09 de 10 de 2016). *ABSUN PALAYESH*. Obtenido de ABSUN PALAYESH:
<http://absunpalayesh.com/en/2015/12/30/moving-bed-bioreactors-mbbr/>
- Adabju, S. (2013). *Specific Moving Bed Biofil Reactor For Organic Removal from Synthetic Municipal Wastewater*. Sydney: University of Techonology.
- AERO-TUBE. (21 de 08 de 2016). *ALIBABA.COM*. Obtenido de ALIBABA.COM:
<https://spanish.alibaba.com/p-detail/yuyue-high-performance-aquaculture-aerators-hose-fish-farm-diffusion-tube-aquaculture-diffusion-hose-2006348481.html>
- Agricultura, O. d. (s.f.). *Portal de suelos de la FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Agunwamba, J. (2001). Analysis of socioeconomic and environmental impacts of waste stabilization pond and unrestricted wastewater irrigation: interface with maintenance. *Environmental Management*, 463-476.
- AINSO. (1986). *Características y pre tratamiento de las aguas residuales* . Medellín, Colombia: Asociación de ingenieros sanitarios de Antioquia.
- Alberston, O. (1996). *Reducción simultanea de DBO(C9, NH4 y desnitrificación en un reacto de Biopelicual*. . Cataluña: Tratamientos Biológicos procesos de Biopelicula fija.

- Al-Jaloud, A. (1995). Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition*, 1677-1692.
- Ambrosio, J. (2000). *Reducción simultanea de DBO Carbonacea, NH4 y desnitrificación en un reacto biopelícula*. Buenos Aires: Congreso Argentino de Saneamiento y medio ambiente.
- ANOXKALDNES. (2009). *Procesos avanzados de biomasa fija sobre lecho móvil*. Paris: Veolia .
- Arias, J. (23 de 03 de 2010). *AbsolutColombia*. Obtenido de AbsolutColombia: <http://www.absolut-colombia.com/el-rio-magdalena-a-traves-de-la-historia-colombiana/>
- Asano, T. (1996). Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, v.34, 219-226.
- Association, A. P. (2012). *American Public Health Association* . Obtenido de American Public Health Association : <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/demanda-bioquimica-de-oxigeno.pdf>
- Atanacio, N. (2009). *Principios agronomicos para el establecimiento de una plantación de palma de aceite* .
- Ayers, D. W. (1985). *Irrigation and Drainage*. Roma: FAO.
- Balks, M. (2008). Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, 821-830.
- Bange, M. (1997). Environmental control of potencial yield of sunflower in the subtropics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 231-240.
- Barba, L. (2002). *Conceptos básicos de contaminación*.

- Barba, L. (2002). *CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA*.
- Barton, L. (2005). Land application of domestic effluent onto four soil types: plant uptake and nutrient leachig. *Journal of Environmental Quality*, 635-643.
- Benny, T. (1 de 11 de 2016). *Acuaculture Hub*. Obtenido de Acuaculture Hub: https://articles.extension.org/sites/default/files/Aquaponics-%20Paradigm%20Shift%20with%20Airlift_part1-Ron_0.pdf
- Bielorai, H. (1994). Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents . *Journal of Environmental Quality*, 231-234.
- BIOLAM. (22 de 08 de 2016). *BIOLAM S.A.S*. Obtenido de BIOLAM S.A.S: <http://modulosdesedimentacion.com/productos/star-lam-biolam-colombia-tratamientos-aguas-residuales-depuracon-de-aire.html>
- Bond, W. (1998). Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, 543-555.
- Bouwer, H. (1999). Quality requirements for irrigation with sewage water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 516-535.
- Bouwer, H. C. (1997). Land treatment of wastewater. *Advances in Agronomy V. 26*, 133-176.
- Buitrago, Y. (2016). *EVALUACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS AGROINDUSTRIALES DE LA PALMA *Elaeis guineensis* SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE USO AGRÍCOLA*. Bogotá: Universidad abierta y a distancia.
- Cabaña, H. L. (18 de 03 de 2017). *Hacienda La Cabaña* . Obtenido de Hacienda La Cabaña : <http://www.lacabana.com.co/>

- Caicedo, F. (2006). *Diseño, Construcción y arranque de un reactor U.A.S.B piloto para el tratamiento de lixiviado*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Calderón, K. d. (2012). *Estudio de la microbiota involucrada en los procesos depuradores para el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante reactores de membrana (MBR) y reactores de biopelícula (MBBR)*. Granada: Universidad de Granada .
- Calderón, K. d. (2012). *Estudio de la microbiota involucrada en los procesos depuradores para el tratamietno de aguas residuales urbanas mediante reactores de membrana (MBR) y reactores de biopelícula (MBBR)*. Granada: Universidad de Granada.
- CARMAC. (2012). *Reactores biológico de lecho movil (MBBR)*. Puerto Cruz: Gobierno de Canarias.
- Cataluña, U. d. (2015). *Adsorción en carbón activado: Tratamiento Terciario*. Cataluña: Universidad de Cataluña.
- CENIPALMA. (1996). *Manejo de efluentes de plantas extractoras*. Bogotá D.C: Centro de investigación en palma de aceite.
- CERES. (2010). *Filtración rapida*. CERES.
- CIAM. (2012). *Descripción técnica del proyecto de sistema de tratamiento de efluente de la planta extractora de aceite "La Cabaña"*. Ciudad de Mexico: Consorcio CIAM Ingeniería Ambiental Mexicana.
- COAPALMA. (2013). *COAPALMA ECARA*. Recuperado el 28 de 05 de 2017, de COAPALMA ECARA: <http://www.coapalmaecara.com/index.php/fertilizacion>

Colombia, E. p. (s.f.). *DECRETO 3930 DE 2010*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Córdoba, M. (2011). *Formulación y Evaluación de proyectos*. Bogotá: ECOE EDICIONES .

