

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA
EXTRACTORA DE ACIETE DE PALMA EN LA VEREDA GUAPÁ-CHIGORODÓ
ANTIOQUIA**

Autor

ELAN DAVID ZAAC ANDRADE

CC:1.028.009.245

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA

2019

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA
EXTRACTORA DE ACIETE DE PALMA EN LA VEREDA GUAPÁ-CHIGORODÓ
ANTIOQUIA**

Autor

ELAN DAVID ZAAC ANDRADE

CC:1.028.009.245

Docente:

MSR. JULIO ISAAC MALDONADO

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

2019

Contenido

1. LISTA DE TABLAS.....	9
2. LISTA DE FIGURAS	10
1. Introducción.....	15
2. Planteamiento del problema.....	16
2.1. Pregunta problema.....	17
2.2. Hipótesis	17
2.3. Justificación	18
3. Generalidades.....	18
3.1. Ubicación	18
Figura 1: ubicación de la vereda GUAPÁ.....	19
Fuente: (Google EARTH)	19
3.2. Geografía:	20
3.3. Descripción Física:	20
3.4. Límites del municipio:	20
3.5. Extensión total: 608 Km ²	21
3.6. Extensión área urbana: 3 Km ²	21
3.7. Extensión área rural: 605 Km ²	21

3.8.	Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 34m	21
3.10.	Distancia de referencia: 306km-medellin.....	21
3.11.	Ecología:	21
3.12.	Economía:	21
4.	MARCO TEORICO.....	22
4.1.	Agua.....	22
4.2.	Estados físicos	22
4.3.	Tipos de aguas	22
4.4.	Tipos de tratamientos de aguas	24
	Tratamiento de agua potable.....	24
	tratamientos de aguas residuales	25
	Tipos de tratamiento de aguas residuales de origen urbano	25
	Pretratamiento.....	25
	Tratamiento primario o tratamiento físico-químico:	26
	Tratamiento de aguas residuales por medios biológicos	27
	Lagunas de estabilización.....	28
	Transformación de los constituyentes de las aguas residuales	31
	Remoción de la DBO	31

Remoción de sólidos suspendidos totales.....	31
Remoción de nitrógeno	32
Remoción de fósforo	32
Remoción de organismos patógenos	33
Lagunas aerobias.....	33
Lagunas aerobias con oxigenación natural.....	33
Lagunas aereadas de forma mecánica	34
Lagunas anaerobias	34
Lagunas facultativas.....	36
Métodos de diseño	37
Lagunas de maduración.....	37
Efluentes de plantas extractoras de aceite de palma	39
4.5. Parámetros de control	42
4.6. Parámetros de diseño	43
5.7. Ecología de las lagunas.....	45
Ecología de las lagunas anaerobias.....	45
6. Marco referencial	67
6.1. Marco legal	67

7.	Objetivos.....	69
7.1.	Objetivo General	70
7.2.	Objetivos específicos	70
6.	Metodología.....	70
6.	Diagnóstico del sistema de lagunas de estabilización	71
a.	Cárcamo:.....	72
b.	Lagunas ecualizadoras 1 y 2:	72
c.	Caja divisoria de caudal.....	73
d.	Lagunas anaerobias 1 y 2.....	73
e.	Caja ecualizadora de caudal.....	74
f.	Lagunas facultativas	74
g.	Canal de vertimiento.....	74
6.	Información puntual descripción del proceso de extracción de aceite bpd.....	75
a.	Recepción de fruta.....	76
b.	Embalado de la fruta hacia cocción(esterilizado).....	77
c.	Cocción y esterilizado	77
d.	Mesa de volteo	78
e.	Digestión y prensado	79

f.	Preclarificado y clarificación	80
g.	Secado.....	81
h.	Almacenamiento	82
i.	Llenado cisterna, pesaje y despacho.....	83
7.	Descripción de la planta de tratamiento (sistema de lagunas de estabilización).....	84
8.	Unidades para el diseño.....	87
a.	Caudales de diseño.	87
9.	Operación y mantenimiento.....	89
a.	Tratamientos preliminares	89
b.	Parámetros de control	89
10.	Diseño del muestreo	91
a.	Caracterización fisicoquímica.....	91
b.	Ubicación de las estaciones del muestreo.....	91
11.	Muestreos.....	93
12.	Análisis y discusión de resultados.....	97
12.1.	Análisis de cada una de las variables físico químicas	97
NOTA:	98
12.2.	Análisis de cada una de las variables climatológicas	98

a.	Promedio mensual variables climatológicas de nov 2018 a 22 de julio 2019(línea de tendencia para precipitación).....	101
c.	Precipitación	102
d.	Velocidad del viento.....	103
e.	Temperatura	104
f.	Radiación solar.....	104
13.	Diseño actual sistema de lagunas de estabilización.....	105
14.	Rediseño del sistema de lagunas	106
15.	Conclusiones y recomendaciones.....	109
	Conclusión.....	109
	Preguntas finales	109
	Recomendaciones	111
16.	ANEXOS	113
	BIBLIOGRAFÍA	124

1. LISTA DE TABLAS

-tabla:1 Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia

-tabla:2 valores máximos permisibles SEGÚN NORMA

-tabla: 3 parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización

-tabla: 4 Normativa legal de Colombia.

-tabla: 5 Eficiencias proyectadas

-tabla 6. Parámetros de control

-tabla 7. variables medidas, métodos de análisis recomendado y sitio de muestreo.

-tabla 8 : caracterización físico-química entrada y salida del sistema de lagunas de estabilización

-tabla 9 Variables climatológicas

2. LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ubicación vereda GUAPÁ

Figura :2 Representación de digestión anaerobia

Figura :3 *Diagrama de la distribución logarítmica de las especies solubles de sulfuros*

Figura :4 *Mecanismos de auto purificación en lagunas facultativas*

Figura: 5 *Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma*

Figura: 6 Promedio mensual variables climatológicas de nov 2018 a 22 de julio 2019(línea de tendencia para precipitación)

Figura: 7 variables climatológicas (línea de tendencia radiación solar)

Figura:8 Diseño actual sistema de lagunas de estabilización

Figura: 9 Rediseño del sistema de lagunas

AGRADECIMIENTOS

Gracias a DIOS por que me dio salud y vida para haber aprovechado al máximo esta hermosa experiencia de estudiante en la institución que me formó primeramente como persona y segundo,

Gracias a mi esposa y mi hija por que fueron ese impulso final para poder culminar de la mejor forma mi formación, gracias a mi familia (padres y hermanos) que sin el apoyo y ayuda de ellos hubiese más atropellado y difícil el camino, gracias a todos los docentes que sobre la marcha se volvieron grandes amigos y que me fueron moldeando en esa transición de adolescente a adulto como lo fueron MSR. JULIO ISAAC MALDONADO, JORGE LUIS ORTIZ, HECTOR URIEL RIVERA

DEDICATORIA

Mi trabajo de grado lo dedico primeramente a DIOS por que siempre me guió a hacer las cosas correctas y a mantenerme como una persona íntegra e intachable durante mi periodo académico, como segundo a mis padres y hermanos que apostaron todo por darme los estudios llegando inclusive a dejar de trabajar principalmente para ellos por satisfacer mis necesidades dentro de lo que la universidad demanda y por ultimo pero no menos importante a mi esposa Cindy Johana y a mi hija sara Sofia que llegaron a mi vida en el momento que más las necesité convirtiéndose desde aquel entonces en mi mayor fuente de motivación hasta el día de hoy, y al doctor Juan Esteban Correa que desde el primer momento que pisé la universidad fue una bendición contar con su apoyo en todas las áreas hasta el día de hoy que culminé las prácticas en la empresa el cual gerencia

Resumen del proyecto

El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. Estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos (Rolim.M, 2000).

En la búsqueda de soluciones para el tratamiento de las aguas residuales domésticas aplicando tecnología de bajo consumo de energía, dentro de los procesos biológicos, se ha promovido la utilización de las lagunas de estabilización, los procesos anaerobios de alta tasa, los tratamientos primarios de alta eficiencia, las zanjas de oxidación, los filtros percoladores, los humedales naturales y artificiales o combinación de estos procesos.

El presente proyecto se enfocara principalmente en la evaluación y monitoreo continuo de la combinación de procesos que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización de la planta extractora bpd, la cual consta de 6 lagunas de estabilización compuestas inicialmente por 2 lagunas ecualizadoras reductoras de temperatura, donde se reduce una gran parte de natas y espumas y un porcentaje de la temperatura de ingreso al sistema seguidas de 2 lagunas anaerobias donde se lleva acabo gran parte del proceso biológico-digestivo mediante los microorganismos allí presentes y posteriormente las 2 lagunas facultativas donde también se presenta sedimentación de partículas y reducción de materia orgánica producto del proceso metabólico generado en la zona facultativa de dicha laguna.

Se efectuara un diagnostico el cual nos permitirá identificar aspectos influyentes dentro de cada uno de los procesos como son los parámetros de diseño y los parámetros de operación que determinan la eficiencia del sistema y que nos permitirá proponer si fuese necesario

optimizaciones en cada una de las unidades que lo requiera que permitan aumentar la eficiencia y seguir garantizando el cumplimiento de la resolución que cubre los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado público como lo es la resolución 0631 de 2015

1. Introducción

La eliminación de aceites y grasas mediante degradación biológica, aunque es posible, presenta una serie de dificultades que se deben salvar, tanto en condiciones aerobias como en anaerobias. En primer lugar, el aceite y las grasas no disponen de una composición que permita su biodegradación si no se dosifican productos químicos o se mezclan con otros residuos, de manera que los microorganismos hallen todos los nutrientes que necesitan para su crecimiento. En segundo lugar, el proceso biológico no soporta bien fluctuaciones en el caudal o en la carga de entrada. Además, en un proceso aerobio, la biodegradación de aceites y grasas conlleva un gran consumo de oxígeno, lo cual requiere un elevado consumo de energía y unos costes de operación elevados. (envitech, 2019)

La implementación de las lagunas de estabilización en algunos municipios colombianos, es atractiva en términos económicos, pero han producido algunos rechazos por parte de las comunidades aledañas por la generación de malos olores. También se ha detectado mal funcionamiento de las mismas, ocasionado posiblemente por aspectos constructivos y/o de operación y mantenimiento, puesto que se han tenido en la concepción de ser sistemas que pueden trabajar sin ninguna supervisión. La zona costera colombiana, ha sido una de las que más ha construido lagunas de estabilización. En Antioquia se cuenta con lagunas de estabilización en los municipios de Necoclí, Arboletes, Concepción, La Ceja, Puerto Triunfo y Santa Fe de Antioquia. En los municipios de Puerto Berrío y Maceo están en construcción. Actualmente existe la necesidad de realizar estudios que analicen el funcionamiento de las lagunas implementadas en nuestro país, para fundamentar los diseños futuros que se efectuarán en otras poblaciones. (UDEA, 2008)

De acuerdo con esto, se definió como objetivo central de esta investigación la optimización del sistema de lagunas de estabilización utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la planta extractora de aceite de palma con el fin de poder determinar el comportamiento actual de dicho sistema y poder establecer la eficiencia dentro del mismo que permita hacer las respectivas recomendaciones a cada uno de los procesos que allí se ejecuten y que requieran demanda del recurso hídrico que generen un vertimiento, para esto estipuló varias etapas que fueron diagnóstico del sistema de lagunas y de fuentes de captación, caracterización físico-química de las mismas y respectivas optimizaciones a toda unidad que lo requiera.

2. Planteamiento del problema

La necesidad de realizar estudios que analicen el funcionamiento de las lagunas implementadas en nuestro país, se hace prioritaria, puesto que estos sistemas Deberán ser bien fundamentados en diseños futuros para minimizar de esta manera problemas de funcionamiento que se perciben la mayoría de ellos en la vereda GUAPÁ del municipio de CHIGORODO ANTIOQUIA donde la empresa extractora de aceite de palma tiene adentro de sus instalaciones un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por una serie de lagunas de estabilización que a su vez generan una serie de vertimientos al río de dicha comunidad que si bien está dentro de lo que establece la norma posee concentraciones que en algún momento puedan afectar a la fauna por lo repetitivo que se vuelve tal acción (vertimiento), por tal motivo se hace necesario el constante monitoreo de dichas unidades y procesos para la posterior recomendación en la unidad que lo requiera bien sea para reducir las concentraciones de materia orgánica o para la disminución de la temperatura

2.1. Pregunta problema.

De lo anterior han surgido diversas dudas, que se unificaron estableciendo las siguientes preguntas de investigación:

¿El sistema de LAGUNAS DE ESTABILIZACION (ecualizadora, anaerobia y facultativa) cumple con los estándares de eficiencia que establece la norma para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales?

¿El actual sistema de lagunas de estabilización de la empresa bioplanta necesita de una actualización y/o optimización en alguna de sus unidades o procesos?

¿Puede mejorarse el funcionamiento de las lagunas de estabilización de la empresa, tendiente a aumentar la aplicación de carga orgánica?

2.2. Hipótesis

si dentro de la revisión continua de cómo se comporta el sistema hidráulicamente se llega a la conclusión de que es el que más favorece los procesos de remoción de la materia orgánica del complejo de lagunas en estudio, entonces el proyecto estará bien concebido desde el punto de vista en cuanto a parámetros de diseño se refiere, por lo tanto, los problemas ambientales asociados con la implementación de ésta alternativa, para el tratamiento de las aguas residuales del proceso industrial en la vereda de GUAPÁ van más allá del solo diseño y construcción del proyecto en sí, sino a factores ambientales propiciados por su localización y lo que representa este en cuanto a términos sociales por la dependencia de la comunidad del afluente en el cual se realizan las descargas de la planta .

2.3. Justificación

Este proyecto nace a raíz de la necesidad de garantizar que se cumpla con lo establecido en la resolución 0631 de 2015 (por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones) debido a las comunidades que se asientan en zonas aledañas al canal que realiza la descarga al río GUAPÁ, en el cual la mayor parte de esta depende de este afluente para satisfacer sus necesidades básicas, y estas se ven afectadas seriamente cuando las descargas no son controladas impactando de forma directa el ecosistema por el alto contenido de materia orgánica presente en el efluente

3. Generalidades

3.1. Ubicación

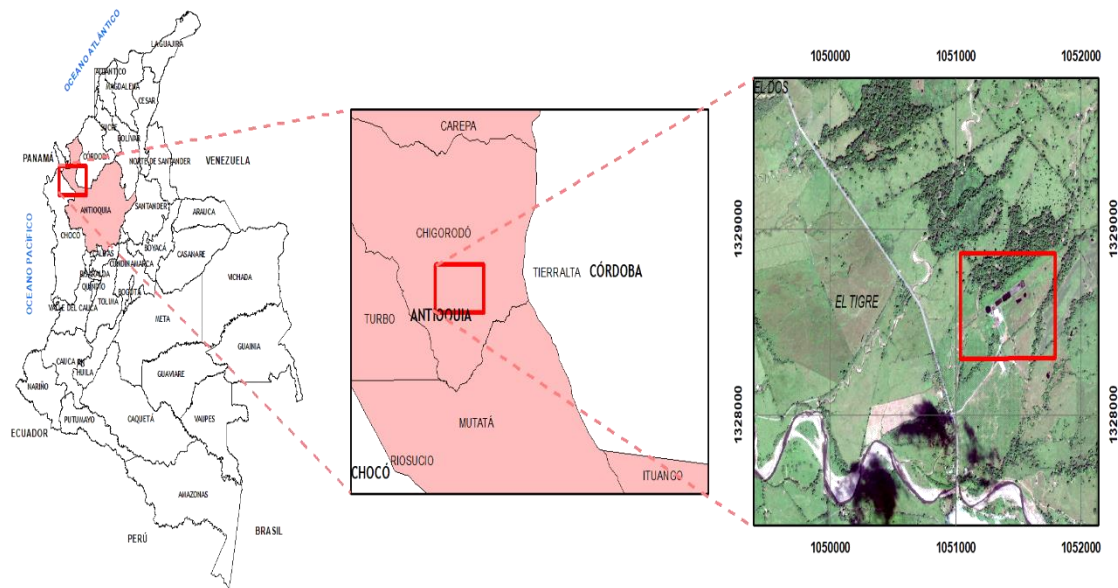
El Municipio de Chigorodó está localizado al noroeste del Departamento de Antioquia, la cabecera se encuentra a una altura de 34 m.s.n.m y la temperatura promedio en la cabecera es de 28 °C. Posee una extensión geográfica de 608 Km² de los cuales 3 Km² son urbanos y los 605 Km² restantes corresponden al área rural. La extensión del municipio de Chigorodó es de 608 km², de los cuales 580 corresponden a clima cálido y los otros 28 restantes a clima medio.

Fue erigido municipio en el año de 1912 y está conformado geopolíticamente por una zona urbana, un corregimiento, Barranquillita y 32 veredas entre las que se encuentran algunas muy desarrolladas como las veredas: El Venado, Guapá y El Vijao. La población asciende a 47.328 habitantes.

