

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE EFICACIA EN FITODEPURACIÓN DE LOS PASTOS
ALEMÁN Y TANNER EN EFLUENTES ESPECIALES DE PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA DEL ATLÁNTICO, IZABAL
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

FLOR DE MARÍA MARROQUÍN ÁLVAREZ
CARNET 11965-11

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ABRIL DE 2016
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE EFICACIA EN FITODEPURACIÓN DE LOS PASTOS
ALEMÁN Y TANNER EN EFLUENTES ESPECIALES DE PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA DEL ATLÁNTICO, IZABAL
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

POR
FLOR DE MARÍA MARROQUÍN ÁLVAREZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ABRIL DE 2016
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. NADIA MIJANGOS LÓPEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES
ING. MANUEL JOSÉ CASTILLO MAZARIEGOS
LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Guatemala 25 de Abril de 2016


Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado y revisado el trabajo de graduación del estudiante Flor de María Marroquín Álvarez, carné 1196511, titulada: EVALUACIÓN DE EFICACIA EN FITODEPURACIÓN DE LOS PASTOS ALEMÁN Y TANNER EN EFLUENTES ESPECIALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA DEL ATLÁNTICO, IZABAL.

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por el reglamento de Facultad.

Atentamente,


Mgtr. Licda. Nadia Mijangos López
Colegiado Activo 1446




Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional de la estudiante FLOR DE MARÍA MARROQUÍN ÁLVAREZ, Carnet 11965-11 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0633-2016 de fecha 11 de abril de 2016, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE EFICACIA EN FITODEPURACIÓN DE LOS PASTOS
ALEMÁN Y TANNER EN EFLUENTES ESPECIALES DE PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA DEL ATLÁNTICO, IZABAL

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 13 días del mes de abril del año 2016.


ING. REGINA CASTANEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me ha permitido la vida, la sabiduría y la oportunidad de instruirme para el servicio de los demás.

Mis padres; Conrado Marroquín, por todo tu esfuerzo, apoyo incondicional, por todo tus sacrificios, por ser mi admiración, por siempre buscar lo mejor para mí, por brindarme la oportunidad de superarme; Oralia Álvarez, por ser mi admiración, por permitirme conocer el amor de Dios, por brindarme amorosamente tu esfuerzo, sacrificios, trabajo, consuelo y soporte incondicional.

Mis hermanos; Gabriel, por enseñarme la fortaleza que se encuentra en Dios y por todos tus consejos y apoyo desde muy pequeña; María José, por siempre cuidarme, por ser una mujer ejemplar en mi vida, por enseñarme a ser fuerte en Jesucristo; Mariano, por todo tu apoyo y por enseñarme el valor de la perseverancia y la fortaleza; Mónica, por todo tus consejos y apoyo ante cualquier necesidad en mi vida y por ser un gran ejemplo para mí; Juan Daniel, por haberme apoyado siempre con una sonrisa amorosa, por ser una luz que ha brillado en todo momento de mi vida, muchas bendiciones por todo tu apoyo en este proceso que sin ti no hubiera sido posible; Ana Lucía, por ser mi mejor amiga, por ser mi compañera de travesuras, dificultades y muchas de alegrías, por enseñarme a luchar siempre por alcanzar los sueños; Susy, por todo tu apoyo y enseñanzas por ser un ejemplo de lucha y perseverancia; Anaí Gálvez por todo el amor que nos has demostrado y por ser un gran ejemplo en mi vida.

Mi tío Rafael Marroquín por haberme brindado todo el valioso y constante apoyo en la realización del estudio y por estar siempre pendiente de mí.

Ing. Pedro Roberto Cerrate, por haberme brindado todo el apoyo necesario para desarrollar y concluir el presente estudio en la empresa Agrocaribe, S.A.

Lic. Nadia Mijangos por su asesoría, revisión y corrección del presente estudio.

Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por proporcionarme formación académica con valores.

DEDICATORIA

A:

Dios: Que me ha demostrado su infinito amor y misericordia y me ha dado muchas bendiciones, quien me ha permitido la vida, la oportunidad de superarme como profesional y como persona.

Virgen María Quien con un inmenso amor y ternura ha intercedido por mí en cada paso de mí vida.

Mis padres: Conrado Marroquín y Oralia Álvarez, que me han dado todo su amor y apoyo, por ser mi ejemplo, mi luz, mi inspiración y el motor de mi vida. Por haber dedicado su vida a nosotros sus hijos. Los amo con todo mi corazón.

Mis Hermanos: Gabriel, María José, Mariano, Mónica, Juan Daniel, Ana Lucia, José Carlos Sagastume, Susy y Anaí Gálvez; a quienes amo y me han brindado su amor y apoyo en todos los momentos de mi vida, tanto en las alegrías como en las dificultades.

Mi Familia: Tíos Rafael Marroquín, Raúl Álvarez; y Sobrinos, Rocío Daniela, Sara Anaí, Manuel y en especial a Sofía Gabriela quien me ha enseñado a enfrentar los miedos con una sonrisa y que en la vida cada obstáculo es una oportunidad de desafiar nuestras capacidades. Los amo con todo mi corazón.

Mis Abuelos: Victoria Girón, José Manuel Marroquín, Vicente Álvarez y en especial a Petrona del Cid quienes me han enseñado la importancia del trabajo y la perseverancia. Que Dios los tenga en su gloria.

Mi Mentor: Ing. Pedro Roberto Cerrate quien me ha compartido sus experiencias y conocimientos, ayudándome al crecimiento a nivel profesional y personal; me ha enseñado el valor de la disciplina, la valentía, la superación y la humildad.