Cubillos, H. (2006). *Puesta en marcha y evaluación de un reactor anaerobico de flujo a pistón para el manejo de lixiviados del relleno sanitario de villavicencio "Don juanito"*. Bogotá D.C: Universidad de la Salle.

Day, A. (1981). Effects of municipal waste water on the yield and quality of cotton. *Journal of Environmental Quality*, 47-49.

Doneen, L. a. (1988). *Irrigation and Drainage*. Roma: FAO.

Doneen, L. a. (s.f.). *Irrigation and Drainage*.

Doorenbos, J. (1979). *Yield response to water, Irrigation and Drainage* . Roma: FAO.

Eckenfelder, W. (1975). *Water Pollution Control*. New York: Pemberton Press.

Eddy, M. (1972). *Wastewater Engineering Collection, treatment, Disposal*. Texas: McGraw.

EIA. (2015). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado el 01 de 05 de 2017, de [TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html)

EOT. (2011). *Esquema de ordenamiento Territorial de Cumaral*. Cumaral: Municipio de Cumaral.

ExtractorCentral. (2015). *Análisis de aguas residuales correspondientes al pico alto de cosecha*.

- Falletti, L., Conte, L., & Maestri, A. (2014). *Upgrading of a wastewater treatment plant with a hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR)*. Padova: University of Padova.
- FAO. (2017). *Conservación de los recursos naturales*. Obtenido de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
- FAO. (s.f.). *Irrigation with wastewater*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e07.htm>
- Fedepalma. (2011). *GUIA AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA*. Bogota.
- Fedepalma. (2016). *ANUARIO ESTADISTICO 2016*. BOGOTÁ: FEDEPALMA.
- Fedepalma. (Abril de 2016). *BOLETIN ECONOMICO*. BOGOTA: Fedepalma. Obtenido de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/BTE%202016_en%20baja.pdf
- Feigin, A. (1998). The nitrogen factor in the management of effluent-irrigated soils. *Soil Science*, 248-254.
- Feing, A. (1991). *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*. Berlín: Springer-Verlag.
- Fonseca, A. (2005). *Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem*. Universidade de São Paulo: Piracicaba.
- Friedel, J. (2000). Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, 414-421.

- Gadallah, M. (1994). Effects of industrial and sewage waste water on the concentration of soluble carbon, nitrogen, and some mineral elements in sunflower plants. *Journal of Plant Nutrition*, 1369-1384.
- Gonzalez, E. (2007). *COMPARACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN UTILIZANDO HIPOCLORITO DE CALCIO (HTH) Y EL SISTEMA DE GENERACIÓN IN SITU DE HIPOCLORITO DE SODIO*". Bogotá D.C: Universidad de la Salle.
- Gzuniga. (2010). *Tecnología SBR(Reactores biológicos secuenciales)*. Santiago de Chile: Fundacion chile .
- HEADWORKSBIO. (29 de 08 de 2016). *HEADWORKSBIO*. Obtenido de HEADWORKSBIO: <http://www.headworksinternational.com/biological-wastewater-treatment/IFAS.aspx>
- Hillel, D. (1987). The efficient use of water in irrigation. World Bank Technical. *The World Bank*.
- Hook, J. (1981). Movement of phosphorus and nitrogen in soil following application of municipal wastewater. *Soil Science Society of America*, 241-255.
- Hussain, G. (1998). Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. *Agricultural Water Management*, 55-70.
- IDEAM. (2007). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA*. Bogotá: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional de Agua* . Bogotá: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- IDEAM. (19 de 03 de 2016). *Laboratorio de calidad ambiental* . Obtenido de www.ideam.gov.co/web/agua/Métodos-analiticos

- IICA. (2006). *CULTIVO DE LA PLAMA AFRICANA, GUIA TÉCNICA*. Managua: IICA.
- IKL.CARPAS. (2017). *LAGUNAS IKL*. BOGOTA: IKL.
- IMUINGENIERIA. (2009). *Procesos avanzados de biomasa fija sobre lecho movil* . PARIS :
VEOLIA WATER.
- INFOAGRO. (2017). *InfoAgro*. Recuperado el 28 de 05 de 2017, de InfoAgro:
http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm
- Instruments, H. (s.f.). *Hanna Instruments*. Obtenido de <http://www.hannainst.es/blog/demanda-quimica-de-oxigeno/>
- Janssen, B. (2005). Some theoretical considerations on evaluating wastewater as a source of N, P, and K for crops. *Irrigation and Drainage*, 35-47.
- Jaramillo, A. O. (2005). *Bioingenieria de aguas residuales*. Acodal.
- Jaramillo, Á. O. (2014). *Bioingenieria de aguas residuales teoria y diseño*. ACODAL.
- (1991). *Jimenez, Elvia; Mojica, Martha*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas:
Universidad de Boyaca.
- Kandiah, A. (1990). *Criteria and classification of saline water. Water, Soil and Crop Management Practices Relating to the Use of Saline Water*. Roma: AGL/MIC/16/90.
- Kent, T., Fitzpatrick, C., & Williams, S. (1996). *Testing of Biological Aerated Filter (BAF) Media*. Cranfield: Water Science and Technology.