Chigorodó limita al norte con el Municipio de Carepa, por el oriente con las cumbres de la Serranía

de Abibe, límite con el departamento de Córdoba; por el sur con el Municipio de Mutatá, y por el oeste con el Municipio de Turbo. La Carretera al Mar llegó hasta el municipio en el año de 1947, es la única vía que, en el Departamento de Antioquia, conduce al municipio desde Medellín, la longitud hasta allí es de 306Km y lo comunica con los otros municipios del Urabá Antioqueño, la carretera se encuentra pavimentada en su totalidad. (desarrollo, 2018)

Figura 1: ubicación de la vereda GUAPÁ



Fuente: (Google EARTH)

3.2. Geografía:

3.3. Descripción Física:

Chigorodó, con una población que supera los 60 mil habitantes, se levanta a una altura sobre el nivel del mar de 34 metros, una temperatura promedio de 28 grados centígrados, se encuentra bañado por un enorme potencial hídrico comprendido en los ríos: Juradó, Guapá, León y Chigorodó, todos alimentados por la Serranía de Abibe.

Sus amplias llanuras vestidas de reverdecidos pastizales, bañados por las brisas mañaneras de Abibe, se han vuelto propicias para el desarrollo ganadero. Sus grandes extensiones de banano la hacen ver desde las alturas como un tapiz de esmeralda, sus cordilleras ricas en maderas, sus gigantescos bancos de agua y oxígeno la convierten en una potencia natural propicia para explotar con racionalidad y equilibrio. La privilegiada posición geográfica de esta municipalidad, situada en el noroeste antioqueño a 306 kilómetros de Medellín por una carretera pavimentada, la convierten en un enorme potencial para la inversión en diferentes áreas, especialmente la agroindustria, bienes y servicios y de gran proyección para la instalación de nuevas empresas, aprovechando las ventajas del Tratado de Libre Comercio que permitirá millonarias exportaciones desde y hacia el municipio.

3.4. Límites del municipio:

Chigorodó, es un municipio de Colombia, Departamento de Antioquia localizado en la zona de Urabá.

Limita por el norte con el municipio de Carepa, Por el este con el departamento de Córdoba, Por el Sur con los municipios de Mutatá y Turbo, Por el oeste con el municipio de Turbo.

Su cabecera dista 306 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia.

3.5. Extensión total: 608 Km²

3.6. Extensión área urbana: 3 Km²

3.7. Extensión área rural: 605 Km²

3.8. Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 34m

3.9. Temperatura media: 28° C

3.10. Distancia de referencia: 306km-medellin

3.11. Ecología:

Chigorodó ofrece posibilidades para el ecoturismo, desde la Serranía de Abibe, los ríos, Juradó, Guapá, León y Chigorodó, balnearios, estaderos con todas las comodidades, así como en las distintas fincas ganaderas y bananeras.

3.12. Economía:

- Agricultura: Banano, Arroz, Plátano, Maíz, Yuca

- Ganadería.

- Minería.

- Artesanías: la comunidad produce canastas y molas de los indígenas catíos y cunas.

4. Marco teórico

4.1. Agua

El agua es un compuesto que se forma a partir de la unión, mediante enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula molecular es H₂O y se trata de una molécula muy estable. El agua es una sustancia elemental que permite la vida en nuestro planeta, es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que en grandes masas adquiere un color azul. La composición y estructura molecular del agua son responsables de las propiedades físico-químicas que la distinguen de otras sustancias. (AMBIENTAL, 2017)

4.2. Estados físicos

El agua es una sustancia que se encuentra en el ambiente en cualquiera de los tres estados de la materia sólido, líquido y gaseoso. En su estado sólido, presenta menor **densidad** que en su fase líquida, forma estructuras ordenadas en las que cada molécula de agua queda establemente unida a otras cuatro moléculas. En su estado líquido, las moléculas tienen una elevada fuerza de cohesión que las mantiene dinámicamente unidas, consecuencia de la rápida formación y ruptura de los enlaces entre estas moléculas. Finalmente, en su **fase gaseosa**, las moléculas se encuentran muy separadas y en desorden. (AMBIENTAL, 2017)

4.3. Tipos de aguas

Agua Potable. Agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

Agua salada. Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/l).

Agua salobre. Agua que contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina. La concentración del total de sales disueltas está generalmente comprendida entre 1000 - 10 000 mg/l. Este tipo de agua no está contenida entre las categorías de agua salada y agua dulce.

Agua dulce. Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.

Agua dura. Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.

Agua blanda. Agua sin dureza significativa.

Aguas negras. Agua de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos. Puede ser una combinación de residuos, líquidos o en suspensión, de tipo doméstico, municipal e industrial, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan estar presentes.

Aguas grises. Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.

Aguas residuales. Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

Aguas residuales municipales. Residuos líquidos, originados por una comunidad, formados posiblemente aguas residuales domésticas o descargas industriales.

Agua bruta. Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o agua que entra en una planta para su ulterior tratamiento.

Aguas muertas. Aguas en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.

Agua alcalina. Agua cuyo pH es superior a 7. (cuidodelagua, 2009)

4.4. Tipos de tratamientos de aguas

Tratamiento de agua potable

Se denomina estación de tratamiento de agua potable (ETAP2) al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

-Combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de potabilización) para alcanzar bajas condiciones de riesgo,

-Tratamiento integrado para producir el efecto esperado,

-Tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento; por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta.

tratamientos de aguas residuales

Las aguas residuales pueden provenir de actividades industriales o agrícolas y del uso doméstico.

Los tratamientos de aguas industriales son muy variados, según el tipo de contaminación, y pueden incluir precipitación, neutralización, oxidación química y biológica, reducción, filtración, ósmosis, etc. En el caso de agua urbana, los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Las depuradoras de aguas domésticas o urbanas se denominan EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales), y su núcleo es el tratamiento biológico o secundario, ya que el agua residual urbana es fundamentalmente de carácter orgánico en la hipótesis que se dan los vertidos industriales se tratan aparte.

Tipos de tratamiento de aguas residuales de origen urbano

Pretratamiento. Busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, desarenadores y desengrasadores. Dentro de estos, los más utilizados son:

Desbaste: Es un proceso mediante el cual se eliminan los sólidos de mayor tamaño para evitar entorpecer o dañar los equipos utilizados para el tratamiento. Comúnmente se utilizan cámaras de reja o cestas con malla metálica que evitan el paso de elementos entre 10 y 20 milímetros o más.¹

Desarenador: Como su nombre lo indica, sirve para separar el material terroso o arenoso de carácter no orgánico.

Desgrasador: Se utiliza para remover las grasas que acumulan en la parte superior del agua.

Tratamiento primario o tratamiento físico-químico: Busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química comúnmente utilizada en tratamiento de algunas aguas de origen industrial.

Algunos de los métodos utilizados son:

Flotación: cuando la materia suspendida tiene una densidad inferior o similar a la del agua, no ocurre la sedimentación, por lo tanto, es necesario aplicar este proceso, que consiste en generar una gran cantidad de burbujas de aire que dirigirán hacia arriba estas partículas, dando como resultado su concentración en la superficie. De esta forma queda un sobrenadante fácil de remover. Este método es ideal para la remoción de aceites, grasas y emulsiones.¹

Coagulación-Floculación: hay casos que la materia en suspensión está formada por partículas muy pequeña que no son capaces de sedimentar o lo hacen demasiado lento. En estas situaciones se agregan sustancias químicas que generan la coagulación de estas partículas y favorecen su floculación y sedimentación.¹

Tratamiento secundario o tratamiento biológico: se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Suele aplicarse tras los anteriores. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica en sus diversas variantes de fangos activados, lechos de partículas, lagunas de oxidación y otros sistemas o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico: desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes).

Tratamiento de aguas residuales por medios biológicos

Este tipo de plantas de tratamiento constan de un biodigestor anaerobio (que como su nombre lo dice digiere las aguas negras) y un sistema de humedales artificiales que asemejan a la naturaleza para terminar el proceso de limpieza del agua tal como sucede en el medio natural por medio de plantas como carrizos o alcatraces que son muy eficientes al depurar el agua después del proceso de digestión biológica. La eficiencia de este sistema para la remoción de coliformes (fase biodigestor) en función de efecto filtro eliminando microorganismos patógenos por exposición de ambientes adversos, tiene una tasa de 80 hasta al 90 %, complementándose con la segunda fase (humedales) al 100 % de eliminación de bacterias patógenas.

Este sistema tiene grandes ventajas como el costo de construcción y mantenimiento que puede llegar a ser mucho menor que el de una planta de tratamiento tradicional, también puede ser un atractivo visual de la comunidad donde se encuentre y lo más importante de todo es que el agua que se obtiene es de una gran calidad que se puede utilizar para regar, cultivos, parques y jardines.

(wikipedia, 2017)

Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son estructuras sencillas de tierra, abiertas al sol y al aire, las cuales constituyen los recursos naturales a que pueden recurrir para lograr su misión. Son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada.

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta simple descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

-Es un proceso natural de autodepuración

-La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores.

-Se presentan, procesos físicos de remoción de materia suspendida.

-Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.

-Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas, residuales. Por lo

tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectarse como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual.

El tratamiento a través de lagunas tiene tres objetivos:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un gran peligro para la salud.
- Utilizar su efluente para reúso con otras finalidades como agricultura.

Por lo tanto, los factores que influyen sobre la calidad deseada para el efluente de las lagunas de estabilización dependen de la visión de los diferentes sectores.

Según Mendonça (1990), las principales ventajas de los sistemas de estabilización son:

- Bajo costo
- Nulo consumo energético
- Simples de construir y operar
- Confiables
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas
- Elevada estabilización de la materia orgánica

La única desventaja de las lagunas de estabilización es que requieren más terreno que cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales.

En general, las lagunas de estabilización pueden clasificarse en cuatro tipos:

a) **Aerobias o de alta tasa:** Donde la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realiza en presencia de oxígeno disuelto, el cual se suministra en forma natural o artificial.

b) **Anaerobias:** La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).

c) **Facultativas:** La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Las primeras se mantienen en él, estrato superior de la laguna, mientras que, en el inferior, se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. En algunos casos puede haber aeración artificial en parte de ellas.

d) **De maduración:** Cualquier tipo de laguna se puede utilizar para tratar aguas residuales domésticas. Las lagunas aeradas se utilizan normalmente para tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas de alta carga, mientras que las no aeradas se emplean casi en su totalidad para tratar residuos municipales. Las anaerobias se utilizan para tratamiento de residuos líquidos de origen industrial con elevado contenido de materia orgánica, casi siempre se emplean como el primer paso de un sistema lagunar con alta carga.

El término lagunas de maduración o de pulimento se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares en serie o a las unidades que mejoran el efluente de otros sistemas de tratamiento biológico. Este tipo de laguna se diseña primordialmente para remover

microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos desinfectantes. También, se utilizan para nitrificar efluentes.

Transformación de los constituyentes de las aguas residuales

Remoción de la DBO

Las lagunas son reactores que funcionan con una baja concentración de microorganismos. En todas las lagunas, excepto en las anaerobias, la DBO soluble se reduce mediante oxidación bacterial, mientras que la DBO particulada se remueve por sedimentación. La transformación biológica que ocurre en las lagunas facultativas y anaerobias se produce en forma anaerobia. La remoción de DBO en una laguna depende del tiempo de retención y de la temperatura del agua.

Remoción de sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos en el afluente se remueven en las lagunas por sedimentación. La mayoría de los sólidos suspendidos encontrados en el efluente de estos sistemas están conformados por las propias algas que se desarrollan en la laguna. La concentración de sólidos suspendidos en el efluente puede alcanzar valores de 140 mg/L en lagunas aerobias, y de 60 mg/L en lagunas con aeración. Si el efluente de un sistema con lagunas se somete a un tratamiento adicional sobre el suelo, o si se reutiliza en labores de riego, la concentración de algas carece de importancia; sin embargo, puede que no se alcance el cumplimiento de una norma de vertimiento, ya que la remoción de algas es bastante difícil. Por tanto, en muchos casos se requiere la implementación de procesos adicionales para conseguir la remoción de estos sólidos en suspensión.

Algunos procesos que se pueden emplear para mejorar la calidad de efluente de una laguna, con respecto a la concentración elevada de SST son:

- Filtros de arena intermitentes

- Micro tamices
- Filtros de grava
- Flotación con aire disuelto (FAD)
- Plantas acuáticas flotantes
- Humedales artificiales

Remoción de nitrógeno

La remoción del nitrógeno en los sistemas con lagunas se obtiene como resultado de la combinación de mecanismos que incluyen volatilización de amoníaco (la cual depende del pH), captura de algas, nitrificación/desnitrificación, acumulación de lodos, y adsorción sobre los sólidos del fondo.

Remoción de fósforo

La remoción del fósforo en los sistemas de lagunas es mínima, a menos que se adicionen químicos para promover su precipitación. La adición de reactivos químicos como el alumbre o cloruro férrico se ha empleado con gran éxito para remover el fósforo hasta valores por debajo de 1 mg/L (Reed et al, 1995).

La aplicación de este tipo de sustancias químicas se puede realizar en forma continua o intermitente. En las lagunas con descarga controlada se sugiere la aplicación de reactivos químicos en forma intermitente. La aplicación continua requiere de una cámara de mezcla que se ubica con frecuencia entre las dos lagunas o entre la última laguna y el clarificador final.

Remoción de organismos patógenos

Los sistemas con varias lagunas y tiempos de retención altos presentan buenas remociones de bacterias, parásitos y virus. La remoción de organismos patógenos en sistemas con lagunas se presenta como consecuencia de la muerte natural de estos organismos, por sedimentación y por adsorción; los helmintos y los quistes y huevos de parásitos se sedimentan en el fondo de la laguna.

Los sistemas con tres lagunas y un tiempo de retención cercano a 20 días, al igual que los sistemas aireados que cuentan con una laguna de sedimentación antes de la descarga, proveen remociones más que adecuadas con respecto a helmintos y protozoos.

Lagunas aerobias

Lagunas aerobias con oxigenación natural

Los sistemas de lagunas aerobias se usan principalmente para la producción de algas y requieren grandes áreas por unidad de DBO estabilizada comparadas con los sistemas facultativos o anaerobios (Ovano, 1981).

Una laguna aerobia sin aeración superficial se puede diseñar para una producción máxima de algas o de oxígeno (lagunas aerobias de alta tasa), o bien, para mantener las condiciones aerobias a través de toda la laguna (lagunas aerobias de baja tasa). En este tipo de reactores, el oxígeno es provisto por la fotosíntesis y la reaeración. En general, el tiempo de retención es de 3 a 5 días con profundidades de 0.3 a 0.45 m y remociones entre el 80 y 95 % de la DBO soluble. La concentración de DBOT, que incluye la producida por las algas excede, y en mucho, la concentración de la DBO del influente, pero como las algas no forman parte de la carga contaminante, se deben separar antes de evaluar la eficiencia, de la laguna 1 (Ovano, 1981). Los lodos que sedimentan en la laguna deben ser removidos una vez cada 2 a 4 años para evitar, la formación de capas anaerobias.

Las lagunas aerobias de baja tasa se aplican como un postratamiento a efluentes secundarios por lo que requieren tiempo de retención mayores para garantizar un tratamiento adecuado.

El proceso para diseñar lagunas aerobias es similar a los empleados para lagunas facultativas, con base en la carga orgánica superficial y el tiempo de retención hidráulico. Las plantas de mayor tamaño se diseñan como reactores de flujo completamente mezclado, usando dos o tres reactores en serie. Una segunda aproximación es el uso de ecuaciones que consideran una cinética de primer orden como la desarrollada por Weliner-Williellm para un reactor con un régimen arbitrario (entre un flujo pistón y uno completamente mezclado).

Lagunas aereadas de forma mecánica

Por lo común, son tanques con profundidad de 2 a 6 m en el cual el oxígeno, es, proporcionado por difusores o sistemas mecánicos de duración.

Las lagunas de aeración se clasifican en:

- Aereadas con mezcla, completa
- Aereadas con mucina parcial

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias son poco empleadas debido a los problemas relacionados con el olor. A finales de 1940, Parker demostró que si no se excede una determinada carga orgánica los gases malolientes no son de consideración.

La digestión anaerobia es más lenta que la reacción aerobia. En las lagunas anaerobias una gran parte de las partículas coloidales están bajo coalescencia formando natas y lodos que aceleran la remoción de la DBO5 suspendida por adsorción (Ouano, 1981). La digestión anaerobia es muy sensible, a los cambios de pH y no tiene lugar fuera del intervalo de 6.0 a 8.0, de tal manera que se requiere suficiente alcalinidad.

Las lagunas anaerobias en general reciben altas cargas orgánicas y no cuentan con zonas aerobias. Definidamente, son de 2.5 a 5 m de profundidad. Las dimensiones se seleccionan dando una relación mínima del área superficial y volumen de manera que tenga una retención calorífica máxima (Eckenfelder Jr., 1989). La remoción de la DBO en el sistema es debida a la sedimentación y adsorción de los sólidos.

El efluente de una laguna anaerobia es de color amarillo a café oscuro con sólidos suspendidos blancos. Posterior a la laguna anaerobia se requiere una laguna facultativa para pulir el efluente y mantener el nivel de DBO5 en los estándares por reoxigenación.