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
SUMMARY.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES.....	12
2.1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1.1. Contaminación del agua en Guatemala.....	12
2.1.2. Marco legal de Guatemala relacionado con el recurso hídrico.....	12
2.1.3. Aguas residuales industriales.....	14
2.1.4. Aguas residuales de la industria de palma.....	14
2.1.5. Métodos de manejo del agua residual en la industria de palma de aceite.....	15
2.1.6. Humedales.....	16
2.1.7. Humedales artificiales.....	17
2.1.8. Características necesarias en la especie de macrófita para un sistema de fitodepuración.....	23
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA.....	25
2.2.1. Descripción de la empresa.....	26
2.2.2. Diagrama organizacional.....	27
2.2.3. Departamento de certificaciones y medio ambiente.....	28
3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA.....	29
3.1. NECESIDAD EMPRESARIAL.....	29
3.2. JUSTIFICACIÓN.....	29
3.3. EJE DE SISTEMATIZACIÓN.....	30
4. OBJETIVOS.....	31
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	31
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
5. PLAN DE TRABAJO.....	32

5.1. PROGRAMA DESARROLLADO.....	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
6.1. Diagnóstico de aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma del Atlántico.	36
6.2. Eficacia en remoción de parámetro DQO vinculado con el crecimiento de <i>Brachiaria arrecta</i> (pasto Tanner o Cornell) y <i>Echinochloa polystachya</i> (pasto Alemán).	44
7. CONCLUSIONES.....	54
8. RECOMENDACIONES.....	55
9. REFERENCIAS.....	56
10. ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Etapas de cumplimiento y límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, del reglamento de “Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006”.....	13
Cuadro 2. Parámetros promedio de aguas residuales de la industria de palma de aceite	15
Cuadro 3. Características del funcionamiento de la fitodepuración de sistemas acuáticos	19
Cuadro 4. Cronograma de actividades del eje de sistematización	34
Cuadro 5. Modelo de reducción competente a extractora del Atlántico del parámetro de calidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	37
Cuadro 6. Comportamiento de parámetros (mg/L) y eficacia en remoción de todo el sistema previo a la implementación del proyecto, 2014	42
Cuadro 7. Comportamiento de parámetros DQO y crecimiento, 2015.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Humedal artificial de flujo superficial	21
Figura 2.	Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal	21
Figura 3.	Humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical	22
Figura 4.	Proceso de extracción y sus productos	27
Figura 5.	Diagrama organizacional de la empresa Agrocaribe	28
Figura 6.	Disposición de parcelas dentro del cauce de aguas residuales	33
Figura 7.	Mapa de localización del efluente de la planta tratamiento de aguas residuales	34
Figura 8.	Lagunas carpadas para la captura de metano y laguna facultativa	35
Figura 9.	Ejemplo de “Drench” utilizados para la incorporación de lodos al cultivo	36
Figura 10.	Comportamiento de parámetros en el canal de efluentes del filtro 5, 2014.	39
Figura 11.	Comportamiento de parámetros en filtro 5, en el año 2014.....	39
Figura 12.	Comportamiento del parámetro DQO a lo largo del sistema de tratamiento de efluentes, 2014	40
Figura 13.	Porcentaje de eficacia del STAR en remoción del parámetro DQO, 2014	42
Figura 14.	Metodología de siembra utilizada en el canal de Efluentes	45
Figura 15.	Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Mayo 2015.....	47
Figura 16.	Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Junio 2015.....	48
Figura 17.	Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Julio 2015	48
Figura 18.	Filtro 2 con una siembra mixta de pasto Tanner o Cornell y Alemán, en donde se alcanzó mayor porcentaje de eficacia en remoción	49
Figura 19.	Muestreo y análisis de DQO en los tratamientos de fitodepuración	50
Figura 20.	Flujo indeseado del efluente a través del gavión, por la parte inferior del mismo	51

Figura 21.	Comportamiento del parámetro DQO a 1.5 y 2.5 km	52
Figura 22.	Parámetro Asociado de Calidad de Agua, DBO 2015	53
Figura 23.	Capacitación RSPO, ¿Qué es?, Principios y Criterios, Identidad Preservada	61
Figura 24.	Capacitación Rainforest Alliance, conservación de ecosistemas y reciclaje	62
Figura 25.	Capacitación en primeros auxilios, CONRED Capacitación RSPO	63
Figura 26.	Capacitación en buenas prácticas de laboratorio, INTECAP.....	63
Figura 27.	Elaboración de auditorías internas bajo normas RSPO y Rainforest Alliance	64
Figura 28.	Apoyo y acompañamiento en procesos de certificación	65
Figura 29.	Porcentajes de eficacia en remoción DBO, 2015	66
Figura 30.	Proceso de establecimiento del Pasto Alemán	66
Figura 31.	Proceso de establecimiento del Pasto Tanner o Cornell	67
Figura 32.	Monitoreo de crecimiento vegetal	67
Figura 33.	Recolección de muestras en el canal de efluentes	68
Figura 34.	Muestras recolectadas para el análisis de DQO	68
Figura 35.	Metodología utilizada para el análisis de DQO	69

EVALUACIÓN DE EFICACIA EN FITODEPURACIÓN DE LOS PASTOS ALEMÁN Y TANNER EN EFLUENTES ESPECIALES DE PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA DEL ATLÁNTICO, IZABAL

RESUMEN

La presente práctica profesional tuvo como objetivo general, evaluar la eficacia en fitodepuración de los pastos *Echinochloa polystachya* (Pasto Alemán) y *Brachiaria arrecta* (Pasto Tanner o Cornell) en efluentes especiales de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Extractor del Atlántico”. Por tanto se realizó la siembra de tres tratamientos y seis repeticiones a lo largo del canal de efluentes, dos tratamientos con monocultivo de cada especie y uno con una siembra mixta. Tras la implementación del proyecto y el monitoreo de DQO y crecimiento vegetal, se encontró la mayor eficacia en depuración de carga orgánica (47.77%), con un tratamiento de siembra mixta; dicho resultado según lo observado in situ, pudo haber sido afectado por condiciones muy variables las cuales no fue posible controlar ni medir en ésta evaluación; factores tal como la temporada de procesamiento de fruta, el caudal, área, estancamiento, profundidad, iluminación, agresividad del pasto y la limpieza de lodos en el canal, que podrían ser objeto de otras líneas de investigación. Se realizó un diagnóstico de las aguas residuales con base en el monitoreo existente de parámetros de calidad de agua; se diagnosticó el cumplimiento con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Se identificó la necesidad de actualizar el Estudio Técnico de Aguas Residuales para definir de forma correcta el punto de descarga final y realizar mejoras en el sistema de tratamiento con laguna aeróbica y biodigestores de lodos activados.