- Lapo, B. G. (2014). *Estudio de medios de soporte para el crecimiento bacteriano aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Léon Suematsu, G. (1999). *Tratamento e uso de águas residuárias*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba.
- Madrid, U. a. (12 de 02 de 2015). *Intercambio Iónico*. Recuperado el 05 de 05 de 2017, de Intercambio Iónico: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf
- MADS. (2015). *Resolución 631* . Bogotá.
- Manga, J., Logreira, N., & Serralt, J. (2001). *Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Martin, J. (2014). *Estudio Técnico de biorreactores de membrana con lecho móvil aplicados al tratamiento de aguas residuales*. Granada: Universidad de Granada.
- Masic, A. (2013). *Investigation of a biofilm reactor model with suspended biomass*. Lund: Lund University .
- MBRSITE. (29 de 08 de 2016). *The MBR site* . Obtenido de The MBR site : <http://www.thembrsite.com/about-mbrs/what-are-mbrs/>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* . Madrid: Mc Graw Hill.
- Minagricultura. (2011). *PROYECTO: DESARROLLO DE CAPACIDADES EN EL USO SEGURO DE AGUAS RESIDUALES PARA AGRICULTURA*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- MINAMBIENTE. (1996). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES*. Bogotá: Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente.
- Minambiente. (2007). *Resolución 1207 de 2007*. Bogota: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible .
- Morre, R., Quarmby, J., & Stephenson, T. (2001). *The Effectos Of Media Size On The Performance Of Biological Aerobited Filters*. Cranfield: Water Reserch.
- Munevar, F. (2001). *Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos* . Bogotá D.C: CENIPALMA.
- Muñoz, J. F., & Ramos, M. (2014). REACTORES DISCONTINUOS SECUENCIALES:UNA TECNOLOGÍA VERSÁTIL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 49-66.
- Nakayama, F. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. *Irrigation Association Conference*, (págs. 21-24). Portland.
- Noguera, M. A., & Pacheco, N. F. (2014). *Creación a nivel de laboartorio de un reactor de lecho fijo experimental de flujo ascendente para la determinación de los parámetros fundamentales de diseño a escala real*. Cuenca: Universidad Politécnica Selesiana .
- Orozco, A. (2013). *Bioingenieria de aguas residuales*. Medellin: ACODAL.
- Ortiz, D. F. (2011). *Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales Para Poblaciones Menores De Ecuador*. Lima: Universidad Técnica Partículas De Loja.
- Overman, A. (1981). Irrigation of corn with municipal effluent. . *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 74-80.

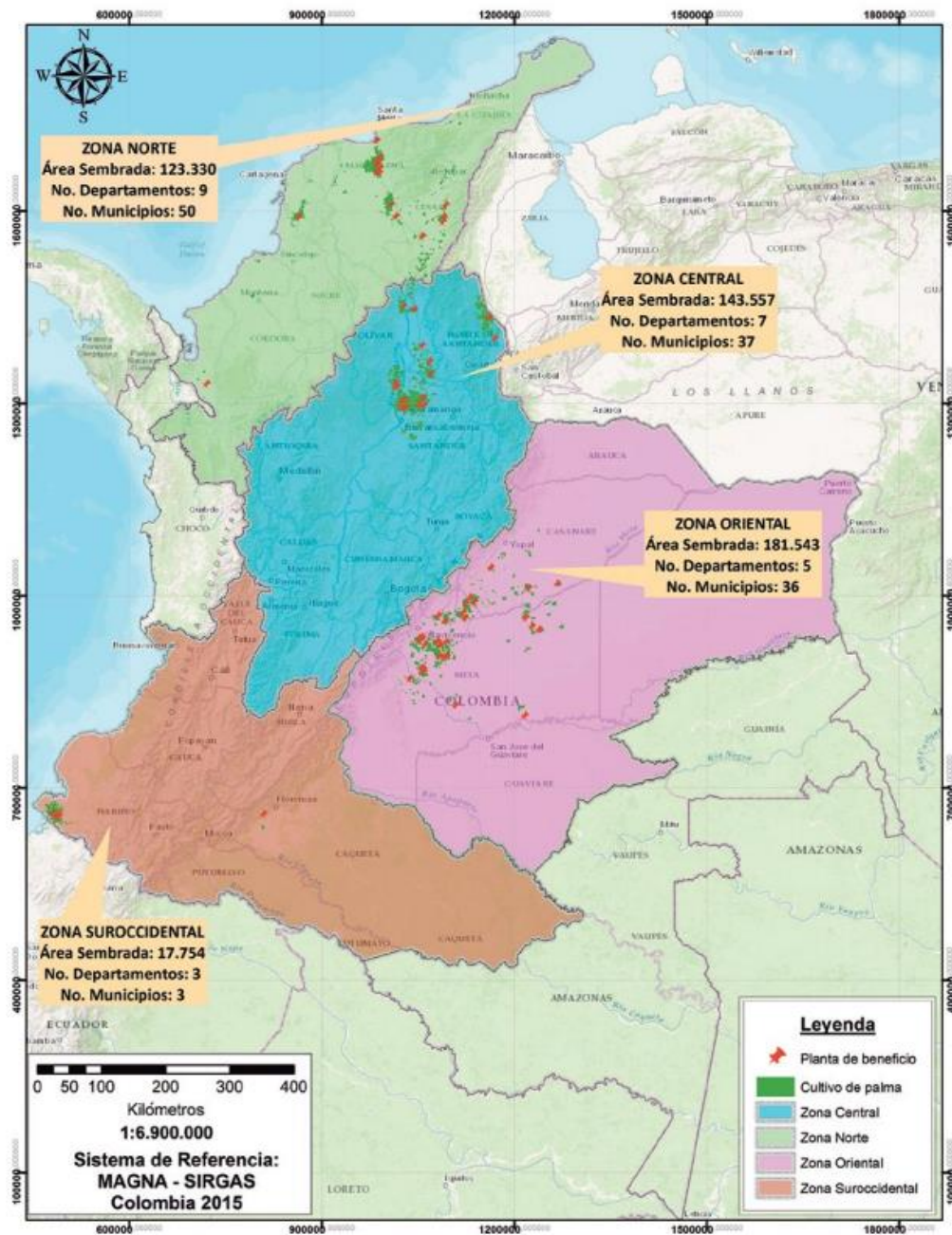
- Pabón, H. (2006). *Planificación y manejo del riego y drenaje en una plantación de palma africana*. Bogotá.
- Papadopoulos, I. S. (1988). *Ongoing research on the use of treated sewage effluent for irrigating industrial and fodder crops. Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*. Roma: FAO.
- Perez, F., & Camacho, K. (2011). *Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas*. Tuxpan: Universidad de Veracruz.
- Peréz, J. (1998). *Tratamiento, Filtración*. Bogotá D.C: Universidad Nacional.
- Pescod, M. (1996). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Roma: Food and Agriculture Organization.
- Petitpierre, G. (1981). *Tratamiento de efluente de palma y producción de biogas*. Bogotá: Oleagineex.
- Pollice, A. (2004). Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy. *Science of the Total Environment*, 201-210.
- Radjenovic, J., Mijatovic, I., & Petrovic, M. (2007). *Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology*. Berlin: Hdb Env Chem.
- RAS Título E, M. D. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000*. Obtenido de http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf
- Regalado, F. (2009). *El manejo de la palma Africana*. Honduras.