Actualmente, debido a su pequeña área, las lagunas anaerobias se dimensionan por carga orgánica superficial. Las ecuaciones son similares a las de las lagunas facultativas e involucran cargas orgánicas superficiales del orden de 280 a 4,500 kg/ha.d. La experiencia Latinoamericana sugiere un tiempo de retención mínimo (tomando en cuenta la zona de almacenamiento de lodos) de 1 día.

El valor permisible de diseño de C_v se incrementa con la temperatura, pero existen pocos datos que permiten el desarrollo de una adecuada ecuación de diseño. No obstante, las recomendaciones generales de Mara y Pearson (1986 en CNA e IMTA, 1994), las cuales se muestran en la Tabla 2, pueden ser utilizadas para propósitos de diseño en México.

Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o laguna fotosintéticas. El tiempo de retención hidráulica (t) varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje, así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas.

El parámetro de diseño y de operación más importante de las lagunas facultativas es la producción de oxígeno. La principal fuente es la fotosíntesis de las algas y, la segunda, el aire atmosférico transferido por la acción del viento. El oxígeno es usado por las bacterias aerobias para la estabilización de la materia orgánica en la capa superior. Entre la capa aerobia y anaerobia, la concentración del oxígeno disuelto (OD) varía de la sobresaturación al medio, día a un nivel prácticamente no detectable durante las primeras horas de la madrugada.

Las lagunas facultativas pueden sobrecargarse orgánicamente, en este caso, opera como laguna anaerobia. El fenómeno de sobrecarga en una laguna facultativa se refleja en la inhibición del desarrollo de las microalgas por la presencia del sulfuro de hidrógeno, ácidos volátiles o un ambiente fuertemente reductor. La ausencia de luz debida al contenido de materia suspendida en el cuerpo de agua y la absorción de la radiación solar por las natas formadas (generalmente de color negro) fomentan la generación de sulfuro ferroso, limitando también la producción fotosintética de oxígeno. Una laguna así operada se encuentra propensa a un mal funcionamiento, generación de olores ofensivos, propagación de insectos y a una pobre eficiencia.

Métodos de diseño

Diferentes modelos tanto empíricos como científicos han sido desarrollados para

diseñar este tipo de lagunas. Cuatro son las aproximaciones usadas:

Empíricas, semi-empíricas, cinéticas, teóricas

Los modelos empíricos, se fundamentan en una colección y análisis de datos de plantas existentes como los de McGarry y Pescod, USEPA y Canter y Englande; los semi-empíricos se basan en la simplificación de conceptos teóricos de remoción de carga orgánica e hidráulica, ocasionalmente combinados con los resultados obtenidos en plantas piloto a nivel laboratorio (por ejemplo, Mara, Gloyna, Arthur y Yáñez); los modelos cinéticos emplean la teoría cinética de los reactores bioquímicos para tratamiento (Wehener-Wilhelm, completamente mezclado flujo pistón) y los teóricos interrelacionan la teoría cinética con parámetros como materia orgánica, fitoplancton, oxígeno disuelto, nutrientes y lodos (los modelos empleados son los de la relación del oxígeno fotosintético y el de Llavador y Prats). Estos métodos de diseño se presentarán atendiendo al factor principal de diseño.

Lagunas de maduración

Una vez que la DBO ha sido degradada a niveles aceptables para su descarga a corrientes de agua la concentración de los coliformes fecales por lo común es muy alta (10⁶ o 10⁷). En este caso se recurre al uso de lagunas de maduración que además pueden servir de criadero de peces.

Un problema en el diseño de estas lagunas es que no han sido extensamente estudiados los factores que afectan la muerte bacteria. Hoy día, la mayoría de las lagunas de maduración se diseñan con base en métodos empíricos y semi-empíricos a partir de fórmulas desarrolladas para las lagunas

facultativas. Sin embargo, algunos de los estudios reportados en la literatura como el de Oswald, Thirumurti y Marais han revelado que la muerte bacteria depende principalmente de parámetros ambientales y climatológicos. Los parámetros que han sido postulados como aquellos que interfieren son: pH alto (Parhad y Rao), la producción de compuestos extracelulares tóxicos por las algas (Davis y Gloyna), el agotamiento de los nutrientes (McGarry et al.) y la exposición al sol o a la luz ultravioleta (Kapuscinski et al; Moller et al.). Polprasert et al., 1983 (en Quin et al., 1991) atendida de la temperatura, incluyeron los efectos de la concentración de algas, la carga orgánica, la intensidad y duración de la luz, el tiempo de retención hidráulica, la rapidez de degradación del sustrato y el coeficiente de dispersión para la muerte bacteria. Mancini y Ridgewood por su parte, indicaron que la muerte bacteria también depende del coeficiente de extinción de la luz y la profundidad del agua para conseguir un mezclado perfecto. Asimismo, Parhad y Rao determinaron que la generación de efectos antagónicos y antibióticos afectan la tasa de decaimiento bacteria (Quin et al., 1991).

En general, una laguna de maduración tiene una profundidad de 0.9 a 1.5 m. El tiempo de retención depende de la eficiencia de remoción de patógenos usando a los coliformes fecales como indicadores, aunque hay modelos que incluyen la remoción de huevos de helmintos.
(VERACRUZANA, 2014)

Efluentes de plantas extractoras de aceite de palma

Dentro del proceso de extracción del aceite de palma se generan varios residuos que dependiendo de su uso se consideran como tales o como subproductos. Uno de estos son los efluentes líquidos que se obtienen como resultado de los procesos de clarificación, esterilización y de palmisteria a través de hidrociclones. En la Tabla 2 se presenta una caracterización de estos efluentes

Tabla:2 Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia. (Datos de cenipalma)

Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia			
Parámetro	unidad	RANGO	PROMEDIO
PH	PH	3,87 A 5,25	4,55,00
DQO	mg/l	45256-232000	79729,6
TEMPERATURA	°C	53-77	67,4
DBO5	mg/l	18700-175521	48873
ST	mg/l	32482-111029	45669,8
SS	mg/l	19129-88258	35105
GRASAS Y ACEITE	mg/l	6480-80701	18747,1

TABLA1: Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia

Fuente: cenipalma (Promedios de más de 15 plantas extractoras de aceite de palma durante 2 años)

Tabla: 2 *Valores máximos permisibles*

VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EXTRACCIÓN DE ACEITES ORIGEN VEGETAL (RESOLUCIÓN 0631)		
Parámetro	unidad	valor permisible
PH	PH	6 a 9
DQO	mg/l	1,500,00
DBO5	mg/l	600
SST	mg/l	400
SSED	mg/l	2
GRASAS Y ACEITE	mg/l	20

Fuente: MINAMBIENTE 2015

Adicionalmente, los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, contienen cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio 105 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 DBO5 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. 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 además de costosa es muy ineficiente. (Whitthing, 1.979) Se presenta a continuación una descripción general de las principales etapas ocurridas en los procesos de estabilización de la materia orgánica a través de sistemas biológicos anaeróbicos.

4.5. Parámetros de control

Para controlar el comportamiento de los sistemas anaerobios, es necesario cuantificar principalmente los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno

(DQO), Ácidos Grasos Volátiles (AGV), Relación de alcalinidades o Capacidad Buffer (R), potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T) y Alcalinidad en sus formas bicarbonática y total. Otro tipo de control es la carga orgánica (CO), la cual determina la cantidad de materia orgánica aplicada al sistema (ecuación 1) y viene dada en unidades de kg DQO o DBO/día. Al relacionar la CO con el volumen de la laguna o reactor se tiene la carga orgánica volumétrica (COV) (ecuación 2) que determina la cantidad de materia orgánica aplicada por cada metro cúbico de laguna por día (kg DQO/m³/día). La COV está relacionada con la concentración de la DQO, el caudal y el volumen del reactor.

$$(1) \quad CO = C \cdot Q$$

$$(2) \quad COV = C \cdot Q / V$$

Donde:

CO = Carga orgánica en kg DQO/día.

COV = Carga orgánica volumétrica en kg DQO/m³/día.

C = Concentración de DQO en el efluente en kg/m³.

Q = Caudal aplicado en m³/d.

V = Volumen útil del reactor (laguna) en m³.

Las ecuaciones anteriores se relacionan con el tiempo de retención hidráulico, TRH. (ecuación 3 y 4).

$$(3) \quad TRH = V / Q$$

$$(4) \quad COV = C / TRH$$

Otros parámetros de importancia son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) que da una medida de la materia orgánica biodegradable aeróbicamente, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV); estos últimos se asocian generalmente con los microorganismos inoculados en las lagunas (biomasa).

4.6. Parámetros de diseño

La forma de clasificar y, por consiguiente, de diseñar lagunas de estabilización es muy variable y diferente. En la tabla 4 se presentan clasificaciones y parámetros típicos de lagunas de estabilización. La mayoría de los países han establecido criterios de diseño con base en cargas superficiales, cargas orgánicas volumétricas o tiempos de retención, con el objeto principal de asegurar un efluente de calidad tal que satisfaga las normas y requerimientos de descarga de un efluente secundario. Sin embargo, es muy común encontrar que dichos criterios de diseño no aseguran efluentes de calidad secundaria permanente debido al efecto de la pérdida de sólidos suspendidos a la salida de la laguna. Un resumen de los diferentes criterios de diseño y de las innumerables calidades obtenidas de DBO, SS, COLIFORMES FECALES, en efluentes de lagunas de estabilización, indicaría que en condiciones promedio los modelos de diseño permiten cuantificar las estructuras requeridas para las remociones exigidas comúnmente de DBO Y COLIFORMES FECALES. Sin embargo, la variabilidad de calidad de efluentes, en lo referente a sólidos suspendidos, muestra la necesidad de continuar con la investigación de causas y métodos que conduzcan a procesos de diseño, operación y mantenimiento que produzcan consistentemente efluentes con contenido mínimo de sólidos suspendidos.

Teniendo en cuenta la existencia de gran cantidad de criterios o modelos de diseño, es prácticamente imposible seleccionar un único o mejor modelo para predecir las características obtenibles en un efluente de lagunas de estabilización. (ROJAS, 2005)

La tabla 4 incluye datos típicos sobre los parámetros de diseño para los distintos tipos de lagunas (prensa)

Tabla: 3 Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización

TIPOS DE LAGUNAS					
PARAMETRO	aerobia	facultativa	maduración	anaerobia	AIREADA
Régimen de flujo	M.I	...	M.I	C.M
Tamaño de laguna(ha)	0,25-1	1,0-4,0	1,0,4,0	0,2-1,0	1-4,0
Operación	SERIE	SERIE O PARALELO	SERIE O PARALELO	SERIE O PARALELO	SERIE O PARALELO
Tiempo de retención(días)	4,0-6,0	7,0-10	5,0-20	10,0-20	3,0-10
Profundidad(m)	0,30-0,50	1,8-2,5	1,0-1,5	2,5-5,0	3,0-5,0
PH	6,5-10,5	6,5-9,0	6,5-10,5	6,8-7,2	6,5-8,0
Carga DBO5](KG/Hab.d)	80-160	200-400+	15-60	400-1200	800-1500

Conversión de la DBO5	80-95	80-95	60-80	40-80	80-95
Sólidos suspendidos	150-300	40-100	10-30,0	80-160	80-250

FUENTE: (prensa)

M.I = mezclado Intermitente

(*) = múltiples

+ = aumentando la altura hasta 2.5 m puede ampliarse hasta 400

^a = incluye algas, microorganismos y sólidos suspendidos residuales del afluente

C.M = completamente mezclado

5.7. Ecología de las lagunas

Ecología de las lagunas anaerobias.

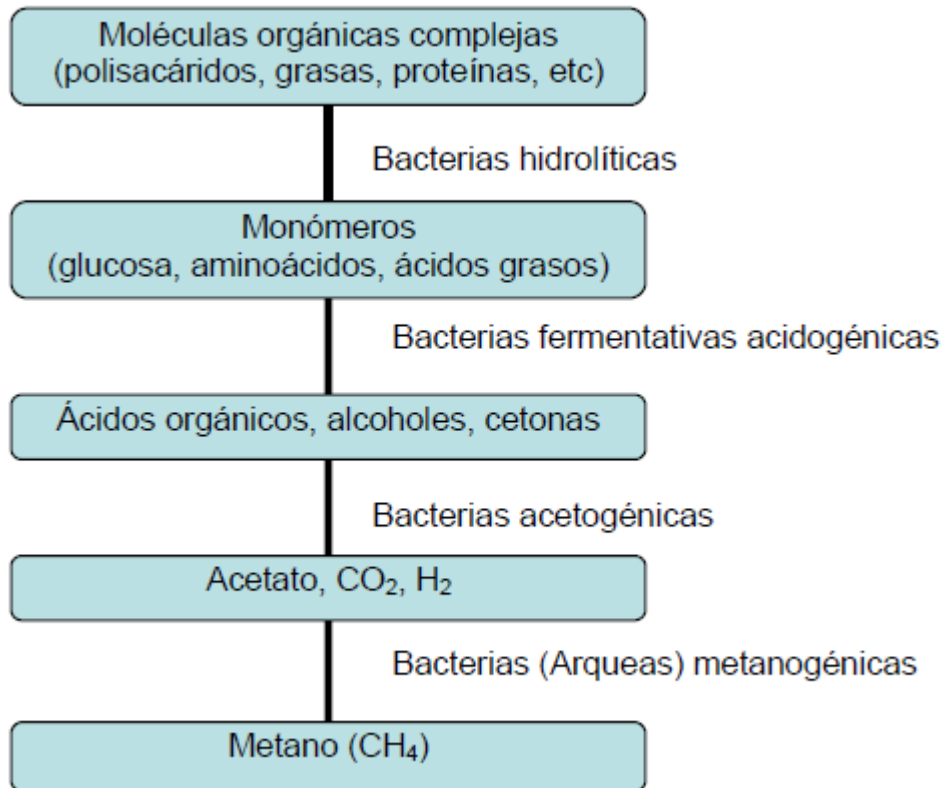
La laguna anaerobia es un biorreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante. Una laguna anaerobia puede considerarse como un proceso anaerobio de tasa baja, en el cual la materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono y metano. Usualmente son abiertas a la atmósfera, pero podrían cubrirse para recoger el metano producido y para controlar la emisión de olores (ROJAS, 2005)

Aunque existe una transferencia atmosférica de oxígeno en la capa superior, la laguna anaerobia recibe cargas orgánicas altas que hacen que su contenido sea anaerobio y que no exista crecimiento algal que produzca oxígeno, es decir, una laguna puede ser mantenida en condiciones anaeróbicas por la aplicación de una carga de DBO que exceda la producción de oxígeno por actividad fotosintética. La fotosíntesis puede reducirse, disminuyendo el área superficial e incrementando la altura. Las lagunas anaerobias pueden tornarse turbias debido a la presencia de sulfuros metálicos reducidos. Esta restricción en la penetración de la luz hace que el crecimiento de algas sea reducido (prensa).