FITODEPURATION EFFECTIVENESS EVALUATION OF PASTURES, GERMAN GRASS AND TANNER, ON SPECIAL EFFLUENTS OF PALM OIL MILL OF ATLANTIC, IZABAL

SUMMARY

The general purpose of the present professional practice was to evaluate the effectiveness of phytodepuration in wastewater after treatment plant of “Extractora del Atlántico” mill, with *Echinochloa polystachya* (German grass) and *Brachiaria arrecta* (Tanner or Cornell grass). Therefore, three treatments and six repetitions were sown among the channel, two treatments with monoculture of each species and one with a mixed sowing. After project implementation and monitoring of COD and plant growth, the major effectiveness on organic charge depuration (47.77%) was found on a mixed sowing treatment; this result, as observed on site, could be affected by variable conditions which in this case are not possible to control or assess; factors as processing fruit season, flow, stagnation, depth, lighting, pasture aggressiveness and effluents channel’s sludge cleanliness, could represent another possible investigation lines. A diagnosis of waste water based on existent monitoring water quality parameters was performed; was diagnosed compliance with maximum permissible limits of Governmental Agreement 236-2006. Was identified the need to upgrade the wastewater technical study to define correctly the final discharge point and improve the water treatment with aerobic lagoon and activated sludge digester.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática de la contaminación de cuerpos de agua por las actividades humanas, es cada vez mayor. En Guatemala, el 95% de las aguas residuales se descargan sin tratamiento a ríos cercanos, y en muchas ocasiones proviene de procesos industriales que originan aguas de tipo especial, haciendo la calidad de agua más riesgosa para su consumo o uso de las poblaciones de la cuenca baja.

La ausencia del tratamiento de aguas residuales en el país agudiza otros problemas como la falta de salud y calidad de vida humana de las poblaciones que necesitan del recurso para subsistir. Las aguas con altos niveles de carga orgánica, propagan enfermedades infecciosas.

Es de gran importancia, contribuir con el mejoramiento de la calidad de agua de la vertiente del Atlántico, siendo planta Extractora del Atlántico generador de un efluente indirecto de aguas de tipo especial hacia ésta. La calidad de agua de la vertiente del Atlántico, tiene gran incidencia en la calidad de ecosistemas acuáticos como arrecifes, subsistencia de la ictiofauna que a su vez es una fuente importante de alimentos, y además favorece a la proliferación de algas nocivas en zonas costeras (Castillo, 2006).

Agrocaribe, es una empresa que busca implementar en todos sus procesos, la mejora continua a través de la sostenibilidad y diferenciación internacional mediante de sus certificaciones. La empresa se somete a constantes auditorías ambientales en las que se ha recomendado que pese a estar por debajo de los límites máximos permisibles de parámetros de cumplimiento en la normativa nacional, se mejore la calidad del efluente. Por lo anterior, la institución anfitriona se encontraba interesada en implementar un sistema de fitodepuración que mejorara la calidad del agua. Por otra parte, se deseaba mejorar la calidad paisajística del canal de efluentes de la planta de tratamiento.

En este documento se presenta un acercamiento conceptual, normativa relacionada, planteamiento de las actividades, entre otros aspectos relacionados con el eje de

sistematización de práctica realizado. El eje consiste en un diagnóstico de aguas residuales de la planta de tratamiento de Extractora del Atlántico, para mejorar la calidad de parámetros de interés de la institución anfitriona, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Nitrógeno total (N total).

Se realizó el diagnóstico de las aguas residuales, mediante el análisis del monitoreo de los parámetros de interés, así como la recopilación de información y el análisis de la misma. Para evaluar la eficacia en fitodepuración del agua residual de Extractora del Atlántico, se consultó la bibliografía relacionada, el diagnóstico realizado, así como las observaciones durante el proceso de desarrollo y los resultados obtenidos en el porcentaje de eficacia en remoción de los tratamientos evaluados resultantes del monitoreo de DQO y crecimiento vegetal.

2. ANTECEDENTES

2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.1. Contaminación del agua en Guatemala

La contaminación del agua se realiza cuando se alteran las propiedades fisicoquímicas o biológicas de ésta. El grado de contaminación de un cuerpo de agua, depende del nivel de saturación y de su capacidad para asimilar materiales contaminantes, orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad está dada por su condición de autodepuración, dilución resultante y la tasa de aireación del cuerpo de agua (Mijangos, 2013).

Guatemala, pese a tener una alta disponibilidad de agua, el 99% de los ríos están contaminados. Esta situación ha ocasionado tanto, problemas hacia la salud y bienestar de las personas que necesitan de este recurso para su uso o consumo, como también la aceleración de la eutrofización de los cuerpos de agua. Al mismo tiempo se compromete la vida acuática y su uso para fines agrícolas, industriales y recreativos (Mijangos, 2013).

2.1.2. Marco legal de Guatemala relacionado con el recurso hídrico

De acuerdo con la Constitución Política de la República de Guatemala, en el artículo 97, de medio ambiente y equilibrio ecológico, todo individuo o entidad debe promover un desarrollo compatible con el medio ambiente y que mantenga el equilibrio ecológico. Lo anterior, debe realizarse de acuerdo a las normas que garanticen la utilización y aprovechamiento racional de la fauna, flora, tierra y agua, evitando su depredación.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, establece en el artículo 5 que toda persona individual o jurídica, pública o privada generadora de aguas residuales de tipo especial,

ordinario o mezcla de ambas, debe caracterizar sus efluentes dentro de un estudio técnico. En el artículo 16 del reglamento, se definen los parámetros requeridos para la caracterización de las aguas residuales: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y coliformes fecales.

Según el artículo 17, el modelo de reducción progresiva de carga de DBO, para el 2 de mayo del 2015, debe registrar una reducción del 50% de la carga en kilogramos por día. De manera que al finalizar las etapas del modelo de reducción, dos de mayo del 2024, la meta de cumplimiento se establece en tres mil kilogramos por día de DBO. De acuerdo con el artículo 20, los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Etapas de cumplimiento y límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, del Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

(Organismo Ejecutivo de Guatemala, 2006)

2.1.3. Aguas residuales industriales

En Guatemala el 95% de las aguas residuales, se descargan sin ser tratadas en ríos cercanos. El 30% de los cuerpos de agua que han sido analizados, no cumplen con los límites permisibles de normas internacionales (IARNA, 2006).