- Rodriguez, Y. (2015). *Tratamiento anaerobico de aguas residuales*. Cali: Universidad del Valle.
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales* . Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieria .
- Rothschuh, J. (1983). *La palma africana* . Managua: Midinra.
- Sampieri, R. (2006). *Metodología de la investigación* . Mexico : Mc Graw Hill.
- San Pedro Sula, C. (2009). *Manual Tecnico de palma Africana* . 2009: TechnoServe.
- Santiago, J. (s.f.). *Riego y drenaje* . Costa Rica: Universidad estatal a distancia.
- Sarmiento, L. H. (25 de Julio de 2014). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=59135>
- SFA. (2010). *Monografia de los cultivos, Palma de aceite*. Ciudad de Mexico: SAGARPA.
- Sidney, B. (2008). *AIRLIFT ASSISTED WASTEWATER TREATMENT* . Louisiana: Louisiana State University.
- Takasaki, M., & Kim, A. (1992). *Submerged biofilm process as a pre-treatment of polluted raw water for TAP water supply*. Paris: Congreso "Biofilm Reactors".
- Tam, j., Vera, G., & Olivero, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica*. La Molina: Pensamiento y Acción.
- Tecnoambiental. (2016). *Caracterización de Aguas Hacienda la Cabaña*. Villavicencio: Tecnoambiental S.A.S.

- Torres, J. C. (2007). *Aplicación de la tecnología de lechos inundados en la descontaminación de las aguas residuales de la industria conservera*. Granada: Universidad de Granada.
- Toze, S. (2006). Reuse of effluent water – benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 147-159.
- Van Schilfgaarde, J. (1984). *Drainage design for salinity control. Proc. Soil Salinity under Irrigation*. New York: Shainberg and J. Shalheret (eds).
- Vazquez-Montiel, O. (1996). Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, 355-362.
- Von Sperling, M. (1996). *Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Woolard, C. L. (2005). *Nitrification in hybrid reactor with a recycled plastic support material*. Chicago: Water Environmental Federation, exposition, chicago III.
- Wuertz, S. (2003). *Biofilms in Wasterwater, treatment an interdisciplinary approach*. London: Approach. IWA.
- XILONG. (29 de 08 de 2016). *ALIEXPRESS*. Obtenido de *ALIEXPRESS*: https://www.aliexpress.com/promotion/promotion_xilong-aquarium-promotion.html
- Zambrano, S. (2010). *PROTOCOLO PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL*. Leticia: Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la Amazona.

17 ANEXOS

17.1 ANEXO I. Cultivos de palma de aceite en Colombia (2015)



17.2 ANEXO II. Materiales y equipos.

Para poder realizar de forma eficaz y sencilla la toma de las muestras necesarias para el presente estudio, son necesarios o indispensables los materiales y equipos que se muestran a continuación:

Materiales y Equipos para el muestreo de agua

- Nevera
- Agua desionizada
- Toallas de papel
- Cono Imhoff y base
- H₂SO₄ en Bureta digital al 0,1 N
- 2 Beaker de 100 ml
- 3 Erlenmeyer de 250 ml
- 2 Probeta de 500 ml
- 2 Beaker de 500 ml
- Botellas de vidrio ámbar 250 ml.