Normalmente existen dos etapas de descomposición anaerobia: en la primera de ellas conocida como fermentación ácida, los materiales orgánicos complejos, incluyendo grasa, proteínas y polisacáridos son desdoblados principalmente en ácidos y alcoholes de cadena corta, utilizando el oxígeno de la materia orgánica o el que se encuentra en aniones ricos en oxígeno, tales como los sulfatos. Los subproductos son gas carbónico (CO₂), hidrógeno (H₂), ácidos orgánicos, ácido sulfhídrico (H₂S) y otros gases malolientes. Los ácidos orgánicos se pueden acumular o servir de alimento para posterior oxidación. En la segunda etapa conocida como fermentación del metano, esos materiales son convertidos a gases

principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Cuervo, en prensa). La actividad sinérgica de los diferentes grupos de bacterias involucradas en la digestión anaerobia de la materia orgánica se puede representar así:

FIGURA: 2 Representación de digestión anaerobia

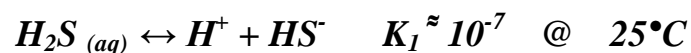


Fuente: (ROJAS, 2005)

A diferencia de lo que ocurre con la fase acidogénica, hay pocos microorganismos capaces de desarrollar la actividad metanogénica, su metabolismo es más lento y además, son mucho más sensibles a distintas condiciones ambientales que se puedan presentar. Las bacterias Arqueas metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir, mueren en presencia de oxígeno disuelto. Por otra parte, estas bacterias son también muy sensibles al pH. Puesto que existe una fase donde se están produciendo ácidos, si no existe en el medio un número adecuado de bacterias metanogénicas que transformen estos productos, y se produce su acumulación, el pH disminuye. Se estima que para valores de pH inferiores a 6.8 la actividad metanógena comienza a presentar problemas, y que por debajo de pH=6.2 se detiene completamente. Cuando esto ocurre se liberan no sólo ácidos

orgánicos que pueden tener olores desagradables, sino otros compuestos como ácido sulfhídrico, mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias. De acuerdo a lo anterior, el mayor problema que presentan las lagunas anaerobias es el olor, dependiendo esta variable del pH y del proceso de oxido- reducción que allí se presenta. Como ya se mencionó anteriormente, uno de los gases que pueden ser emitidos en una laguna anaerobia hacia la atmósfera, es el ácido sulfhídrico (H₂S), con el olor identificado a huevos podridos. Este compuesto resulta, principalmente, de la reducción bacteriana del ion sulfato (SO₄) existente en el agua. La bacteria reductora Desulfovibrio utiliza el sulfato como aceptador inorgánico de hidrógeno y produce una gran cantidad de sulfuros en un medio anaeróbico. Los sulfuros así formados se oxidan a otras formas del azufre, dependiendo de las condiciones de oxígeno, pH y microorganismos presentes en el agua. En esta transformación se pueden presentar las diferentes especies del sulfuro como son el ion sulfhídrico (HS⁻), que puede formarse por la disociación reversible del sulfuro de hidrógeno disuelto; es la combinación de un ion positivo de hidrógeno y el ion bivalente negativo del sulfuro. También se encuentra el ion sulfuroso (S²⁻), que puede formarse por una segunda disociación del sulfuro de hidrógeno del agua. Básicamente está constituido por azufre elemental con dos electrones adicionales. (UDEA, 2008)

En medio acuoso el equilibrio del sulfuro soluble, está representado por las siguientes ecuaciones:



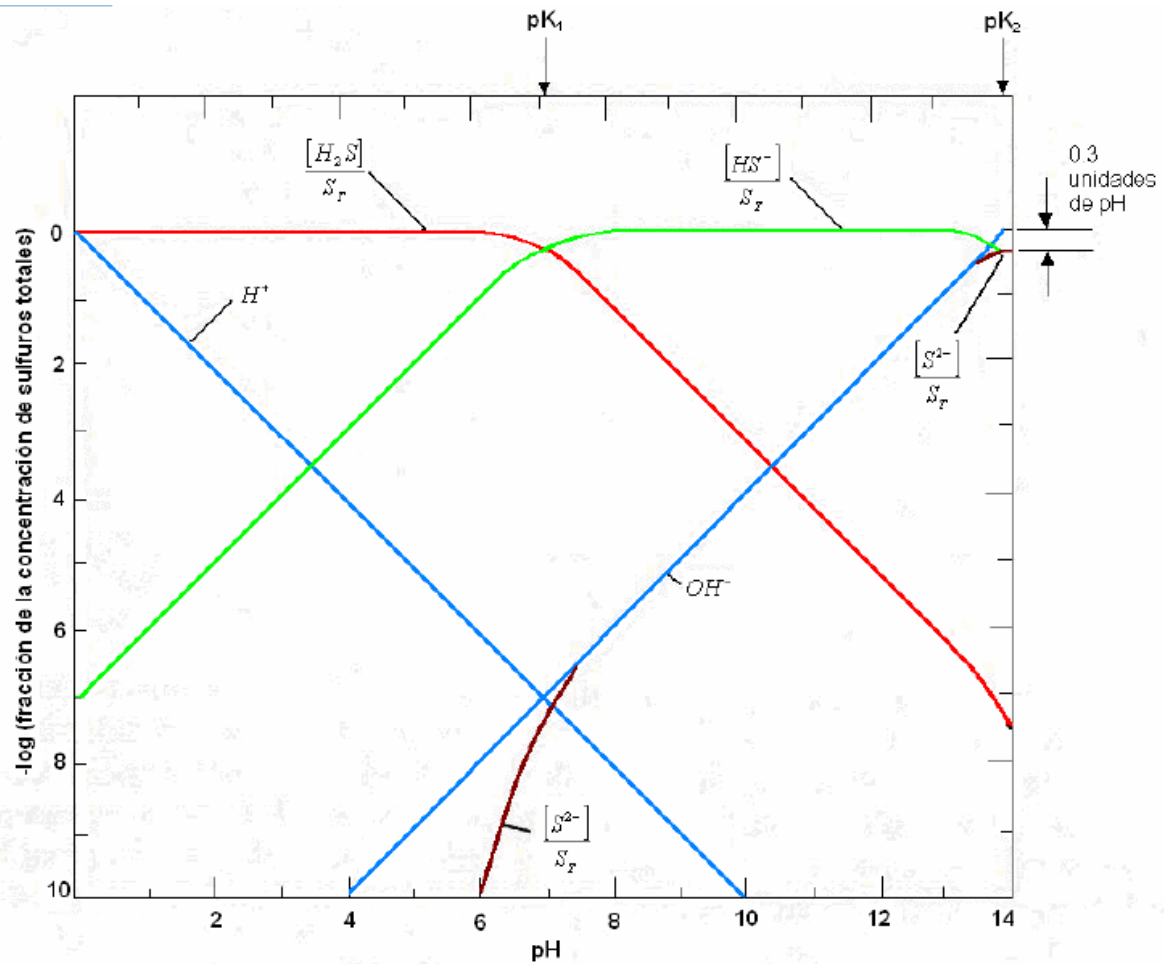
$$\frac{[H^+]. [HS^-]}{H_2S} = K_1$$



$$\frac{[H^+] \cdot [S^{2-}]}{[HS^-]} = K_2$$

De acuerdo al equilibrio del sulfuro soluble, existen relaciones bien definidas entre las concentraciones de las diversas especies solubles de sulfuro y el pH. Cuando se desarrollan estas ecuaciones se obtiene el diagrama de distribución logarítmica de la siguiente figura.

Figura: 3 Diagrama de la distribución logarítmica de las especies solubles de sulfuros.



Fuente: (UDEA, 2008)

Con un pH comprendido entre 6.5 a 8.0 en agua residual, generalmente se encuentra las formas $H_2S(ac)$ y HS^- (de acuerdo al diagrama). Es así como se puede determinar la forma de sulfuro presente en función del pH, calculando la distribución porcentual de la especie en el diagrama.

La transferencia de H_2S a la fase gaseosa depende de la concentración de H_2S disuelto en el agua y está influenciado por el pH. Para unas condiciones dadas se llega a alcanzar una concentración de sulfuro de hidrógeno de equilibrio, de manera que las pérdidas de la fase acuosa se igualen a la

producción por la película biológica (eddy, 1995) Las lagunas anaerobias son utilizadas normalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas con alta carga orgánica y alta temperatura. Cuando se usan como unidades de pretratamiento, el porcentaje de reducción en la carga del desecho es más importante que la calidad del efluente, siendo necesario dar un tratamiento adicional antes de descargar el desecho, generalmente se dispone a trabajar en serie con lagunas facultativas y de maduración (yanez, 1982). (UDEA, 2008)

Ecología de las lagunas facultativas.

Las bacterias y las algas son los dos componentes biológicos principales de las lagunas facultativas y su interacción constituye el efecto ecológico más importante sobre el proceso de auto purificación. Estas constituyen un sistema de tratamiento bioquímico de crecimiento suspendido, sin recirculación de sólidos sedimentados. El crecimiento algal representa, por una parte, el suministro adecuado de oxígeno fotosintético para la actividad aerobia bacteriana y, por otra, la necesidad de removerlas del efluente para impedir que aumenten su concentración de sólidos suspendidos y de materia orgánica biodegradable. La población algal se representa usualmente por la concentración de clorofila "a". Las variaciones locales en radiación solar debidas a la latitud, elevación y nubosidad, influyen sobre el diseño de una laguna de estabilización. Además, la penetración de la luz solar y la disponibilidad de CO₂ determinan la porción de volumen de laguna con producción algal de oxígeno. En las lagunas facultativas la porción inferior es anaerobia y la porción superior es aerobia. La porción aerobia recibe oxígeno de la actividad fotosintética algal y de la reaireación superficial existente a través de la interfaz aire-líquido. Las variaciones de la cantidad de luz incidente producen cambios considerables en las condiciones de una laguna facultativa (UDEA, 2008).

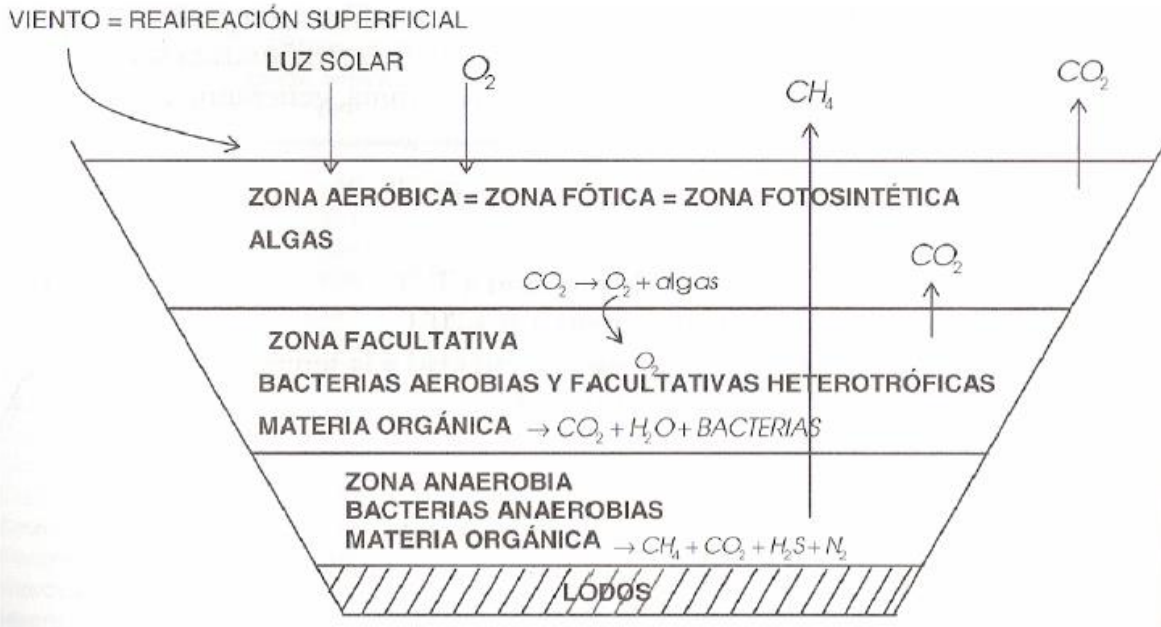
Cuando existe suficiente cantidad de energía solar y de nutrientes, junto con condiciones ambientales como temperatura, normalmente se desarrollan crecimientos de algas en la superficie de la laguna. Las algas utilizan los subproductos de la oxidación bacteriana tales como: gas carbónico, fosfatos y amoníaco; al hacerlo producen oxígeno. Este oxígeno producido (normalmente en la capa de agua cercana a la superficie) puede ser accesible a todas las bacterias de la laguna si se tiene una mezcla adecuada (ver mecanismos de auto purificación en figura 4). La parte suspendida forma depósitos de lodos en el fondo que se descomponen por mecanismos anaerobios (prensa). Cuando no existe luz solar, algunas algas son capaces de ejecutar metabolismo quimiosintético como las bacterias y, por lo tanto, requieren oxígeno para el proceso de oxidación. Por otra parte, las algas pueden padecer metabolismo endógeno para obtener energía mediante la descomposición de su propio protoplasma (ROJAS, 2005).

Dependiendo de la carga orgánica de una laguna, la comunidad microbial varía. En general, los microorganismos de las lagunas son los mismos de los demás sistemas de tratamiento, principalmente bacterias y protozoos, sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año. A diferencia de lo que ocurre con las lagunas anaerobias, el objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido de nutrientes y bacterias coliformes. En una laguna de estabilización generalmente se lleva a cabo la remoción de microorganismos patógenos (virus, bacterias, protozoarios y helmintos) debido a la permanencia prolongada de los organismos dentro del reactor, que favorecen la muerte natural. En el caso de los helmintos su remoción generalmente se realiza mediante sedimentación según (ROJAS, 2005) y Amahmid et al ((2002). Más, sin embargo, los estudios existentes en la cuantificación de patógenos presentan hoy grandes vacíos, porque existe polémica por parte de algunos investigadores en cuanto a que las bacterias utilizadas

como indicadores de la presencia de patógenos en agua, sean las más ideales para detectarlos, como lo menciona (BAEZ, 2002) Incluso se ha encontrado en un sistema consistente de lagunas facultativas, maduración y pulimento, un efluente con quistes de Giardia de concentración cuatro veces por encima de lo permitido en la norma estadounidense para la reutilización del agua, aunque el análisis bacterial no indicaba la existencia de éstos (Quintero et al, 1998). En la remoción de patógenos existe un modelo simple en la desinfección por acción de la luz solar, observándose que la inactivación de *Escherichia coli*, (UDEA, 2008).

Alrededor del 75% del total, es atribuido a este fenómeno (Craggs *et al.*, 2004). También se determina que la inactivación de bacteria Coliforme fecal, Enterococo fecal, Coliphage F+, Coliphage somatic y huevos de Ascaris, puede ser realizada usando constantes de velocidad de primer orden de 0.001, 0.001, 0.001, 0.1 y 0.1 dE-1 respectivamente y el promedio per cápita de velocidad de acumulación de lodo está en el rango 0.021 a 0.036 m³/persona/año . (UDEA, 2008)

Figura: 4 Mecanismos de auto purificación en lagunas facultativas



FUENTE: (ROJAS, 2005)

Factores de influencia. La eficiencia de una laguna, medida como el grado de estabilización de la materia orgánica que entra, es dependiente no sólo de la cinética de los procesos biológicos, sino también, de las características hidráulicas del sistema. El comportamiento hidráulico y biológico de todas las lagunas de estabilización es afectado por diferentes factores, algunos son controlables por el hombre y otros no. Sin embargo, todos deben ser tenidos en cuenta en el diseño del proyecto, cuidando de minimizar el impacto ambiental que pueden ocasionar los factores no controlables por el hombre. Estos factores comunes son:

Temperatura. Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son influenciadas notoriamente por la temperatura. Es una variable que se relaciona con la radiación solar y afecta tanto a la velocidad de la fotosíntesis como el metabolismo de las

bacterias responsables de la remoción de la materia orgánica. Esos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas.

En nuestro medio tropical, donde no se presentan las variaciones estacionales que se dan en otras regiones, y teniendo en cuenta la gran capacidad calorífica del agua almacenada en grandes volúmenes, las variaciones de temperatura en el ambiente no afectan notoriamente la temperatura del agua en la laguna. Es el caso de estudio realizado durante 30 días continuos en un sistema de lagunas de estabilización en el oriente cercano a Medellín, el cual mostró que a pesar de las variaciones bruscas de temperatura en el ambiente (10 °C en horas de la noche y 28 °C al medio día) los cambios de temperatura en el agua no excedieron de 1 °C, es decir, la temperatura es prácticamente constante para todo el volumen de agua, con una temperatura levemente inferior a la media de aquella que la laguna presenta en las horas que la temperatura ambiente es más baja (Cuervo, 1987). En las horas del día, en las cuales la temperatura ambiente supere la temperatura media del agua, ésta absorberá energía, y en la laguna se originará el fenómeno de estratificación térmica. Cuanto más elevada es la temperatura ambiente en relación con la del agua, mayor será el gradiente térmico, y por lo tanto, más notoria será la estratificación térmica (Colombia. OPS, 1999). La producción óptima de oxígeno en lagunas facultativas indica que para algunas especies de algas se realiza en el rango de temperatura de 20 a 25°C. Para temperaturas por encima de los 35°C, la actividad fotosintética de las algas decrece. En las lagunas anaerobias, las bacterias metanógenas crecen mejor cuanto mayor es la temperatura, con intervalo óptimo de crecimiento entre 30-35°C (España. MOPT, 1991). Dentro de la cinética del proceso biológico es necesario determinar la tasa de remoción de la materia orgánica, la cual depende a su vez de la constante de velocidad de reacción (k), que varía con la temperatura de acuerdo con la siguiente relación:

$$K_T/K_{20^\circ\text{C}} = \theta^{(T-20)}$$

donde, k_T = *coeficiente de velocidad de reacción a T°C*

$K_{20^\circ\text{C}}$ = *coeficiente de velocidad a 20 °C*

θ = *constante para corrección de temperatura*

El coeficiente k puede encontrarse a partir de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). De acuerdo a la cinética bioquímica una variación de 10°C en la temperatura produce cambios de aproximadamente 50% en la actividad biológica. Igual consideración debe hacerse para la actividad que se ejerce en los lodos sedimentados, donde la digestión anaerobia es mucho más sensible a las bajas temperaturas, especialmente por debajo de los 17°C. Sin embargo, esta actividad aumenta en proporción de cerca de cuatro veces por cada 5°C de elevación para temperaturas por debajo de 22°C. En los modelos empleados para el diseño de las lagunas de estabilización, el problema radica en asignar un valor apropiado para dicha constante. Para un agua residual en particular, esta constante depende fundamentalmente de la carga orgánica por unidad de área, características de las aguas residuales, temperatura, energía solar disponible, tipo probable de microorganismos, deficiencias nutricionales, presencia de tóxicos, fuente de oxígeno y otros parámetros biológicos (yanez, 1982).

La temperatura también tiene influencia en la tasa de reducción bacteriana, implicando que la tasa de mortalidad de coliformes fecales en lagunas de estabilización es altamente dependiente de la temperatura, donde a mayor temperatura mayor será la remoción de estos microorganismos.