La contaminación de aguas por procesos industriales se encuentra más concentrada en los ríos que provienen de áreas altamente pobladas e industrializadas. La concentración de contaminantes en los ríos es más perceptible en aquellos que reciben los afluentes de varias cuencas hidrográficas de una vertiente. Dentro de éstos está el río Motagua, del cual son afluentes el río Las Vacas y Plátanos (IARNA, 2006).

La preservación de la vertiente del Atlántico, de la que forma parte el río Motagua, es de gran importancia. Ésta provee de un recurso vital para las actividades de las comunidades y su situación actual ocasiona un gran impacto hacia los ecosistemas acuáticos como los arrecifes del Atlántico y en sí de todo el sistema lóxico. Por lo anterior, es preciso tomar medidas de remediación en las descargas de aguas residuales provenientes de todo tipo de actividades, incluyendo las de la Extractora del Atlántico (IARNA, 2006).

2.1.4. Aguas residuales de la industria de palma

Las extractoras de aceite de palma son generadoras de aguas residuales con una alta carga orgánica contaminante. Con el objetivo de establecer un marco de referencia, en el cuadro 2, se muestran parámetros promedio de aguas residuales de una extractora de palma:

Cuadro 2. Parámetros promedio de aguas residuales de la industria de palma de aceite:

PARÁMETROS	PROMEDIO	RANGOS
Caudal (m³/ton fruta procesada)	0.8	0.7 – 1
Ph	3.7	3.5 – 4.5
DBO5 (mg/litro)	25000	20000-30000
DQO (mg/litro)	45000	30,000-60,000
N-N H4 (mg/litro)	30	20 – 60
N- orgánico (mg/litro)	600	500-800
N-nitrato (mg/litro)	30	20-60
Sólidos totales (%)	3.5	3 – 5
Sólidos volátiles (%)	2.5	2 – 3
Cenizas (mg/litro)	4500	4000 – 5000
Aceites (mg/litro)	7000	5000 – 10000
Fécula (mg/litro)	2000	-----
Proteínas (mg/litro)	3000	-----
Azúcar total (mg/total)	1000	-----

(Panchi, 2013)

2.1.5. Métodos de manejo del agua residual de la industria de palma

Debido a que la extracción de aceite de palma, conlleva procesos de presión y calor, las aguas residuales del proceso deben pasar por un sistema de enfriamiento para disminuir la temperatura. Seguidamente, las aguas residuales deben ser sometidas a un proceso de sedimentación, que debido al alto contenido de materia orgánica, debería acompañarse de un sistema de captación del gas metano, a través de biodigestores (Agrocaribe, 2015).

Luego, debe aplicarse otro tratamiento en el que se reduzcan los niveles de DQO, DBO y otros nutrientes como N y P. Se puede implementar el tratamiento a través de membranas, biofiltros (fitodepuración), floculación y/o precipitación química, etc. (Agrocaribe, 2015).

En Guatemala, Extractora del Atlántico de Agrocaribe cuenta con un sistema de tres lagunas anaeróbicas con captación de metano, una laguna facultativa y filtros antes del desfogue. Naturaceites, cuenta con un sistema de lagunas aerobias sin captación del biogás (Agrocaribe, 2015).

2.1.6. Humedales

Los humedales son áreas en las que la frecuencia y duración de saturación de aguas superficiales o subterráneas puede variar. Por las características que proveen al suelo los humedales, ciertas especies de plantas no sobreviven, principalmente aquellas que requieren de condiciones aeróbicas en el suelo, ya que los suelos inundados poseen bajas concentraciones de oxígeno, lo que a la vez permite reducir concentraciones de nitrógeno y la consecuente eutrofización de los cuerpos receptores (Tanaka, Jinadasa, y Ng, 2011).

Estos ecosistemas acuáticos, suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes; poseen gran valor ecológico debido a que el medio tanto terrestre como acuático, permite la presencia de variedad de especies de flora, fauna y microorganismos; conformando así un sistema con interacciones que permiten la depuración de aguas (Sanabria, 2006).

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos de remoción físicos, biológicos y químicos. Dentro de los procesos actúan mecanismos complejos involucrando oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Delgadillo, *et al.*, 2010).

El proceso físico incluye la sedimentación del material particulado. La laminaridad y la baja velocidad del flujo, permiten que ocurra la fijación de los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, mediante la transformación de los elementos por intermedio de los microorganismos (Sanabria, 2006).

El proceso biológico consiste en la degradación microbiana que consume la mayor parte del carbono orgánico y otros nutrientes. Otros procesos mixtos son realizados por la acción de las plantas, como la absorción que incluye mecanismos de adsorción, reacciones químicas, precipitación y volatilización (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Las raíces y tallos sumergidos sirven de soporte a las bacterias y mejoran la capacidad de absorción y filtración del suelo, los tallos superficiales atenúan la radiación solar, la menor penetración de luz controla el crecimiento de algas e interviene en la transferencia de oxígeno a la columna de agua (Sanabria, 2006).

La circulación de oxígeno interno en las plantas ayuda a la respiración de tejidos enterrados y además provee oxígeno a la rizósfera mediante la filtración de este, desde la raíz al exterior. La circulación de oxígeno crea así condiciones de oxidación en el medio anaerobio, que estimula la degradación aerobia de la materia orgánica y actúa paralelamente en la nitrificación (Sanabria, 2006).

Cabe resaltar que los pantanos artificiales destinados para el tratamiento de aguas residuales han demostrado ser afectados por variaciones hidrológicas y de temperatura. La sensibilidad a la toxicidad de los contaminantes como pesticidas, también suelen afectar a la biota presente (Tanaka, Jinadasa y Ng, 2011).