Especificaciones de los contenedores:

El vidrio de los recipientes o contenedores debe ser neutro, ya que las paredes de los recipientes de este material pueden absorber o adsorber los componentes a analizar; Por ejemplo, los recipientes de vidrio pueden adsorber trazas de metales. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que en la práctica, los laboratorios certificados utilizan recipientes o botellas de vidrio fabricados con borosilicato (más conocido con los nombres comerciales de Pyrex, Kimax o Endural) o los fabricados con cal sodada, pero estos vidrios pueden incrementar los compuestos orgánicos. Las botellas de vidrio color marrón, o ámbar, sirven para reducir actividades fotosensibles en algunos

componentes de la muestra (Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte 34 de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio: Grupo Salud Ambiental SRNL, INS).

Limpieza de los recipientes y equipos de muestreo

Estos recipientes de vidrio, se deben limpiar con agua y detergentes para eliminar el polvo y los residuos que se pueden presentar de prácticas anteriores; Después se deben limpiar con una mezcla de ácido crómico, ácido sulfúrico o en su defecto con limpiador neutro y se enjuagan con agua destilada. Cabe resaltar que utilizaremos detergentes con fines de limpieza, ya que no haremos determinación de fosfatos, silicatos, boro y surfactantes, puesto que pueden dar presencia a interferencias en la medición y alterar el resultado.

Metodología para el muestreo

La eficacia de una práctica de campo se logra mediante el seguimiento de una metodología específica de muestreo por recurso, establecer el tipo de muestreo a emplear, los medios y condiciones de transporte y análisis físicos químicos a practicar, dependiendo del fin del análisis, de este modo.

Control y Preservación de las muestras

Control: Es necesario asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados, por tanto, hay que tener un control sobre la muestra en todas las fases del estudio de calidad, que garantice la confiabilidad del mismo. Dentro de ella es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

Etiqueta: Para poder tener un orden y organización establecida se deben definir etiquetas que permitan saber la información básica sobre la toma de cada muestra: Nombre del recolector, número de la muestra, preservante utilizado, fecha, hora y lugar de la cual fue tomada.

(Rotulación de muestras): La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible, adherida adecuadamente para evitar su pérdida, no debe sobrepasar el tamaño del recipiente y debe contar con la siguiente información básica: número o clave única de identificación, número de muestra y submuestra, lugar del muestreo (localización y georreferenciación), nombre del proyecto, fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa e iniciales de la persona que toma la muestra. La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble. al momento inmediato de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.

17.3 ANEXO III. Comparación de parámetros Resolución 1207 de 2014

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE (Resolución 1207 de 2014)	SALIDA DEL TRATAMIENTO LAGUNAS DE OXIDACIÓN	CUMPLIMIENTO NORMA DE REUSO	
				SI	NO
FISICOS					
pH	Unidades de pH	6,0-9,0	7,3	X	
Conductividad	ms/cm	1.500	17,7	X	
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+5)	547500		X
Esterococos Fecales	NMP/100 ml	1,0*E(2)	920000		X
Helmintos Parásitos Humanos	Huevos y larvas / L	1	6		X
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes / L	1	X		X
Salmonella sp	NMP/100 ml	1	Ausente	X	
QUÍMICOS					
Fenoles Totales		1.5	0,57	X	
Hidrocarburos Totales		1	10,7		X
Iones					
Cianuro Libre	mg CN-/l	0,2	<0,01	X	
Cloruros	mg CL-/l	300	816		X
Fluoruros	mg F-/l	1	<0,3	X	
Sulfatos	mg SO42-/l	500	<5	X	
Metales					
Aluminio	mg Al/L	5	3,9	X	
Berilio	mg Be/L	0,1	0,004	X	
Cadmio	mg Cd/L	0,01	<0,03	X	
Cinc	mg Zn/L	3	0,2	X	
Cobalto	mg Co/L	0,05	<0,15		X
Cobre	mg Cu/L	1	<0,05	X	
Cromo	mg Cr/L	0,1	<0,1	X	
Hierro	mg Fe/L	5	1	X	
Mercurio	mg Hg/L	0,002	<0,00027	X	
Litio	mg Li/L	2,5	<0,005	X	
Manganeso	mg Mn/L	0,2	2,97		X
Molibdeno	mg Mo/L	0,07	<0,0029	X	
Níquel	mg Ni/L	0,2	<0,015	X	
Plomo	mg Pb/L	5	<0,25	X	
Sodio	mg Na/L	200	2,84	X	
Vanadio	mg V/L	0,1	<0,036	X	
Metaloides					
Arsénico	mg As/L	0,1	<0,01	X	
Boro	mg B/L	0,4	0,13	X	
No Metales					
Selenio	mg Se/L	0,02	0,005	X	
Otros parámetros					
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl2/L	Menor a 1	<0,1	X	
Nitratos (NO3-N)	mg/L	5	<0,3	X	

17.4 ANEXO IV. Balance de cargas

PARAMETROS	AFLUENTE ARD		SALIDA TRATAMIENTO LAGUNAS DE OXIDACIÓN		EFICIENCIA	SALIDA TRATAMIENTO REACTOR ANÁEROBICO FLUJO PISTÓN		EFICIENCIA
	CAUDAL (m3/h)	13,70	CAUDAL (m3/h)	13,7		CAUDAL (m3/h)	13,7	
	Concentración	Carga	Concentración	Carga		Concentración	Carga	
	mg/L	Kg/día	mg/L	Kg/día		mg/L	Kg/día	
DQO	50999	16768,47	8669,83	2850,64	83%	1733,97	570,13	80%
DBO	19300	6345,84	2509	824,96	87%	501,80	164,99	80%
SST	30200	9929,76	12684	4170,50	58%	2536,80	834,10	80%
G&A	5519,7	1814,88	55,197	18,15	99%	44,16	14,52	20%