Fotosíntesis. En las lagunas facultativas, la materia orgánica del agua residual doméstica es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el oxígeno producido por las algas. Las algas, utilizando

energía solar, con el CO₂ y el amoníaco producido por las bacterias, sintetizan materia orgánica y producen oxígeno. Durante el día, las algas pueden producir oxígeno en exceso del requerido para la respiración y crear condiciones de sobresaturación y pérdida de OD a la atmósfera. La oxidación fotosintética permite cargas de DBO de hasta 25 g DBO/m³ d; pero en ausencia de oxigenación fotosintética, la oxigenación atmosférica sólo permite cargas de hasta 5 g DBO/m³ d, para condiciones aeróbicas (ROJAS, 2005).

En muchos casos, las algas obtienen el carbón necesario para su crecimiento a partir del ión bicarbonato, cambiando los componentes de la alcalinidad y haciendo que predominen los carbonatos y los hidróxidos. Si el agua contiene concentraciones altas de calcio, el calcio se precipitará como carbonato y ayudará a prevenir el aumento continuo de pH. En lagunas anaeróbicas, con penetración de luz solar, las bacterias rojas del azufre son capaces de efectuar fotosíntesis, usando H₂S en vez de H₂O como donante de hidrógeno (ROJAS, 2005).

Radiación solar. La luz es fundamental para la actividad fotosintética. Esta depende no sólo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Dado que el medio es normalmente muy turbio, debido sobre todo a la presencia de las mismas algas, la luz que penetra en la laguna se atenúa rápidamente y se anula a poca distancia de la superficie. Puesto que la intensidad de la luz varía a lo largo del día y del año, la velocidad de crecimiento de las algas varía también de la misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos fundamentales: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media noche. A partir de este punto los valores decrecen de nuevo a lo largo de la noche.

Vientos. La acción de los vientos es útil cuando es posible la homogenización de la masa líquida, llevando oxígeno de la superficie a las capas más profundas, haciendo que el afluyente y los microorganismos, sean dispersados en toda la extensión de esa masa. Auxilian al movimiento de las

algas, principalmente de aquellas especies desprovistas de movimiento propio y consideradas grandes

productoras de oxígeno, como las algas verdes del género *Chlorella*. Cuando la fotosíntesis no fuere suficiente al existir déficit de oxígeno, el viento puede contribuir para la transferencia y difusión de oxígeno de la atmósfera hacia la masa líquida. Como medida preventiva, se deben construir las lagunas en lugares donde la acción de los vientos dominantes no esté en dirección de las viviendas, considerando además que las lagunas anaeróbicas, las cuales pueden expedir olores desagradables, deben ser construidas por lo menos a 500 o 1000 metros de la comunidad.

Precipitaciones. El efecto inmediato de la lluvia es provocar un aumento del caudal de entrada, por lo que el tiempo de residencia del agua disminuye. Lluvias intensas pueden diluir el contenido de las lagunas rasas, afectando el alimento disponible para la biomasa. El aumento repentino del caudal podrá generar en el efluente grandes cantidades de sólidos, arrastre significativo de la población de algas y el acarreamiento de materiales inorgánicos, principalmente arcilla. Para evitar estos problemas, es conveniente la construcción de estructuras con rebose lateral para desviar los excesos de agua afluyente y además deben construirse zanjas desviadoras de aguas lluvias para contener inundaciones (Rolim.M, 2000).

Área superficial. El área superficial de una laguna de estabilización está determinada en función de la carga orgánica, usualmente expresada en términos de DBO5, aplicada por día, principalmente para las lagunas facultativas. En climas cálidos, cargas orgánicas variando de 150 a 400 Kg. DBO5/ha, Día, han sido usadas con éxito para las lagunas facultativas. Las cargas más bajas se aplican a temperaturas del aire en torno a 20 °C y las más altas temperaturas próximas a 30°C. Las cargas superficiales que exceden de 200 a 250 Kg. DBO5/ha, Día, han sido objeto de problemas ocasionales de malos olores, en cuanto que las cargas que excedan 400 Kg. DBO5/ha. Día,

probablemente llevan a la anaerobiosis, esto es, ausencia de oxígeno disuelto y/o a una caída brusca en la eficiencia total del sistema. Aunque las lagunas anaerobias son dimensionadas en función de las tasas volumétricas y de la relación que existe entre el tiempo de detención, temperatura y eficiencia de remoción, la tasa de aplicación por unidad de superficie puede ser considerada de gran importancia, debido a que puede dar una buena indicación para que la laguna permanezca totalmente anaerobia. Este valor debe estar por encima de un mínimo de unos 1000 Kg DBO/ha/día (prensa).

Tiempo de retención. La actividad biológica en las lagunas está influenciada por las características de circulación del agua. Cuando se proyecta una laguna, se calcula el tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de depuración. Desde el punto de vista de la depuración lo que importa es realmente todo el material que entra en la laguna permanece en ella durante ese tiempo, o si hay diferencias importantes entre el tiempo que una parte u otra del fluido permanece en la laguna. Cuando esto ocurre, la fracción que atraviesa rápidamente el estanque alcanza un grado menor de estabilización que la que permanece embalsada durante más tiempo. Estas diferencias en el tiempo real de residencia provocan siempre la disminución de la eficacia de la depuración.

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de las diferencias de densidad dentro del estanque. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo. La distribución de las aguas residuales en una laguna debe ser lo más uniforme posible, para que se pueda utilizar todo el volumen de la laguna proyectada para el tratamiento, obteniéndose con eso el tiempo de retención ideal (Rolim.M, 2000).

Se puede considerar una laguna como un reactor de caudal continuo que puede presentar estos tipos de flujo: Flujo pistón, mezcla completa, flujo disperso y una combinación de éstos. Los patrones de

caudal de dicho reactor van a depender de estas condiciones de mezcla y por tanto afectarán el tiempo de exposición para el tratamiento y distribución del sustrato en el reactor (Colombia. OPS, 1999). Entre los estudios recientes en cuanto a la hidráulica en las lagunas de estabilización, se tiene la implementación de una técnica para cuantificar la distribución de velocidad y flujo patrón por medio de un procesamiento de imagen, gravando continuamente el flujo, obteniéndose con dicha técnica información rápida de estas variables (shillton, 2006).

Pero sin lugar a dudas, la utilización de trazadores de color ha sido la técnica más usada para chequear el comportamiento hidráulico de una laguna. Con estos trazadores se ha logrado demostrar que hidráulicamente, las lagunas son similares a un reactor de mezcla completa, tal es el caso de estudio del comportamiento hidrodinámico de tres lagunas facultativas, utilizando trazador de tinta Sulforhodamine B (Torres, 1999).

Una laguna completamente mezclada o con recirculación, puede sufrir nitrificación en menor tiempo que una laguna de comportamiento hidráulico flujo pistón sin recirculación, porque es mayor la concentración inicial de bacterias nitrificantes. De esta forma, el sistema flujo pistón es más eficiente en la remoción de materia orgánica. Para lograr flujo tipo pistón se ha experimentado con la instalación de pantallas en las lagunas, favoreciendo de esta manera la eficiencia de sistema (Villasmil *et al.*, 1999). De acuerdo a lo anterior, el tiempo de retención hidráulico tiene alta relación con la remoción de nitrógeno, verificándose que influye en forma directamente proporcional sobre la remoción del mismo (Mayo, 2004).

PH. La actividad fotosintética demanda un consumo grande de CO₂ por las algas. Además, el uso factible de carbono, a partir del ión bicarbonato y la producción de ion OH⁻ hace que se obtengan períodos de pH altos en las lagunas facultativas o aeróbicas. Durante las últimas horas diurnas se pueden observar valores de pH superiores a 9. El desarrollo de un pH demasiado alto hace que la actividad bacterial disminuya, se reduce la producción de CO₂ y se limita el proceso simbiótico

(ROJAS, 2005). En países de clima tropical, las lagunas anaeróbicas con tiempo de retención de 1 a 5 días y profundidades superiores de 3 metros, tienen funcionamiento satisfactorio, con pH óptimo variando de 7 a 7.2, con predominio de la fase metánica sobre la fase ácida de formación de ácidos volátiles.

Oxígeno disuelto. Las concentraciones de oxígeno disuelto, OD, en la laguna, son el reflejo de la intensa actividad fotosintética. Dependiendo de cada estanque, en una laguna facultativa la capa oxigenada superficial presenta una variación diurna de OD y puede que el oxígeno disminuya notablemente durante la noche; pero también puede ocurrir que se observe concentraciones de sobresaturación de OD durante el día, hasta valores determinados, en algunos estudios, de 36 mg/l (ROJAS, 2005).

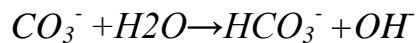
Además de las variaciones diarias en el contenido en oxígeno disuelto, éste presenta también variaciones importantes en profundidad. La profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias, la temperatura y el grado de mezcla inducido por el viento.

Alcalinidad. La alcalinidad en el agua es la medida de la capacidad de neutralizar los ácidos, y se debe principalmente, a sales de ácidos débiles o bases fuertes; estas sustancias actúan como amortiguadores para resistir la caída del pH,

resultante de la adición de ácidos. Una de las características más sobresalientes de las aguas residuales domésticas, es su contenido ácido o alcalino que es regulado o amortiguado por el sistema dióxido de carbono (CO_2) – bicarbonato (HCO_3). A diferencia del pH que es un factor intensivo, la acidez o la alcalinidad en el agua es el resultado de la disociación o la hidrólisis de sus

solutos. Estrictamente hablando, la acidez y/o la alcalinidad no pueden considerarse como contaminantes directos o específicos, sino más bien como una medida de los efectos de una combinación de sustancias y condiciones en el agua. En otras palabras, la concentración del ión H⁺ depende de la concentración de los iones bicarbonato y carbonato, donde el efecto del bicarbonato y carbonato es reducir un cambio en el pH. Esta resistencia o capacidad amortiguadora alcanza su máximo nivel cuando las concentraciones del carbonato y bicarbonato son iguales.

En las lagunas facultativas, el sistema carbonato está sujeto a cambios cíclicos durante el día. Aunque los cambios en la alcalinidad no son tan grandes, sí ocurren cambios en los componentes de la misma, como son los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Las variaciones se deben principalmente a la actividad fotosintética de las algas. Si el CO₂ producido por las bacterias no satisface los requerimientos de las algas durante el día, éstas extraen el CO₂ de los bicarbonatos y carbonatos ocasionando un incremento en el pH de acuerdo a las siguientes reacciones de equilibrio del sistema carbonato:



En los efluentes de lagunas de estabilización que funcionen correctamente, el PH en las horas diurnas fluctúan entre 7 y 10.5, por lo tanto, ocurre un incremento en la alcalinidad y en la capacidad de amortiguación, al mismo tiempo que el oxígeno disuelto aumenta (prensa).

Nutrientes. Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento algal, además del carbono, se mencionan generalmente al nitrógeno orgánico, al fósforo, al azufre, al calcio y al magnesio. El

nitrógeno entra a la laguna de estabilización con el agua residual en forma de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos; además, algunas especies de algas pueden fijar nitrógeno atmosférico. Las proteínas son desunidas, mediante hidrólisis, en aminoácidos, los cuales son descompuestos por las bacterias en amoníaco. El amoníaco soluble se combina con el ión H^+ para formar ión amonio que luego de la oxidación mediante las bacterias nitrificantes produce nitritos y nitratos. Las algas, al utilizar amoníaco como fuente de nitrógeno para construir su material celular, remueven nitrógeno y disminuyen la demanda nitrogenácea de oxígeno del agua residual (ROJAS, 2005).

El contenido de fósforo de las aguas residuales municipales es, generalmente, suficiente para el desarrollo del crecimiento algal. Las algas utilizan fósforo inorgánico y lo asimilan en síntesis celular; las bacterias y las algas son fuente de fósforo orgánico a través de su respiración y descomposición (ROJAS, 2005).

El azufre no es, como el nitrógeno y fósforo, uno de los nutrientes mayoritarios en las lagunas de estabilización. Sin embargo, presentan una trascendencia importante de alguna de sus formas en el proceso de depuración. En el agua residual bruta, los sulfatos son normalmente la única forma presente y mediante reducción bacteriana pasan a sulfuros. Esta transformación tiene lugar en medio anaerobio, pero también puede ocurrir en la zona anaerobia de las lagunas facultativas.

Cuando se da el caso que las trazas de elementos inorgánicos necesarios para el crecimiento biológico, se precipitan como sulfuros inorgánicos, se crea ambientes deficientes en estos nutrientes (eddy, 1995).

DBO y sólidos suspendidos. La producción de efluentes, con DBO alta, en muchas lagunas de estabilización, es el resultado de crecimiento de biomasa suspendida en la laguna y no al escape de DBO del afluente a través de ella; como lo confirman los ensayos de DBO sobre efluentes filtrados

y no filtrados. Esto realza la capacidad de las lagunas para tratar aguas residuales, pero también enfatiza la necesidad de separar apropiadamente la biomasa algal y bacterial del efluente, si se desean efluentes de alta calidad en términos de DBO y sólidos suspendidos totales (ROJAS, 2005).

Potencial redox. Igual como ocurre en las reacciones de ácido base, solubilidad, o formación compleja, las reacciones de oxidación- reducción tienden hacia un estado de equilibrio. Así como los ácidos y bases han sido interpretados como protones donadores y protones aceptores, las reducciones y oxidaciones son definidas como electrones donadores y electrones aceptores.

El entendimiento del equilibrio oxidación-reducción, puede ayudar a indicar si una reacción particular es posible bajo condiciones ambientales dadas. Esto no expresará si la reacción en hecho ocurrirá, pero sin embargo tal entendimiento es útil en la evaluación de cómo las condiciones podrían ser modificadas para fomentar las transformaciones deseables, o para prevenir aquellas que no se desean. Las reacciones de oxidación- reducción pueden ser demasiado complejas, pero aproximaciones gráficas pueden ser útiles para reducir esta complejidad, además que ilustran el significado de factores involucrados para un caso particular (Sawyer, 1978).

El estado de oxidación-reducción de ambientes acuáticos en equilibrio, puede ser expresado en términos de su potencial redox (E). A dicho potencial corresponde unidades en voltios, o también puede ser expresado como el logaritmo negativo de la actividad de los electrones, pE. Estos términos son también directamente relacionados con la energía libre del sistema. En forma análoga ocurre en las reacciones ácido-base, donde el pH se expresa como el logaritmo negativo de la actividad del protón (H^+). Los potenciales redox que pueden presentarse en la naturaleza van desde un mínimo de -0.42 voltios hasta un máximo de +0.82 voltios. El límite inferior corresponde a un ambiente muy reductor, rico en hidrógeno gas, y por tanto, apropiado para el crecimiento de microorganismos anaerobios estrictos, como son las bacterias metanógenas. El límite máximo se produce en ambientes muy oxigenados, y por tanto, oxidantes. A medida que aumenta el potencial

redox del medio, los microorganismos capaces de desarrollarse pasan a ser anaerobios estrictos a anaerobios aerotolerantes, es decir, que resisten la presencia de oxígeno, aunque crecen mejor en su ausencia. (UDEA, 2008)

Cuando una laguna anaerobia presenta muy poca carga, y se favorece el desarrollo de algas en superficie, aumenta el potencial redox, lo que puede producir la muerte de las bacterias metanógenas, dado que el valor óptimo para la fermentación anaerobia de materia orgánica es de -330 (Díaz-Báez, Espitia y Molina, 2002).

Se puede advertir que para un alto valor de pE, habrá una baja actividad del electrón (condiciones de oxidación altas) y si pE es bajo, entonces la actividad del electrón es alta (condiciones de reducción altas). Siendo pE una medida de la energía libre involucrada en la transferencia de electrones, se expresa de la siguiente manera (Snoeyink, 1997):

$$pE = -\frac{\Delta G}{n2.3RT} \quad \therefore \quad pE^\circ = -\frac{\Delta G^\circ}{n2.3RT} \quad y \quad pE^\circ = \frac{1}{n} \log K$$

Donde ΔG , es cambio de energía libre de la reacción

K , es constante de equilibrio de la reacción

n , es número de electrones intercambiados

R , es constante universal de los gases

T , es temperatura absoluta

Lo anterior quiere decir que la escala de energía libre del electrón por mol de electrón, puede ser expresada en ΔG (calorías), en potencial, E (voltios) o en pE (adimensional). Cuando se expresa la energía ganada en la transferencia de 1 mol de electrones a una oxidación de H₂, expresada en voltios, es el potencial redox. Es por esto que, la relación entre pE y E está dada por la siguiente expresión:

$$pE = \frac{FE_H}{2.3RT} \quad \text{donde } E_H \text{ es el potencial redox y } F \text{ es la carga eléctrica}$$

A 25 °C se tiene que $pE = 16.9EH$

Bajo ciertas condiciones es posible medir EH electroquímicamente. La relación

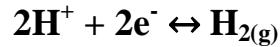
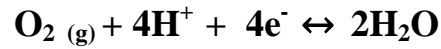
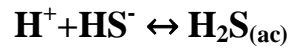
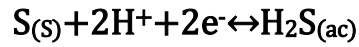
termodinámica del potencial EH, con la composición de la solución está dada por la

ecuación de Peters-Nernst:

$$E_H = E_H^\circ + \frac{2.3RT}{nF} \log \frac{(ox)}{(red)}$$

Diagramas Pe – PH. Se han realizado varios intentos para describir de esta manera, las relaciones de estabilidad de la distribución de varias formas solubles e insolubles a través de representaciones gráficas simples. Esencialmente se han utilizado dos tipos de tratamientos gráficos. El primero de ellos es el equilibrio entre especies químicas, en un particular estado de oxidación, como función de PH y composición de la solución (tal como se indicó en el diagrama de distribución de la figura 3); el segundo es el equilibrio entre especies químicas en un PH particular como función de Pe (o EH). Los diagramas de campo de estabilidad Pe – PH, representan una guía fácil para comprender como

los protones y electrones simultáneamente, cambian el equilibrio bajo varias condiciones y pueden indicar cuales especies predominan, bajo alguna condición dada de Pe y PH (Stumm, 1970). Las ecuaciones a utilizar en el análisis gráfico para las especies de sulfuros son:



Fuente: (ROJAS, 2005)

6. Marco referencial

6.1. Marco legal

Normativa que regula el tratamiento y vertimientos puntuales a cuerpos de agua natural de origen doméstico e industrial

Tabla 4: Normativa legal de Colombia.