2.1.7. Humedales artificiales

Estos sistemas son construidos por el hombre, destinados específicamente a la fitodepuración de aguas residuales. Consisten en el diseño de un canal de no más de 1.20 m de profundidad, con agua, substrato, medio de soporte o lecho impermeabilizado. Poseen un cultivo de macrófitas enraizadas con plantas emergentes, flotantes, sumergidas y/o plantas de hojas flotantes. Los otros componentes característicos como microbios e invertebrados acuáticos, con el tiempo colonizan naturalmente (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Según Delgadillo, *et al.* (2010), “la hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario decisivo en su éxito o fracaso, por lo siguiente:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de raíces y rizomas y bloqueando la exposición al viento y al sol”.

El funcionamiento de los pantanos artificiales, según Delgadillo, *et al.* (2010), “se basa en tres principios básicos. La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante”.

Dentro de las funciones y a la vez ventajas de los humedales, a pesar de requerir disponibilidad de grandes áreas de tierra, son varias. La fijación física de contaminantes en la superficie del suelo y materia orgánica; utilización y transformación de elementos por medio de microorganismos; y la obtención de niveles de tratamiento muy eficientes, con un bajo consumo de energía y un mantenimiento mínimo, ya que la purga de lodos estabilizados se hace cada dos o tres años. En el cuadro 3 se describen algunas características del funcionamiento de la fitodepuración para el tratamiento de las aguas residuales (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Características del funcionamiento de la fitodepuración de sistemas acuáticos:

Contaminación tratada	Proceso involucrado	Tipo
Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc.	Las plantas concentran los metales en las partes cosechables (hojas y raíces).	Fitoextracción
Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos.	Las raíces de las plantas absorben, precipitan y concentran metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradan compuestos orgánicos.	Rizofiltración
Lagunas de desecho de yacimientos mineros. Fenólicos y compuestos clorados.	Las plantas tolerantes a metales reducen la movilidad de los mismos y evitan el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Fitoestabilización
Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.	Los exudados radiculares promueven el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Fitoestimulación
Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Fitovolatilización
Municiones (TNT,	Las plantas acuáticas y terrestres	Fitodegradación

DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.	captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.
---	--

(Panchi, 2013).

Tipos de humedales artificiales

De acuerdo con el tipo de macrófitas utilizados para su funcionamiento, se clasifican en: sistemas de tratamiento (ST.) basados en macrófitas de hojas flotantes (angiospermas en suelos anegados con sus órganos reproductores aéreos o flotantes, principalmente jacinto de agua (*Eichhornea crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* sp.). Los ST basados en macrófitas sumergidas (los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos, comprendiendo algunos helechos, musgos, carófitas y angiospermas). Por último están los ST basados en macrófitas enraizadas emergentes (plantas perennes con órganos reproductores aéreos, de suelos permanente o temporalmente anegados) (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Los ST basados en macrófitas enraizadas emergentes, de acuerdo a la circulación del flujo de agua, se clasifican en: humedales de 1) flujo superficial (FWS) en Figura 1 (si el agua circula a una profundidad no mayor a los 0.6 m a través de los tallos y directamente expuesta a la atmósfera). Por otro lado, están los de 2) flujo subsuperficial (SFS) en figura 2 (si el agua corre por debajo de la superficie del estrato del humedal y con una profundidad cercana a los 0.6 m), y este último se clasifica según la dirección del flujo en a) horizontal y b) vertical (Delgadillo, *et al.*, 2010).

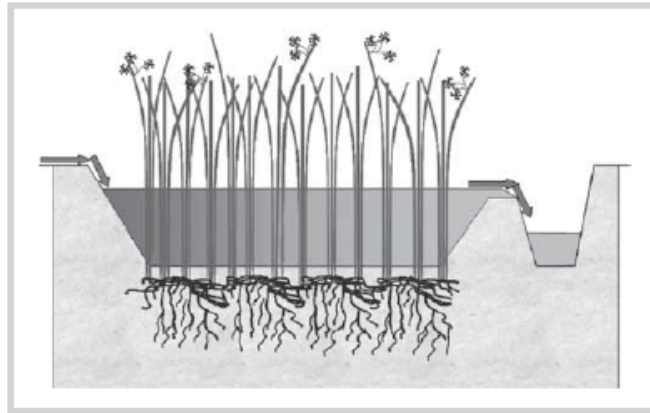


Figura 1: Humedal artificial de flujo superficial (Delgadillo, *et al.*, 2010).

En los humedales subsuperficiales de flujo horizontal, figura 2, el agua residual ingresa en forma permanente y es aplicada en la parte superior de un extremo (es fundamental que el agua se mantenga en un nivel inferior a la superficie de 5 a 10 cm) y recogida por un tubo de drenaje cribado en la parte opuesta inferior, el cual va rodeado con grava del mismo grosor que la de la zona de amortiguación. De manera que se trata el agua residual a medida en que ésta fluye lateralmente a través del medio poroso (flujo pistón), pasando primero por una zona de amortiguación generalmente de grava de mayor tamaño (diámetro 50 mm a 100 mm) y luego al medio granular principal o cuerpo (grava fina de diámetro homogéneo entre 3 mm a 32 mm). La profundidad del lecho puede variar entre 0.45 m a 1 m, teniendo una pendiente entre 0.5% a 1% (Delgadillo, *et al.*, 2010).

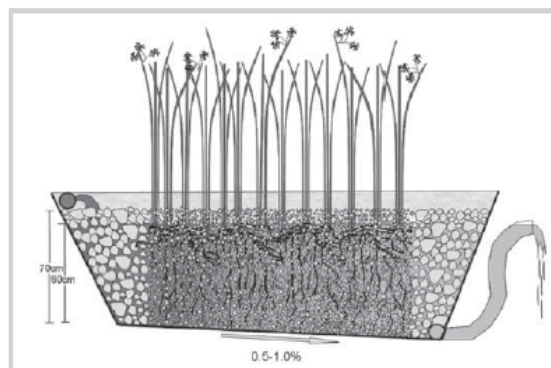


Figura 2: Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Las aguas residuales de los sistemas con flujo subsuperficiales verticales, figura 3, son suministradas de forma intermitente de arriba hacia abajo mediante un sistema de tuberías. Esto permite que las aguas se infiltren a través de un sustrato inerte (arenas, gravas, constituido por varias capas, de las más finas a la de mayor diámetro hacia abajo), de manera que las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación. Los períodos de insaturación estimulan el suministro de oxígeno y para favorecer estas condiciones aerobias se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas (tuberías cribadas con salidas al exterior). Estos sistemas poseen una red de drenajes en el fondo (Delgadillo, *et al.*, 2010).