SALIDA TRATAMIENTO FILTRACIÓN ADSORCIÓN		EFICIENCIA	SALIDA TRATAMIENTO FILTRACIÓN PARTICULADA		EFICIENCIA
CAUDAL (m3/h)	13,7		CAUDAL (m3/h)	13,7	
Concentración	Carga		Concentración	Carga	
mg/L	Kg/día		mg/L	Kg/día	
1040,38	342,08	40%	936,3	307,87	10%
250,90	82,50	50%	225,8	74,25	10%
1775,76	583,87	30%	1598,2	525,48	10%
30,91	10,16	30%	27,8	9,15	10%

17.5 ANEXO II. Cálculo tanque de igualación

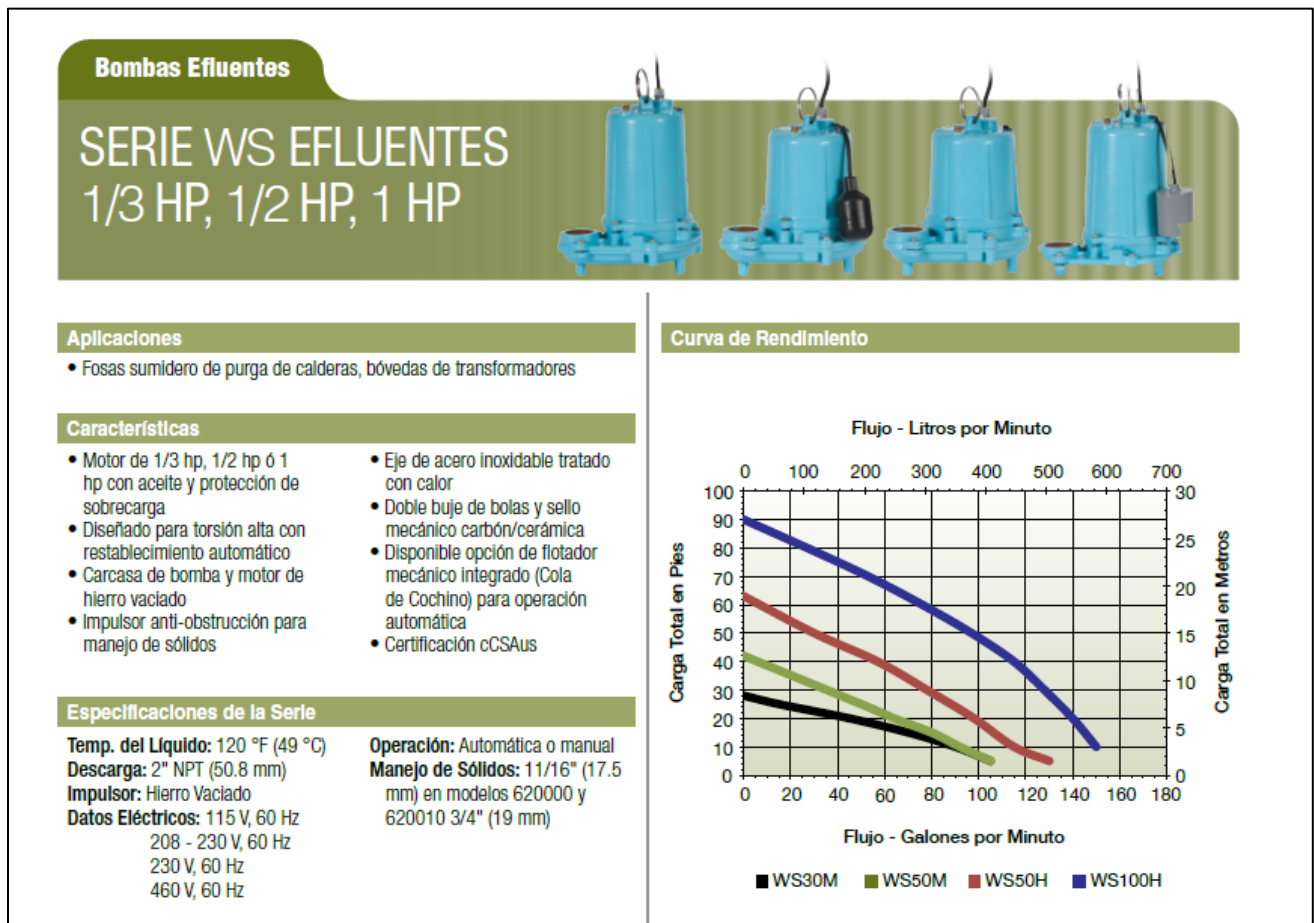
TANQUE DE IGUALACIÓN						
Hora	Caudal (m3/h)	Volumen (m3)	Volumen acumulado (m3)	Caudal de Bombeo(m3/h)	Volumen Acumulado DE BOMBEO(m3)	Volumen tanque Balance (m3)
1	9,5	9,5	9,5	13,5	13,5	-4,05
2	10,8	10,8	20,3	13,5	27	-6,75
3	9,5	9,5	29,7	13,5	40,5	-10,80
4	9,0	9,0	38,7	13,5	54	-15,30
5	8,8	8,8	47,5	13,5	67,5	-20,01
6	11,1	11,1	58,6	13,5	81	-22,39
7	18,9	18,9	77,5	13,5	94,5	-16,99
8	9,8	9,8	87,3	13,5	108	-20,67
9	9,9	9,9	97,2	13,5	121,5	-24,25
10	21,0	21,0	118,2	13,5	135	-16,75
11	16,2	16,2	134,5	13,5	148,5	-14,03
12	21,8	21,8	156,3	13,5	162	-5,68
13	18,7	18,7	175,0	13,5	175,5	-0,47
14	20,8	20,8	195,8	13,5	189	6,80
15	20,2	20,2	216,0	13,5	202,5	13,52
16	21,6	21,6	237,6	13,5	216	21,62
17	11,8	11,8	249,4	13,5	229,5	19,93
18	8,6	8,6	258,0	13,5	243	15,02
19	9,5	9,5	267,5	13,5	256,5	10,97
20	13,0	13,0	280,5	13,5	270	10,50
21	14,5	14,5	295,0	13,5	283,5	11,54
22	10,8	10,8	305,8	13,5	297	8,84
23	10,2	10,2	316,1	13,5	310,5	5,56