NORMA	CONCEPTO
Decreto-Ley 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables, reguló lo relacionado con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico: captación, vertimiento, ocupación de cauces, ordenamiento de cuencas, entre otros.
Decreto 1541 de 1979	Decreto para la concesión de aguas.
Decreto 1594 de 1984	establece los parámetros de los vertimientos, entre otros, se establecen parámetros en relación a la Demanda Biológica de Oxígeno -DBO, Demanda Química de Oxígeno -DQO, PH
El Decreto 1594/84 (artículo 48)	Para el uso industrial, no se establecen criterios de calidad con excepción de las actividades relacionadas con explotación de cauces, playas y lechos, para las cuales se deberán tener en cuenta

	<p>los criterios contemplados en el párrafo 1 del artículo 42 y en el artículo 43 en lo referente a sustancias tóxicas o irritantes, pH, grasas y aceites flotantes, materiales flotantes provenientes de actividad humana y coliformes totales.</p>
Ley 373 de 1997	<p>establece condicionamientos para el Uso Racional del recurso hídrico</p>
Ley 99 de 1.993	<p>Creación del Ministerio de Medio Ambiente. Reordenación del sector publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Organización del sistema nacional ambiental SINA</p>
Decreto 3930 de 25 de octubre de 2010	<p>modifica el Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a ordenamiento del recurso hídricos, usos y calidades del agua y requisitos de vertimientos al suelo y al alcantarillado</p>

7. Objetivos

7.1. Objetivo General

optimizar el sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la empresa extractora de aceite de palma en la vereda **GUAPÁ-CHIGORODÓ** Antioquia con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa 0631 de 2015.

7.2. Objetivos específicos

-Realizar el diagnóstico base de las condiciones actuales del sistema de lagunas de estabilización de los procesos de la extracción de aceite de palma en la empresa extractora de aceite de palma en la vereda **GUAPÁ-CHIGORODÓ** Antioquia

-Evaluar el comportamiento de la carga orgánica a través de la caracterización de los parámetros de los efluentes generados en la planta extractora de aceite de palma en la vereda **GUAPÁ-CHIGORODÓ** Antioquia

-Establecer criterios de diseño del sistema de lagunas para la empresa planta extractora de aceite de palma en la vereda **GUAPÁ-CHIGORODÓ** Antioquia que permita optimizar el proceso de degradación de la materia orgánica utilizando la metodología establecida en el RAS 2000.

-Optimización del sistema de lagunas mediante el rediseño, partiendo de las condiciones actuales del sistema actual con base en la información técnica obtenida a lo largo de la investigación

6. Metodología

-SEMANA 1 Y 2

-Se inicio con la recolección de toda la información desde el momento de la construcción del sistema de lagunas, visitas a la CAR y consultas en la literatura sobre el proceso de extracción de aceite

-SEMANA 3 Y 4

-Recorrido por los cultivos de palma africana y conocimiento de todo el proceso de extracción de aceite y labores de laboratorio.

SEMANA 5 Y 6

Se realizo el diagnóstico del sistema de lagunas para determinar el estado de las mismas

-SEMANA 7 Y 8

-Se inicio con la primera de 3 caracterizaciones físico-químicas de la entrada y salidas del actual sistema de laguna estabilizadoras

-SEMANA 9, 10 Y 11

-Con los primeros resultados de la caracterización se hace un nuevo diagnostico para revisar que unidad requeria de optimización o cambio total

SEMANA 12,,13 Y 14

Diseño actual de las lagunas

-Diseño y optimización final que deberían tener las lagunas con la carga que se esta aplicando

6. Diagnóstico del sistema de lagunas de estabilización

El sistema de lagunas de estabilización que hace la recepción de los líquidos residuos del proceso de extracción de aceite de la empresa bioplanta para el desarrollo, cuenta con 10 unidades en la cual cada una cumple con su objetivo dentro de este sistema

a. Cárcamo:

Es la primera unidad que colecta el agua que sale de 3 procesos que son centrifuga, autoclave y recoge cualquier fuga de fluidos que se estén desplazando por algunos de los canales de evacuación, una vez esto colectados son bombeados programadamente a la laguna ecualizadora. Ver anexo 1

b. Lagunas ecualizadoras 1 y 2:

Estas 2 unidades cumplen con una labor específica y es la de inicialmente recepcionar, homogenizar y reducir de un 40 a un 60% la temperatura del fluido ya que su temperatura oscila en promedio entre 80 y 90 °C.

El proceso de homogenización que estas unidades realiza, es una tarea indispensable y determinante para lograr una buena eficiencia de remoción de materia orgánica ya que permite poder garantizar parámetros de diseño, operación y también garantizar las condiciones para que se puedan ejecutar correctamente los diferentes procesos físicos químicos y microbiológicos.

Estas unidades están presentando un gravísimo problema debido al levantamiento de la geomembrana impermeabilizadora que está reduciendo el área útil de la laguna y se está evidenciando una acumulación de biogás que conforme avanza el tiempo aumenta su tamaño y continúa reduciendo el área de la laguna (CH₄-H₂S-CO₂) **VER ANEXO 2**. También existe un problema de desnivel con relación al nivel del suelo entonces por ende cuando se presentan precipitaciones esta unidad empieza un proceso de colección de estas aguas que por un lado es

positivo porque reduce en gran manera la temperatura, pero es negativo porque aumenta el volumen dentro de estas y presentan continuos reboses sin dejar de lado las múltiples fisuras que presentan la geomembrana a lo largo de sus riveras.

c. Caja divisoria de caudal

Esta unidad tiene como única función dividir en $Q/2$ el caudal de diseño para que la proporción del fluido que entra a cada una de las lagunas siguientes sea el mismo y se pueda garantizar el mismo tiempo de retención para ambas, esta caja así como otros aspectos de las 2 lagunas que se acaba de mencionar presenta error en su diseño debido a que dicha caja está ubicada más cerca de una de las 2 laguna que recepción $1/2$ del caudal y la otra mitad tiene que hacer un recorrido mayor para ingresar a la otra laguna. Ver anexo 3

d. Lagunas anaerobias 1 y 2

Estas 2 unidades son las que cada una recibe $1/2$ del caudal total y se encuentran ubicadas en paralelo en las cuales ambas ejecutan su proceso en simultaneo, presenta un problema en el cual se retiró la geomembrana debido al continuo levantamiento de la misma y a la constante reducción el área útil de la laguna entorpeciendo el proceso que allí se lleva acabo.

se han hecho constantes revisiones del subsuelo y no se avistan infiltraciones de líquidos ya que después del retiro de la geomembrana se puso sobre la superficie del fondo de las lagunas un lecho grueso de arena compactado que impide la filtración del fluido que se está tratando. *ver anexo 4*

Las dimensiones de estas lagunas no son las recomendadas con relación al caudal que se está manejando y mucho menos a la carga orgánica que se está aplicando partiendo del hecho que

maneja una profundidad uniforme de 2.5 metros y lo que se recomienda es una profundidad de 5 metros

e. Caja ecualizadora de caudal

Esta unidad recibe los $2 \frac{1}{2}$ de Q que salen de las 2 lagunas anaerobias y los homogeniza para entregárselos a las lagunas facultativas. *Ver anexo 8*

f. Lagunas facultativas

Estas unidades trabajan en serie, se evidenció una gran carencia de actividad metabólica en su fase anaerobia debido a que está enviando continuamente materia orgánica a la superficie la cual debería permanecer en el fondo ya que dicho proceso se debe complementar con la actividad que se genera en la zona facultativa y no enviar el fluido con altos contenidos de materia orgánica a la facultativa final que es lo que está sucediendo, también presenta un problema con la construcción en la división entre lagunas ya que toda el agua que transite por dicha división cae a la laguna siguiente *Ver anexo 5*

g. Canal de vertimiento

Esta es la unidad final donde se controla el fluido final en el cual según sus características visibles es vertido o es reintegrado nuevamente al proceso mediante recirculación, esta acción es controlada por bombeo y una válvula que permite controlar su salida. De igual forma en la salida se ubicaron unas piedras en las que cae el efluente que funcionan como disipadoras de energía y contribuyen también en la caída del fluido que permita aumentar el oxígeno disuelto *ver anexo 7*

h. Actividades con el sistema de lagunas

Se hizo un proceso de cultivo y replicación de microorganismos mediante un inóculo que después de un determinado tiempo se empezó a verter 2 ml por cada metro cúbico del fluido a tratar desde el cárcamo inicialmente, y también a cada una de las lagunas en sus entradas, Después de 5 meses se empezó a ver como cada una de las lagunas empiezan a tornarse más activas dentro de su proceso metabólico incluso llegando a mejorar las características en el vertimiento.

Las lagunas facultativas empezaron a dejar de expulsar materia orgánica para la superficie llegando a la conclusión que cada sistema lagunar está aportando ahora si como se debe una determinada eficiencia que permiten aumentar la eficiencia total, aumentando la actividad microbiana en cada una las lagunas disminuyendo olores y mejorando el aspecto visual a como estaba antes de empezar a hacer el trabajo que se le hizo al sistema

Se han ido recuperando lagunas que estaban totalmente inactivas microbiológicamente y que han aumentado su eficiencia de remoción de materia orgánica

6. Información puntual descripción del proceso de extracción de aceite bpd

INICIALMENTE FRUTA PROCESADA: 900ton/mes

ACTUALMENTE FRUTA PROCESADA: 6500ton/mes **% de aceite/TON:25%**

CONSUMO DE AGUA :1 m3 de agua por tonelada de fruta procesada

a. Recepción de fruta

Donde se recibe toda la materia prima de cada uno de los productores para el proceso de extracción de aceite



Fuente: Elaboración propia

b. Embalado de la fruta hacia cocción(esterilizado)

Área donde se llenan las vagonetas con la fruta antes de su cocción



Fuente: Elaboración propia

c. Cocción y esterilizado

Zona donde la fruta se somete a altas temperatura para la cocción uniforme de la fibra



Fuente: elaboración propia

d. Mesa de volteo

Zona donde se hecha el racimo cocido a las escaleras alimentadoras del raile que separa la fruta del raquis



Fuente: Elaboración propia

e. Digestión y prensado

Proceso en el cual se inicia con la extracción del aceite de la fruta



Fuente: Elaboración propia

f. Preclarificado y clarificación

Proceso en el que separa el agua y lodos del aceite



Fuente: Elaboración propia

g. Secado

Proceso final en el que se retira la humedad y contenido agua residual presente en el aceite



Fuente: Elaboración propia

h. Almacenamiento

Acopio del producto(aceite) para llenado de cisternas



Fuente: Elaboración propia

i.

j. **Llenado cisterna, pesaje y despacho**



Fuente: Elaboración propia

7. Descripción de la planta de tratamiento (sistema de lagunas de estabilización)

Cárcamo: se cuenta con la unidad conocida como cárcamo cuya finalidad es coleccionar todas las aguas del proceso de centrifugación Preclarificado y secado y finalmente enviarlo a las lagunas ecualizadoras del caudal.

lagunas ecualizadoras o de repartición de caudales. Esta unidad está localizada después de la trampa de grasa cuyas dimensiones son 1(38 metros de largo por 11 de ancho y 2.5 de profundidad y la segunda de 38 de largo por 13 de ancho y 2.5 de profundo, y Su función es proveer de un caudal constante a la siguiente unidad de tratamiento y la reducción de la temperatura hasta logra un valor óptimo de operación para los microorganismos. (wikipedia, 2017)

Lagunas ecualizadoras BPD



Fuente: DAVID ZAAC

Lagunas facultativas. Estas unidades (2), que trabajan en paralelo, presentan cada una 84m de largo, 13m de ancho y 2.5m de profundidad (lámina de agua). El efluente de estas lagunas llega a una cámara de igualación de caudal para luego ser conducida a las lagunas anaerobias

Lagunas facultativas BPD



FUENTE: DAVID ZAAC

Laguna anaerobia (2): Existe una laguna anaerobia que tiene de largo una de 70m, ancho 35m y profundidad 2.5m en su centro, a partir de la lámina de agua y la segunda con medidas de 56 de largo 25 ancho y 2.5 de profundidad. El efluente de esta unidad es conducido por una tubería a flujo libre que llega a directo a otra laguna anaerobia la cual se acaba de especificar sus dimensiones donde al salir de estas caen al canal de colección donde según las características físicas se vierte o se reintegra nuevamente al proceso de tratamiento para disminuir su concentración.

lagunas anaerobias en serie



Fuente: DAVID ZAAC

Canal de cierre y desvío: Después del sistema de lagunas se encuentra localizada esta cámara. Su función es la de controlar el flujo de salida o en su defecto el reenvío a las unidades de tratamiento, utilizando una compuerta y un sistema de bombeo que permite dirigirlo a la unidad correspondiente o en caso tal desviarlas hacia el canal de descarga, cuando así el proceso lo requiera.

8. Unidades para el diseño

La empresa no cuenta con ninguna información con relación a parámetros de diseño y menos a parámetros de operación en cuanto a las lagunas ya existentes, es decir todo el diseño del sistema de lagunas de estabilización se va partir de cero

a. Caudales de diseño.

242 m³/hora: 5808 m³/día

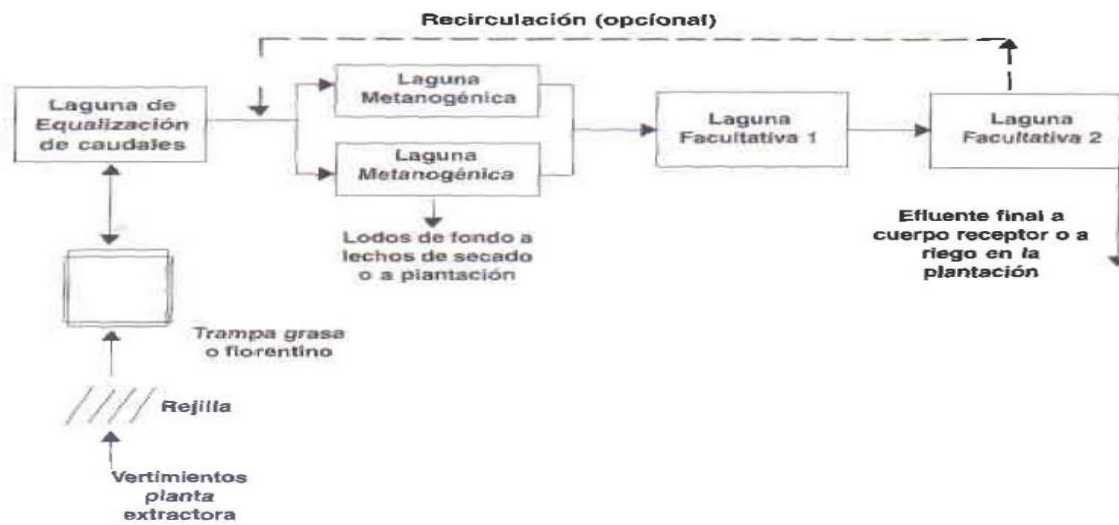
Tabla:5 Eficieciencias proyectadas

<i>PARAMETRO</i>	<i>CONDICIONES A CUMPLIR</i>
PH	Entre 5 y 9
TEMPERATURA	<40°c

MATERIAL FLOTANTE	Ausente
DBO5	Remoción: 80% en carga
SST	Remoción: 80% en carga
GRASAS Y/O ACEITES	Remoción: 80% en carga

Actualización del decreto 1594 de 1984 por el 4728 de 2010

Figura: 5 Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma



Fuente: cenipalma

9. Operación y mantenimiento

a. Tratamientos preliminares

La operación de los sistemas de tratamientos preliminares se hace en conjunto con las labores de limpieza de la extractora. Con propósitos de evacuación de los sólidos sedimentados en los florentinos, se recomienda purgarlos y limpiarlos cada 8 o 15 días. La concentración de aceite a la salida de los florentinos, si se tiene un proceso controlado, no debe ser superior a los 8.000 mg/l. Las rejillas deben limpiarse diariamente y de acuerdo a la cantidad de basura presente efectuar la limpieza varias veces durante el día.

b. Parámetros de control

En la tabla 6 se presentan los diferentes parámetros de control que deben medirse en todo el sistema de tratamiento.