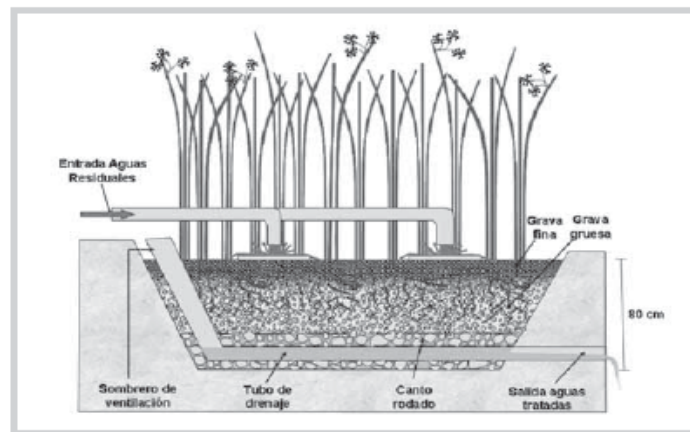


Figura 3. Humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical (Delgadillo, *et al.*, 2010).

La mayor ventaja de los sistemas SFS con respecto a los FWS, es que requieren menor área y además los FWS requieren de un pretratamiento de las aguas residuales; sin embargo, el sistema a elegir dependerá de los costos y disponibilidad de la tierra, el tipo de impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado. El área puede disminuirse aún más al utilizar medios que ofrezcan mayores superficies específicas que la grava (superficie 50 a 60 m^2/m^3).

2.1.8. Características necesarias en la especie de macrófita para un sistema de fitodepuración

La especie de macrófita seleccionada debe cumplir con ciertas características para incrementar el nivel de éxito en los resultados esperados. La especie debe disponer de un efectivo sistema de rizomas para lograr una mayor absorción del material particulado (Panchi, 2013).

Para conseguir la máxima asimilación de nutrientes, la planta debe alcanzar un nivel de biomasa elevado por unidad de superficie. Las raíces y rizomas, deben tener una gran área específica (Panchi, 2013).

Es preferible que la macrófita provenga de un área local, para asegurar la adaptabilidad a condiciones climáticas, al ecosistema y desarrollarse fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado. Además, la consecución de la planta en un área local permitirá aumentar la disponibilidad de la misma. La productividad de la planta debe ser alta, de manera que la propagación de ésta a lo largo del humedal se realice con éxito (Panchi, 2013).

Es de suma importancia tomar en cuenta la capacidad de tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales. Algunas especies acuáticas no soportan sino ciertos rangos de acidez. El posterior manejo del material vegetativo, siempre que el efluente no contenga metales pesados, podrá incorporarse en la alimentación de ganado bovino o para el aporte de materia orgánica en el cultivo. Este manejo aplica para una extractora de aceite, ya que las aguas residuales contienen principalmente un alto contenido de materia orgánica (Panchi, 2013).

En Ecuador, se implementó un pantano con un monocultivo de pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) para la depuración de aguas residuales de la empresa extractora de aceite de palma, Palmeras del Ecuador. Dentro de un humedal artificial

de tipo subsuperficial, se han obtenido resultados de eficacia en reducción de DQO del 99% (Panchi, 2013).

El pasto Alemán es una gramínea de origen centroamericano y que se reproduce naturalmente en la región, perenne, robusta, su inflorescencia es una panícula abierta y las espiguillas son infértiles. El género *Echinochloa* se caracteriza por su adaptación extraordinaria a condiciones de alta humedad, se adapta a suelos pesados (arcillosos, arcillo-limoso, hasta francos), se propagan de forma exitosa en bajíos y esteros. Las condiciones ideales es el clima cálido, desde el nivel del mar hasta 800 m. de altitud. El rendimiento del pasto Alemán está entre 80 y 100 toneladas/ha/año de materia verde (Rodríguez, 1983).

El pasto Tanner o Cornell (*Brachiaria arrecta*), es una gramínea que se reproduce naturalmente en el área local, perenne, con hojas cortas, estolonífera, produce muchas raíces en los nudos de contacto con el suelo, glabro en la vaina y los nudos y poseen la inserción de las espiguillas simple. Está bien adaptado a condiciones de clima y suelo del trópico especialmente en suelos de aluviones húmedos, saturados y con inundaciones frecuentes. Soporta altos niveles de acidez y absorbe mayores cantidades de N que otros pastos (Más y García, 2006).

El nivel de tolerancia del pasto Tanner o Cornell a terrenos pantanosos puede ser atribuido a una mayor difusión de oxígeno a las raíces a través de los estolones huecos, al desarrollo de raíces adventicias que compensan la reducción de oxígeno en el suelo y permiten el mantenimiento de la actividad radicular. Debido a lo anterior, todos los pastos estoloníferos son más resistentes a las inundaciones (Cerdas y Vallejos, 2013).

Debido a las propiedades del pasto Tanner o Cornell, afines con las características necesarias para utilizarla en sistemas de fitodepuración, en Colombia se le ha utilizado en humedal para la remoción de contaminantes de una granja porcícola; el estudio demostró una alta remoción de sólidos suspendidos (mayor al 83%), nitrógeno (mayor

al 96%) y fósforo (mayor al 92%) (Ver Anexo 2) (Arias, Betancur, Gómez, Salazar y Hernández, 2010).

En Guatemala la utilización de humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, entre otras entidades, se ha implementado por parte de autoridades responsables de cuerpos de agua lacustres, de forma exitosa. Entre dichas autoridades están la autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del lago Amatitlán (AMSA) y la autoridad para el manejo sustentable del lago de Atitlan (AMSCLAE) (Mijangos, 2013).

AMSA cuenta con un sistema de biofiltros con Tul (*Thypha* sp.) y Jacinto de agua (*Eichhornea crassipes*), como tratamiento terciario del río Villalobos. AMSCLAE a través del comité Panajachelense Pro-Lago Atitlán, implementó un humedal para tratar efluentes del río San Francisco, utilizando dos especies de Tul (*Thypha* sp.) y Ninfa (*Nymphaea* spp.) (Mijangos, 2013).