17.6 ANEXO VI. Ficha técnica bomba tanque de igualación

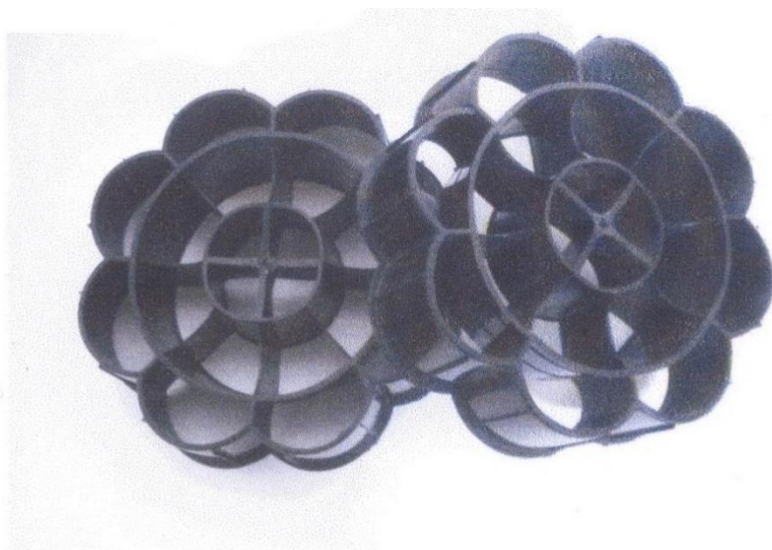
Potencia de bomba: 1 HP

Referencia: WS100H

Marca Recomenda: Franklin



17.7 ANEXO VII. Especificaciones técnicas roseta para tratamiento anaerobio



ROSETA PLASTICA PARA FILTRACION DE PERCOLADORES

Por el diseño y material utilizado en éste tipo de relleno, se logra una alta eficiencia en cuanto a la fijación de bacterias en aguas residuales

Ficha Técnica

Material	Diámetro	Altura	Peso x Unidad	Unidades por mt ³	Área Superficial
Polipropileno	186 mm	50 mm	75 Gr.	480 (Aprox.)	1.678 cm ²

Empaque:

Los filtros se entregan en torres de 20 Unidades cada una, atadas por una cuerda de Polipropileno

17.8 ANEXO VIII. Ficha técnica sistema de desinfección



AHORRE TIEMPO Y REDUZCA LA MANIPULACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

Ya sea que escoja el clorinator autónomo Modelo 300 o el clorinator en línea Modelo 320 los clorinadores automáticos de cloro/bromo Rainbow

CLORINADOR MODELO 300

Capacidad de la cámara	Cantidad	Peso
Tableta de 1 pulg.	98	3.5 libras
Tableta de 3 pulg.	11	4.8 libras
Erosión máxima en 24 horas		1.19 libras
Trata durante 24 horas piscinas/spa de los siguientes tamaños en galones*		
a 10 ppm		11,900
a 5 ppm		23,800
a 2½ ppm		47,600
Dimensiones	21 pulg. de alto x 7 pulg. de ancho x 12 pulg. de profundidad	
Espacio libre de servicio para quitar la tapa		22¼ pulg.

*Al usar tabletas Tri-Nor de 1 pulg.

DISPONIBLE EN:

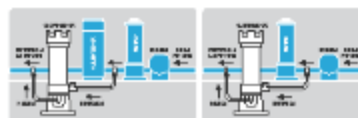


Ilustración del clorinator Modelo 300

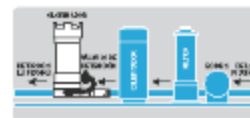


Ilustración del clorinator Modelo 320

CLORINADOR MODELO 320

Capacidad de la cámara - Tableta de 1 pulg.

	Destacación inferior	Destacación superior
Cantidad	98	98
Peso	3.5 libras	3.5 libras

Capacidad de la cámara - Tableta de 3 pulg.