Tabla 6. *Sitios de muestreo y frecuencia de la determinación de los parámetros de control durante la operación de las lagunas de estabilización.*

TABLA 6: Parámetros de control

PARAMETRO	FRECUENCIA
PH	3*SEMANA

ALKALINIDAD TOTAL	1*SEMANA
ALCALINIDAD BICARBONATICA	1*SEMANA
DQO	1*MES
TEMPERATURA	DIARIA
SOLIDOS TOTALES	1*MES
SOLIDOS DISUELTOS	1*MES

Fuente: cenipalma

10. Diseño del muestreo

a. Caracterización fisicoquímica.

Con relación a la visita de reconocimiento a la planta donde se encuentra las lagunas de estabilización, se determinó realizar 3 muestreos generales, en los cuales dichas muestras se tomaron del vertedero y 3 en la entrada al sistema de lagunas

La tabla 8 muestra las variables medidas, métodos de análisis recomendado y sitio de muestreo.

b. Ubicación de las estaciones del muestreo.

En cuanto a los muestreos generales, los puntos se ubicaron a la entrada y a la salida del sistema lagunar.

TABLA:7 variables medidas, métodos de análisis recomendado y sitio de muestreo.

VARIABLE	UNIDAD	TECNICA	UBICACIÓN DE LA MEDICION
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	Lectura directa	C
VEL. DEL VIENTO	m/s	Anemómetro	PLANTA

CAUDAL	l/s	vertedero	E Y S
TEMPERTURA DEL AGUA	°C	Lectura directa	E Y S
PH	Unidad de PH	Electrométrico	E Y S
CONDUCTIVIDAD	unidad de conductividad	Electrométrico	S
OXIGENO DISUELTO	mg/L O ₂	Electrométrico	S
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	Titulo métrico	S
NITROGENO TOTAL	mg/L N-NO ₃	Kjeldahl	S
NITRATOS	mg/L N-NO ₃	Colorimétrico	S
NITRITOS	mg/L N-NO ₂	Colorimétrico	S
NITROGENO AMONACAL	mg/L NH ₄	Destilación	S
FOSFORO TOTAL	mg/L P-PO ₄	Ácido ascórbico	S
SOLIDOS TOTALES	mg/L S T	Gravimétrico	S
SOLIDOS SUSPENIDOS	mg/l	Gravimétrico	S
SOLIDOS DISUELTOS	mg/l	Gravimétrico	S

SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	Gravimétrico	S
SULFATOS	mg/l	Turbidímetro	S
DQO	mg/l O2	Reflujo cerrado	E Y S
DBO5	mg/L O2	winkler	E Y S
H2S	mg/l	Sulfuros	S

Fuente: E, C y S significan entrada, centro y salida en cada laguna respectivamente.

11. Muestreos

Se hicieron 3 caracterizaciones físico químicas las cuales permitieron realizar el siguiente diseño y concluir lo siguiente

Tabla 8: caracterización físico-química entrada y salida del sistema de lagunas de estabilización VER ANEXO 9

SALIDA AGUA RESIDUAL INUSTRIAL BIOPLANTA PALMERA			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	VALOR ADMISIBL
		R	

			E
FOSFORO REACTIVO DISUELO ORTOFOSFATO	mgPO4- p/l	32	A. R
GRASAS Y ACEITES	mg/l	135,4	20
REPORTE DEL 4 DE JUNIO 2019			
PARAMETROS DE ENTRADA			
DBO	mgO2/L	1602	600
DQO	mgO2/L	6467	1500
PH	unidad de PH	3,69	6 A 9
SALIDA SISTEMA DE LAGUNAS			

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	VALOR
		R	ADMISIBL
			E
DBO	mgO2/L	521	600
DQO	mgO2/L	1032	1500
FOSFORO TOTAL	mg P/l	83,6	A. R
NITRATO	mg NO3- N/L	2,06	A. R
NITRITOS	mg NO2- N/L	<0,0030	A. R
NITROGENO AMONICAL	mg N- NH3/L	160,05	A. R
NITROGENO TOTAL	mg N/L	173,42	A. R
PH	unidad de	7,76	6 a 9

	PH		
SOLIDOS DISUELTOS	mg N/L	2838	N. A
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	286	400
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES: IGNICION A 550°C	mg/L	936	N. A
SOLIDOS TOTALES	mg/L	4835	N. A
ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO3/L	2417,19	A. R
CONDUCTIVIDAD A 25°	µS/cm	5648,5	N. A

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

12. Análisis y discusión de resultados

12.1. Análisis de cada una de las variables físico químicas

Las caracterizaciones físico químicas y microbiológicas es el principal diagnostico que se le puede hacer a un sistema biológico para determinar en qué estado se encuentra cada uno de sus procesos y que permiten establecer medidas correctivas en la unidad que sea necesario, por tal motivo se analizó los principales parámetros de operación y se dedujo lo siguiente:

-En cuanto a la demanda biológica y bioquímica de oxígeno se está cumpliendo con lo que establece la resolución 0631 de 2015 obteniendo eficiencias de remoción de materia orgánica por encima del 70%, el fluido está entrando con un PH ácido, pero conforme el fluido va avanzando y por la degradación de compuestos hidrolíticos y ácidos se van generando otro tipo de compuestos acetogenicos que empiezan a aumentar el PH hasta estabilizarlo.

Si bien el sistema está cumpliendo con parámetros indispensables que determinan la eficiencia de un sistema de tratamiento biológico no es netamente por el diseño de sus unidades que sería lo ideal ya que las dimensiones no son las adecuadas con relación al caudal de diseño que están manejando ni a la carga orgánica aplicada por tal razón se hizo necesario hacer un replanteo en cada una de las unidades y las respectivas recomendación en cuanto a dimensiones correspondientes a dicho caudal y carga orgánica tendiente a aumentar en la proyección anual de la empresa donde se deduce que si el actual sistema no da abasto por la sobre carga de 13ton/h de fruta procesada menos abasto va dar ya que se piensa aumentar de 1 a 2 puntos por año.

El sistema actual de lagunas requiere de una reestructuración urgente en el funcionamiento como tal y en cada una de sus unidades ya que la mayoría de sus unidades carece de la geomembrana, la aplicación del agua problema no se hace en el punto que es entonces ya se estaría afectando el TRH, al igual que la diferencia de nivel de las lagunas con relación a la superficie del suelo es negativa propiciando inundaciones y posterior rebose en las unidades y un hecho no menos importante que el personal operativo no es idóneo para ejecutar dicha labor.

NOTA: según la revisión de la norma sobre los compuestos de nitrógeno no se tiene un límite para las aguas procedentes de tal actividad (extracción de aceite) pero según las características del efluente y los continuos análisis se cree que no existe afectaciones debido a los monitoreos que se le hacen aguas abajo a la fuente que recepciona las descargas de la empresa.

12.2. Análisis de cada una de las variables climatológicas

Se realizó la Interpretación de variables climatológicas medibles dentro del área de estudio llevándose cabo durante el tiempo de la investigación y analizando de qué forma influyen en cada uno de los procesos de biorremediación de las aguas residuales (lagunas estabilizadoras)

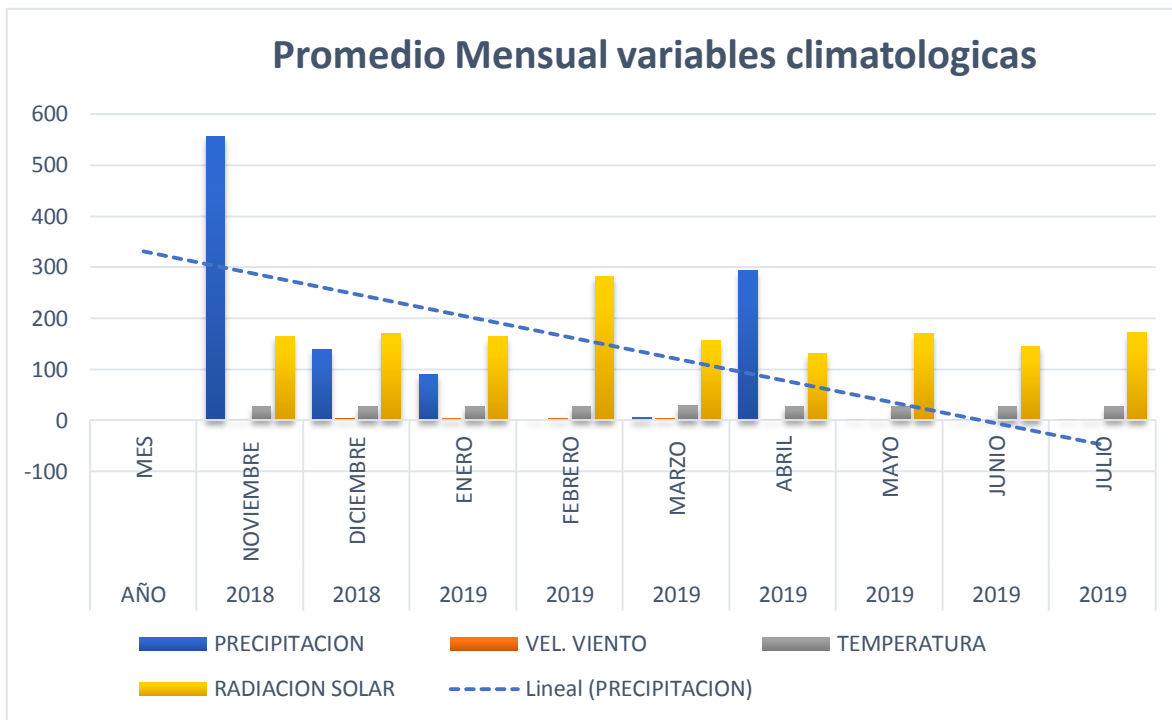
TABLA 9: Variables climatológicas

VARIABLES CLIMATOLOGICAS							
			PRECIPITACION	VEL. VIENTO	TEMPERATURA	RADIACION SOLAR	HUMEDAD RELATIVA
	AÑO	MES					
	2018	NOVIEM	556,05	0,936486	26,547975	164,73194	
	2018	DICIEM	138,7	2,376292	27,377903	169,45528	
	2019	ENERO	89,62	4,0731429	27,4499529	163,399117	
	2019	FEBRER	0	2,9591605	27,33	281,122622	
	2019	MARZO	5,22	3,1886994	28,0154183	156,844851	

	2019	ABRIL	293,86	0,9305984	27,1017939	131,613512	
	2019	MAYO	0,377	2	27,0393396	169,596800	
	2019	JUNIO	0,35753	1,74395	26,93486	145,455	
	2019	JULIO	0,47	2,31	26,65	171,5	
TOTAL			1084,654				
PROME			120,5171	2,2654942	27,1608048	172,635459	

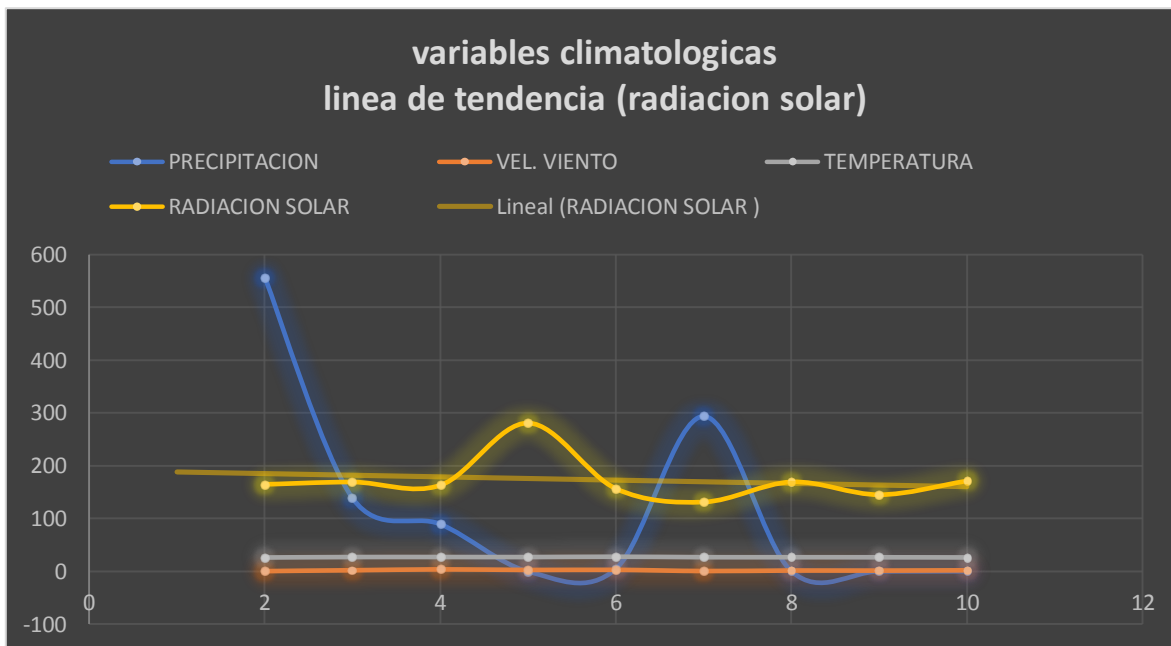
Fuente: estación meteorológica BPD

Figura :6 Promedio mensual variables climatológicas de nov 2018 a 22 de julio 2019(línea de tendencia para precipitación)



Fuente: elaboración propia

Figura :7 variables climatológicas (línea de tendencia radiación solar)



Fuente: elaboración propia

a. Precipitación

Los datos de la tabla 9 y la figura 7, describen las precipitaciones medidas durante

Los últimos 2 meses del año 2018 que van desde noviembre 2018 hasta 25 de julio 2019 en la estación EXTRACTORA con información específica: de LATITUD:7,565944 LONGITUD: -76,6116 y una elevación de 34 m.s.n.m

De acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad de lluvia fueron: febrero, marzo, mayo junio y julio de 2019. La tendencia de la precipitación total anual aumentó con el tiempo, obteniéndose un promedio hasta el día 22 de julio de 120 mm de lluvia. Las precipitaciones

en esta zona del país tienen un promedio muy alto y pueden presentarse 2 escenarios para las lagunas, el primero en el que la excesiva lluvia diluya bastante la concentración de materia orgánica en miligramos por cada litro de agua hasta un punto de quedar muy baja quizás con condiciones para el vertimiento, en el cual también las precipitaciones representarían un serio problema ya que se inundan las lagunas ocasionando reboses y por muy diluidas que estén las aguas gracias a las lluvias se irán para suelos no aptos para la recepción de estos fluidos con altas cargas contaminantes, el segundo escenario sería el ideal el de muy pocas lluvias con una temperatura promedio óptima de 35° para la operación de microorganismos y precipitaciones casi que nulas con un porcentaje de dilución muy bajo e irrelevante para el proceso metabólico de digestión en el que el sistema aumenta su eficiencia y se empiezan a garantizar otros parámetros determinantes para un correcto proceso de degradación

b. Velocidad del viento

Esta variable es una de las que menos influye directamente en el proceso de biorremediación de las aguas residuales de la planta ya que su proceso es implícito debido a que este regula el tiempo de incidencia de una nube sobre las lagunas que puede limitar la duración e intensidad de las otras variables como precipitación, la temperatura, y de la radiación solar aun así los meses en los que se han presentado en el último año los vientos más fuertes son noviembre de 2018 abril-mayo-junio y julio con velocidades entre 20 y 62 km/h solo como eventos puntuales, porque en si el promedio de velocidad anual está en (2.25Km/h).

c. Temperatura

Una de las variables más importantes dentro del proceso para tratamientos biológicos debido a lo estrictos que son los microorganismos para su efectiva operación metabólica y la dependencia de muchas de las reacciones químicas que dependen directamente de este factor, la temperatura promedio de esta zona es de 28 °C entre otras cosas una temperatura que empieza a ser ideal para la digestión anaerobia y la mayoría de los casos para que se presenten las reacciones físico-químicas necesarias para el biotratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma.