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA

El trabajo de práctica profesional se realizó en la Extractora del Atlántico de aceite de palma de la empresa Agrocaribe. La empresa se encuentra ubicada en el kilómetro 273.5, carretera al Atlántico, Finca Dublín, en el departamento de Izabal.

La institución se dedica a la extracción del aceite de palma proveniente de fincas propias. Toda la fruta que se recibe se encuentra certificada. El aceite extraído se vende a otras empresas que se encargan de refinar y elaborar sus distintos productos de interés.

2.2.1. Descripción de la empresa

Corporación Agroindustrial del Caribe, S.A. es una empresa mundial, dedicada a la producción y extracción de aceite de palma. Inició sus actividades en 1997 con 1,500 ha, siendo para el año 2000 un proyecto de 5,000 ha sembradas, empezando a producir en el 2001. En el año 2003 se inauguró la planta extractora de aceite, “Extractor del Atlántico” que posee actualmente 10,000 ha sembradas y es parte del grupo Agrocaribe, junto con la planta extractora “La Francia” ubicada en el municipio de Morales, con 5,000 ha.

En el 2010, la empresa se convirtió en la primera de palma de aceite del mundo que obtuvo la certificación Rainforest Alliance, por ser amigable con el medio ambiente, las comunidades y sus trabajadores. Luego en el 2011, fue la primera empresa de aceite de palma en el mundo en obtener la certificación Business Alliance for Secure Commerce -BASC-, por cumplir con normas estrictas de seguridad.

Agrocaribe es la primera empresa de palma de aceite en Centroamérica y la cuarta en el mundo en obtener la certificación RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil), por cumplir con los ocho principios de una producción de aceite de palma sostenible. A continuación, en la figura 4 se observa el diagrama del proceso de producción de aceite de palma en la Extractora del Atlántico.

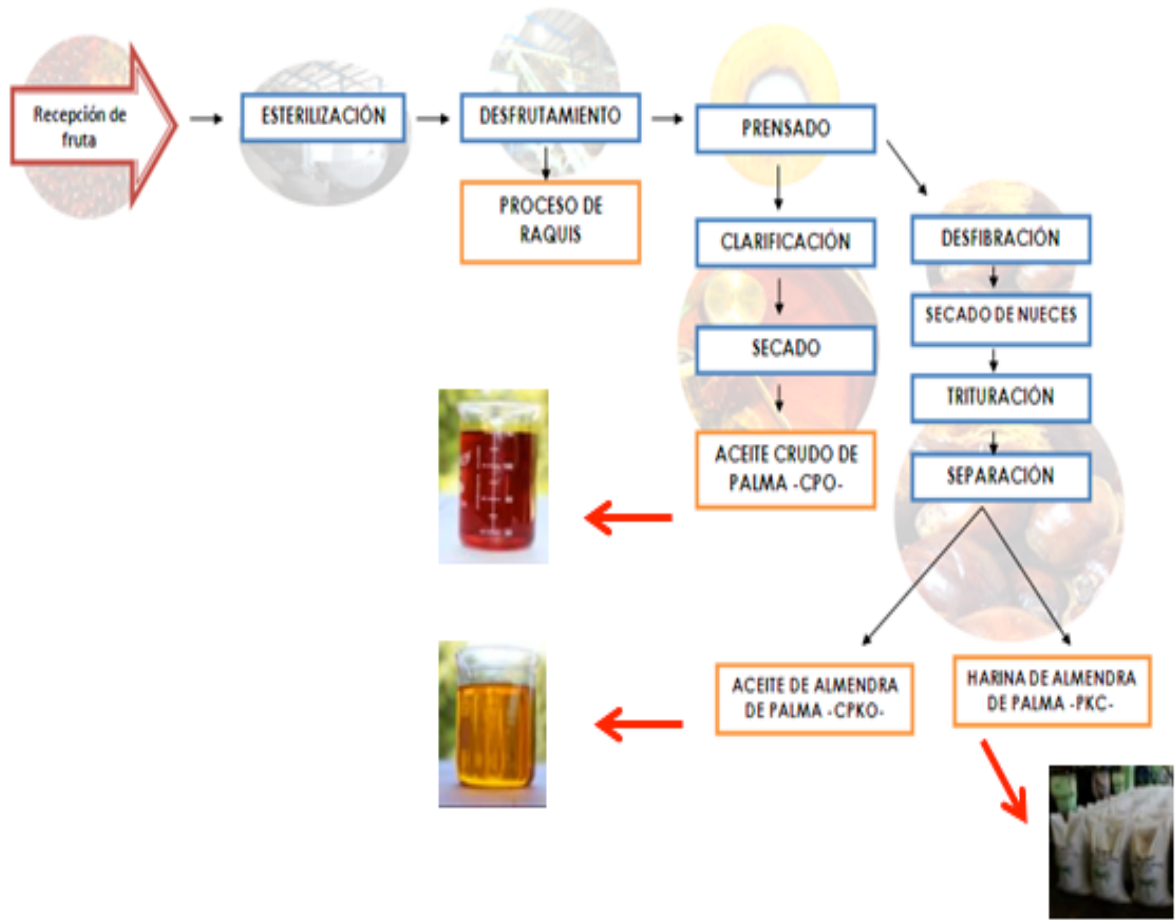


Figura 4. Proceso de extracción y sus productos (Agrocaribe, 2015).

2.2.2 Diagrama organizacional

La organización empresarial Agrocaribe, se puede apreciar en la figura 5. Se puede identificar los niveles, dependencia, relación y comunicación existentes o idóneos para el buen funcionamiento de cada área corporativa.