Cantidad	11
Peso	4.8 libras

Erosión máxima en 24 horas 0.67 libra..... 1.75 libras

Trata durante 24 horas piscinas/spa de los siguientes tamaños en galones*		
a 10 ppm	6,700	17,500
a 5 ppm	13,400	35,000
a 2½ ppm	26,800	70,000

Dimensiones 17¼ pulg. de alto x 5 pulg. de ancho x 10 pulg. de profundidad

Espacio libre de servicio para quitar la tapa 19 pulg..... 19 pulg.

*Al usar tabletas Tri-Nor de 1 pulg.

17.9 ANEXO IX. Evaluación económica de la implementación de la planta de tratamiento propuesta.

PROYECTO: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA RECIRCULACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA PARA RIEGO EN CULTIVO POR ASPERSIÓN

ITEM	CANT		DESCRIPCION	MARCA Y PROCEDENCIA	VR UNITARIO	VR TOTAL
------	------	--	-------------	---------------------	-------------	----------


ALCANCE DE LA COTIZACION:

SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS

ITEM	CANTIDAD		DESCRIPCION		VR UNITARIO	VR TOTAL
1	90,00	ML	TUBERIA PVC P 2" RDE 21		\$ 23.723	\$ 2.135.082
2	55,00	UN	ACCESORIOS PVCP 2"		\$ 15.227	\$ 837.480
3	25,00	UN	VALVULA LISA 2"		\$ 41.000	\$ 1.025.000
4	30,00	ML	TUBERIA PVC P 3" RDE 21		\$ 16.740	\$ 502.215
5	5,00	UN	ACCESORIOS PVCP 3"		\$ 9.834	\$ 49.170
6	15,00	ML	TUBERIA PVC S 4"		\$ 23.723	\$ 355.845
7	10,00		ACCESORIOS PVC S 4"		\$ 15.227	\$ 152.270
8	60,00	M3	EXCAVACION MECANICA EN TERRENO COMUN		\$ 18.300	\$ 1.098.000
9	30,00	M3	RELLENO EN ARENA PROTECCION DE TUBERIA		\$ 85.000	\$ 2.550.000
10	900,00	M3	EXPLANACIÓN Y RETIRO		\$ 22.440	\$ 20.196.000
11	5,00		MANO DE OBRA CALIFICADA		\$ 1.000.000	\$ 5.000.000
12	43,00	M3	RETIRO DE SOBRESANTES DE MATERIAL EN VOLQUETA		\$ 21.000	\$ 903.000
13	1,00	UN	INTERVENTOR DE OBRA		\$ 4.291.624	\$ 4.291.624
14	1,00	UN	INGENIERO CIVIL		\$ 4.627.363	\$ 4.627.363
15	1,00	UN	INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO		\$ 4.314.904	\$ 4.314.904
SUBTOTAL INSTALACION DE TUBERIAS						\$ 48.037.952

ITEM	CANT		DESCRIPCION	MARCA Y PROCEDENCIA	VR UNITARIO	VR TOTAL
------	------	--	-------------	---------------------	-------------	----------

TANQUE DE IGUALACIÓN

16	2		BOMBA SUMERGIBLE 1 HP	FRANKLIN	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000
17	20		CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN CONCRETO POR METRO CÚBICO		\$ 35.000	\$ 700.000
18	1		TAPA EN ACERO		\$ 370.000	\$ 370.000

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO A PISTÓN

19	1		BOQUILLA DE INYECCIÓN		\$ 250.000	\$ 250.000
20	1		REACTOR (CONTENEDOR) CONSTRUIDO EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.		\$ 30.000.000	\$ 30.000.000
21	1		SEDIMENTADOR CONSTRUIDO EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.		\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
22	150		ROSETA PARA FILTRO ANAEROBICO EN POLIPROPILENO POR M3	ROTOPLAST	\$ 255.000	\$ 38.250.000

LECHOS DE SECADO

23	1		BOMBA DE 1/4 HP PARA PURGA DE LODOS	AQUAPAK SIGMA	\$ 400.000	\$ 400.000
24	230		BULTOS DE ARENA PARA LECHO POR 50KG		\$ 19.000	\$ 4.370.000
25	15		GRAVA PARA LECHO POR M3		\$ 35.000	\$ 525.000
26	90		CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN LADRILLO POR ML		\$ 15.000	\$ 1.350.000
FILTRACIÓN ARENA Y CARBÓN ACTIVADO						
27	4		FILTRO DE 30" EN FIBRA DE VIDRIO		\$ 2.500.000	\$ 10.000.000
28	45		BULTO DE ARENA SILICE POR 50 KG		\$ 19.000	\$ 855.000
29	45		BULTO DE ARENA CARBÓN ACTIVADO POR 25 KG		\$ 140.000	\$ 6.300.000
30	1		BOMBA CENTRIFUGA 1 HP PARA RETROLAVADO		\$ 790.000	\$ 790.000
COMPONENTE ELECTRICO						
31	1		TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS, SENSOR DE NIVEL, BREAKER DE CONTROL (INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA)		\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
					SUBTOTAL EQUIPOS	\$ 167.597.952
					ADMINISTRACIÓN (10%)	\$ 16.759.795
					INPREVISTOS (5%)	\$ 8.379.898
					UTILIDADES (3%)	\$ 5.027.939
					I.V.A 19% / UTILIDAD 3%	\$ 955.308
					TOTAL PROYECTO	\$ 198.720.892

17.10 ANEXO X. Plano propuesta de implementación de un sistema de tratamiento para la recirculación de agua residual de la planta extractora de aceite de palma africana para riego en cultivo por aspersión