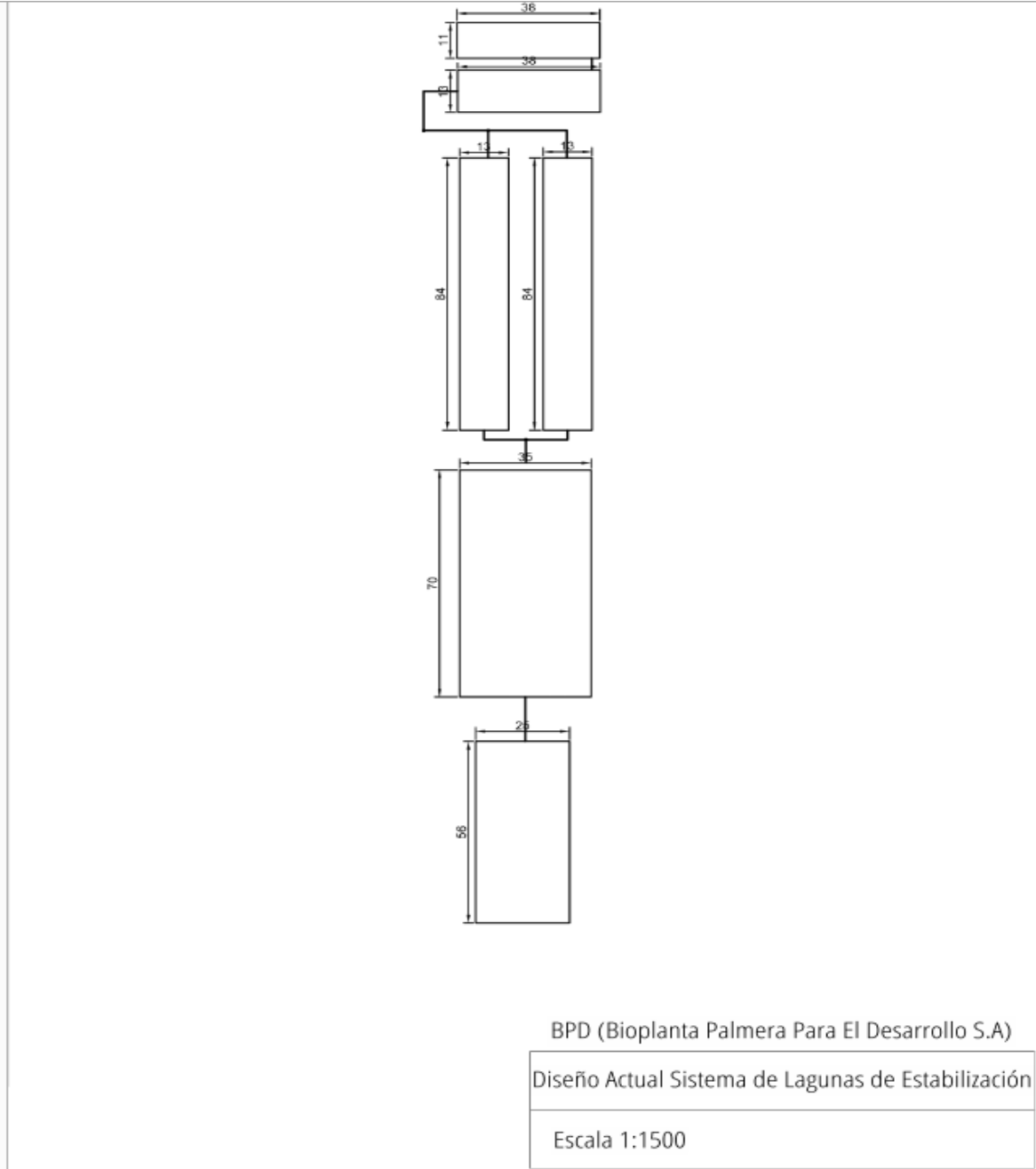
La temperatura promedio de la zona donde se encuentra ubicada la planta es relativamente buena ya que es alto y facilita la actividad biológica dentro de las lagunas de estabilización

d. Radiación solar

Con relación al registro histórico el valor promedio de radiación solar es de 158 (kW/h) con un alto valor para esta variable e influye negativamente ya que cuando hay alta radiación los malos olores aumentan y se pueden generar otros compuestos por los rompimientos dentro de sus estructuras por la alta capacidad de disociación de la radiación solar

13. Diseño actual sistema de lagunas de estabilización

Figura :8 VER IMAGEN



FUENTE: ELABORACION PROPIA

14. Rediseño del sistema de lagunas

Lagunas ecualizadoras

Estas lagunas o estanques se dimensionan solo con la finalidad de reducir la temperatura y garantizar un caudal constante ya que la recepción que hace son solo descargas intermitentes. Para el dimensionamiento de estos estanques se tiene en cuenta el área la profundidad y pendiente se sugiere mantener las que están y hacerle las respectivas adecuaciones que se harán en las recomendaciones

Método de dimensionamiento

DBO5:7887.55gr/m³

Q:5808m³/h

(Lagunas anaerobias) Se asumió un TRH para las lagunas anaerobias de 5 días

$$Qd = \frac{V}{TRH} \quad V:(Qd) \cdot (TRH) 2904\text{m}^3/\text{día} \cdot (5) \quad V:14520\text{m}^3$$

Para la profundidad de las lagunas anaerobias se asume una profundidad de 5mt

$$A: V/h: 2904\text{m}^2 \quad A: L \cdot (B) \text{ donde } L:4(B) \quad B: \sqrt{A/4}: 26.7 \approx 27\text{mt}$$

$$L:108\text{mt} \quad A^*: B \cdot L :2916\text{m}^2 \quad H^*: V/A^* :4.98\text{mt}$$

COV: (Q · DBO5) /V: 1577.51 gr/m³ Asumo una eficiencia de 70%

$$Cs: 6596.86 - (6896.86(0.7)): 1979.06\text{mg/l} \quad 2 \text{ anaerobia}$$

Facultativas: ce:1979,06mg/l

$$CSM:357(\theta)\text{exp}T-20 \quad \theta: 1,085 \quad CSR:-0.8+0.765(\text{COSA})$$

$$\text{CSM}: 357(1.085)^{\exp 28-20} = 685,66 \text{ kg/ha.dia}$$

Se va emplear 10 lagunas facultativas entonces quedaría $Q/10 = 580.8 \text{ m}^3/\text{d}$

$$\text{AREA} = (Q_d \cdot C_e) / \text{COSA} = 1,678 \text{ ha} = 16780.1 \text{ m}^2$$

$$A = L \cdot B \quad L = 4(B) \quad B: \sqrt{A/4}: B = 64.76 \approx 75 \text{ m} \quad L = 260 \text{ m}$$

$$A^* = 260(75) = 16900 \text{ m}^2 \quad H = 1.1 \text{ m}$$

$$V = A^*(H) = 18590 \text{ m}^3$$

$$\text{TRH} = V/Q = 32 \text{ dias}$$

$$\text{COS} = ((580.8 \text{ m}^3/\text{d})(1979,06 \text{ mg/l})) / 1.678 \text{ ha} = \mathbf{685.004 \text{ kg/hab.dia}}$$

$$\text{CSR} = -0.8 + 0.765(685) = 523,225$$

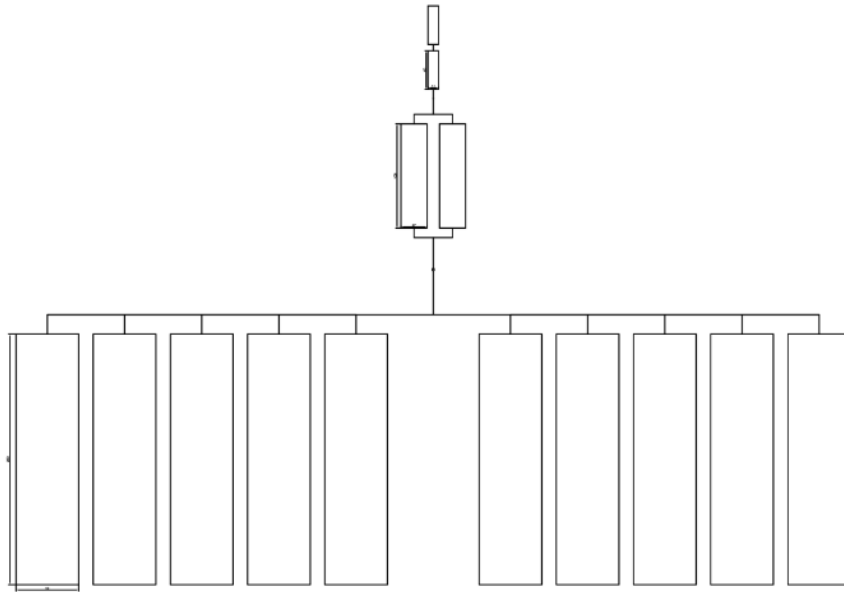
$$\text{EFIC} = 523.225 / 685.004 = 76.38\%$$

$$\text{CS} = 1979.06 \text{ mg/l} - (1979.06 \text{ mg/l}(0.7638)) =$$

$$C_s = 467,45 \text{ mg/l}$$

$$\text{Eficiencia del sistema} = 1 - (1 - E_1)(1 - E_2)(1 - E_3) \quad 1 - (1 - 0.09)(1 - 0.7)(1 - 0.763) = \mathbf{93\%}$$

Figura: 9 VER IMAGEN



BPD (BIOPLANTA PARA EL DESARROLLO S.A)

Rediseño sistema de lagunas

Escala: 1.5000

fuentes: elaboración propia

15. Conclusiones y recomendaciones

Conclusión

el sistema actual de lagunas estabilizadoras de la empresa bpd (bioplanta para el desarrollo) según los estudios realizados que incluyen análisis y muestreos físico químicos cuenta con un sistema ineficiente para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma.

Preguntas finales

¿por qué un sistema ineficiente?

es un sistema ineficiente debido a que las dimensiones de cada una de sus unidades no fueron diseñadas acordes al caudal que se maneja y ni mucho menos a la concentración de carga orgánica con la que entra el fluido, debido a las toneladas/hora de fruta procesada, por tal razón se notó lo siguiente:

- Que en la mayoría de las veces el efluente sale con propiedades y características no aptas para el vertimiento por tal motivo se hace muy recurrente el proceso de recirculación cuando este debería ser solo una opción en última instancia y no una acción directa del proceso
- En muchas ocasiones se presentan reboses en las lagunas impactando suelos que no están debidamente adecuados para soportar la carga que trae consigo este líquido
- En reiteradas ocasiones el olor que emanan es demasiado fuerte por los altos contenidos de nitrógeno amoniacal y ácido sulfhídrico

-No se tiene certeza, pero se deduce por concepto visual que la actividad microbiana en algunas partes de las lagunas es cero debido a la observación de materia orgánica totalmente inactiva en la superficie en gran parte de las lagunas

-Todo el sistema de lagunas se encuentra en una zona que presenta una diferencia de nivel negativo aproximadamente de (h-80 cms) con relación a la vía de acceso por la cual se presenta continuos aumentos en el nivel del agua y posteriores reboses en el sistema debido al elevado nivel de precipitaciones al que en ocasiones es azotada esta zona

-El sistema de lagunas ha venido mejorando las características físico químicas en el efluente por una serie de procesos que se han venido ejecutando como planes de contingencia para con las mismas, que ha permitido ir optimizando procesos y adoptando medidas que han ayudado a mejorar la eficiencia en cada laguna.

una de esas estrategias fue la de adaptar un medio para una serie de microorganismos a partir de estiércol de cerdo y un inculo comercial **ORIOUS** *ver anexo 6* que al ser aplicados desde la primera unidad este pudiese hacer todo el recorrido y también con aplicaciones puntuales sobre cada laguna.

Este proceso ha permitido ir reactivando la actividad metabólica de los microorganismos y las continuas observaciones después del inicio de burbujas de gases se dedujo que son productos del proceso de digestión anaerobia de las mismas.

cada una de las lagunas ha empezado a cumplir con sus funciones para la cual se diseñaron al menos en cuanto al proceso biológico gracias a la ayuda del inculo, por eso se ha visto que conforme avanza el tiempo ha ido desapareciendo la materia orgánica de la superficie y conforme se va avanzando en las lagunas se ve más limpia tanto que se están haciendo vertimientos directos si necesidad de recircular.

últimamente solo se está haciendo uso de la recirculación solo para diluir un poco la concentración de entrada que disminuya la carga y favorezca el proceso de degradación por parte de los microorganismos

Recomendaciones

-Dentro de las unidades para el diseño se sugiere de manera indispensable que se emplee el método de clarificación dinámica o instalación del tridecane dentro del proceso de clarificado ya que este hace el proceso de separación de las tres fases de aceite, lodos(materia orgánica), y agua reduciendo la carga orgánica final en un 45% antes de entrar al sistema de tratamiento de aguas residuales en el que según los estudios y ensayos permite una disminución en la DQO pasando de 70.000 mg/l hasta un promedio de 40.000 mg/l, El empleo de tal instrumento tiene una serie de ventajas las cuales son la reducción en el consumo de agua que pasó de 1,1 m³/tRFF hasta 0,85 m³/tRF y la reducción en el consumo de vapor de que por su parte pasó de 595 Kg de Vapor/tRFF a 510Kg de Vapor/tRFF, finalmente una gran reducción en el consumo de energía que pasó de 20,44 kW/tRFF a 17,5 kW/t RFF (con mínimos de 16 kW/t RFF y máximos de 19 kW/t RFF) esto respaldado por la eliminación de varios procesos como centrifuga antigua, tanque pulmón de lodos, y secado sin dejar de lado la ventaja de Extensión de la vida útil de las lagunas, Torta del Tridecane como Subproducto adicional para la alimentación de ganado. (FEDEPALMA, 2017).

-Aplicar el rediseño lo antes posible ya que si el actual sistema no da abasto mucho menos lo va ser en fechas futuras ante un inminente crecimiento en la producción de toneladas por año y una eventual ampliación de la planta y se cree que de poco servirá el plan de contingencia actual en caso de que eso sea lo que se tenga en mente aplicar donde el problema persista ya que no solo va aumentar la carga orgánica volumétrica si no también la superficial como también el caudal.

-Dentro del rediseño incluir en la adaptación del suelo la impermeabilización con la geomembrana no solo puesta por ponerla como la actual si no empotrarla al suelo de tal forma que evite futuros levantamientos de la misma como en la actualidad para reducir el riesgo de infiltraciones en el subsuelo.

-Aumento del nivel de las lagunas que al menos alcancen la altura del suelo y no queden es desnivel para evitar inundaciones ante las recurrentes lluvias en la zona

-Aplicar mantenimiento a las lagunas por lo menos cada 6 meses retirando la capa de grasa para aumentar el área de transición del fluido que conforme avanza el tiempo es menor debido al continuo aumento de la capa de lodos en el fondo y la capa de grasa en la superficie

-Continuar empleando el inóculo que ha sido de gran ayuda en la reactivación de la actividad microbiana dentro del sistema de lagunas, ya que han ido contribuyendo a la estabilización de parámetros y permitiendo que estos vayan cumpliendo con lo que establece la norma para vertimientos puntuales.

-Procurar que la caja divisoria de caudales que alimenta las lagunas anaerobias que están en paralelo este ubicada en un punto neutral que permita que ambas lagunas vayan a cumplir con el mismo TRH, debido a que la caja actual está sobre la laguna anaerobia 1 y desprende un brazo que alimenta la anaerobia 2, entonces estaría ingresando primero el fluido a la 1 mientras que el que va hacia la 2 tiene que hacer primero el recorrido sobre el brazo

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

AMBIENTAL, F. P. (2017). AGUA. *AGUA.ORG.MX*.

BAEZ, D. (2002). *Digestion anaerobia una aproximacion a la tecnologia*. medellin: universidad nacional de colombia.

cuidodelagua. (2009). tipos de aguas. *cuido del agua.org*.

desarrollo, m. d. (2018). chigorodó. *MINAMBIENTE Y DESARROLLO*.

eddy, m. y. (1995). *ingeniería de Aguas Residuales; Tratamiento, Vertido y*. madrid españa: McGraw-Hill. Tercera edición.

envitech, c. (2019). Tratamiento de emulsiones (aguas residuales aceitosas) . *condorchem*, 1.

FEDEPALMA. (2017). Clarificación Dinámica. *cenipalma*.

loaiza, a. v. (2018). plantas de tratamiento de aguas residuales.

Mayo, A. W. (2004). Effect of HTR on Nitrogen Removal in a Coupled HRP. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1253-1257.

prensa, c. e. (s.f.). *fundamento para el analisis y diseño del proceso*. medellin.

ROJAS, J. R. (2005). *LAGUNAS DE ESTABILIZACION* . BOGOTÁ: E. Colombiana de Ingeniería.

- Rolim.M. (2000). *sistemas de lagunas de estabilizacion*. santa fe de bogotá: Mc Graw Hill.
- Sawyer, C. N. (1978). Chemistry for Environmental Engineering”,. “*Chemistry for Environmental Engineering*, 205-210.
- shillton, A. B. (2006). Drouge Tracking by Image Processing for the Study of. *Flow Measurement and*, 69-74.
- Snoeyink, V. L. (1997). “*Química del Agua*”. mexico: Editorial Limusa.
- Stumm, W. a. (1970). Aquatic Chemistry. *Wiley-Interscience*, 301-334.
- Torres, J. S. (1999). Study of the Internal. *Water Research. España Vol. 33*, 1133-1140.
- UDEA, t. (2008). *EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE. MEDELLIN.*
- VERACRUZANA, F. D. (2014). LAGUNAS DE ESTABILIZACION. *BIOINGENIERIA.*
- wikipedia. (2017). tipos de tratamiento. *eliminacion d ematerias en suspension.*
- yanez, f. (1982). *avances en el tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilizacion*. lima
perú.