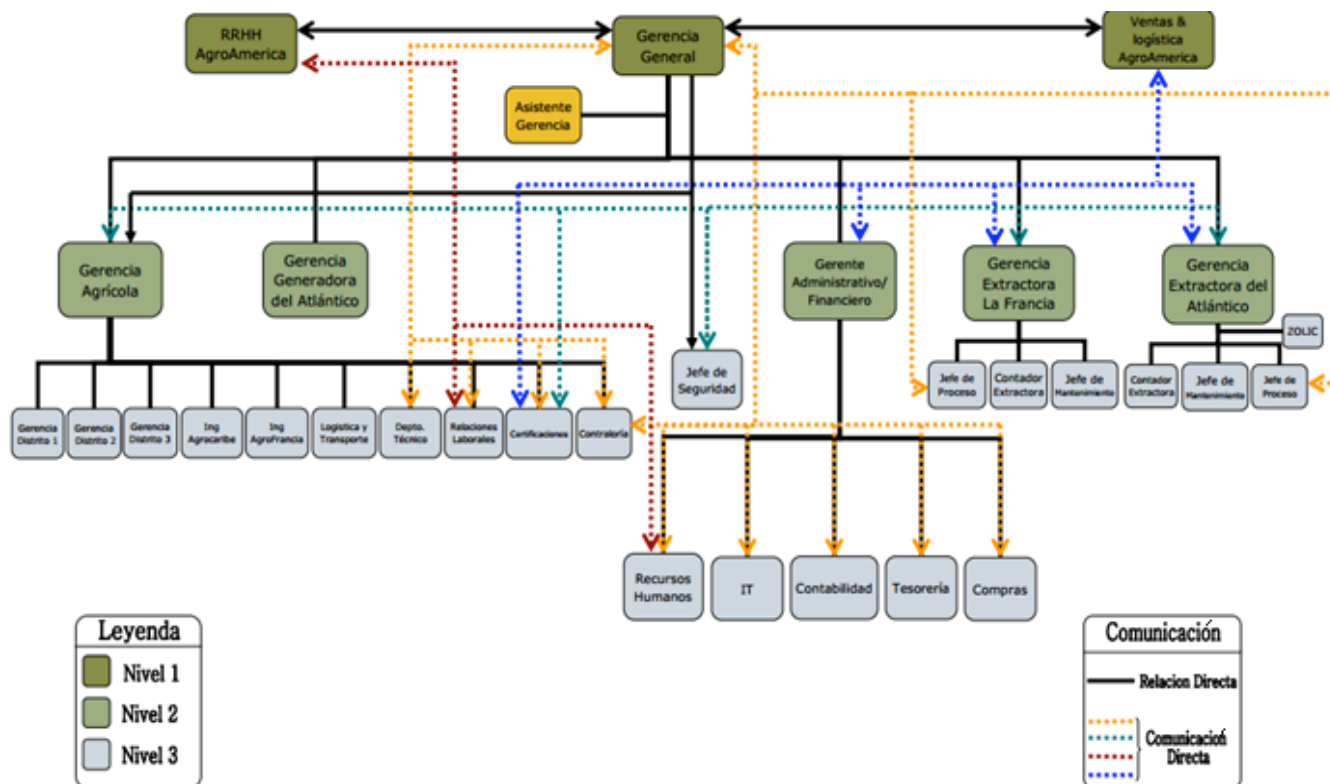


Figura 5. Diagrama organizacional de la empresa Agrocaribe (Agrocaribe, 2015).

2.2.3. Departamento de certificaciones y medio ambiente

Las prácticas serán realizadas bajo la dirección de la Gerencia de Certificaciones y Medio Ambiente, la cual fue implementada en el año 2010, logrando ese mismo año ser la primer empresa agroindustrial de palma de aceite en certificarse Rainforest Alliance en el mundo. El objetivo de la gerencia de certificaciones es que todos los procesos sean sostenibles de acuerdo a tres ejes: económico, ambiental y social.

El departamento de certificaciones y medio ambiente, desarrolla en conjunto con cada uno de los departamentos de producción, distintos proyectos y actividades para la consecución y mantenimiento de las distintas certificaciones como BASC, RSPO, Kosher, Rainforest Alliance, entre otras. Teniendo como objetivo principal, lograr una producción económicamente viable y sostenible tanto con el medio ambiente como con las comunidades y los colaboradores.

3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA

3.1 NECESIDAD EMPRESARIAL

Agrocaribe, es una empresa que busca la mejora continua a través de la sostenibilidad de sus proyectos y diferenciación internacional mediante de sus certificaciones como Rainforest Alliance, Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO), BASC, Kosher. Por lo anterior, y debido a las constantes auditorías ambientales a las que se somete, la empresa estaba interesada en implementar un sistema que mejorara la calidad tanto del agua como paisajística dentro de su sistema de depuración de efluentes, a través de un sistema de fitodepuración.

La producción de aceite de palma de “Agrocaribe”, de acuerdo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se puede clasificar como un ente privado generador de aguas residuales de tipo especial que descarga hacia un cuerpo receptor. Con base en este reglamento debe cumplir con las etapas de reducción de los parámetros fisicoquímicos que le aplican. La empresa cumplía con los límites máximos permisibles en su descarga, sin embargo deseaba mejorar la calidad del agua en los parámetros DQO, DBO y N total principalmente en temporada alta de cosecha.

3.2 JUSTIFICACIÓN

En Guatemala el 95% de las aguas residuales, se descargan sin ser tratadas en ríos cercanos. El 30% de los cuerpos de agua que han sido analizados, no cumplen con los límites permisibles de normas internacionales, y pese a que sus aguas no son adecuadas para el consumo humano, la mayoría de comunidades rurales tiene la necesidad de utilizar este recurso vital. De acuerdo con la Constitución Política de Guatemala, todo ente o persona en el país es responsable de propiciar un desarrollo que permita el bienestar económico, social y ambiental, con el uso adecuado de los recursos naturales (IARNA, 2006).

Por lo anterior, una de las responsabilidades de importancia, es la mitigación y prevención de cualquier tipo de contaminación hacia los cuerpos de agua. Debe promoverse tanto el bienestar del ser humano, como la preservación de los ecosistemas acuáticos de la vertiente del Atlántico, en donde se encuentra ubicado el proyecto.

Debido al cumplimiento con las características necesarias en las macrófitas para fitodepuración, a los altos niveles de eficacia en remoción de contaminantes demostrados en estudios recientes y por ser plantas adaptadas y disponibles en áreas locales, se eligieron para el humedal, el pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) y el pasto Tanner o Cornell (*Brachiaria arrecta*).

El desarrollo del proyecto se realizó con el fin de contribuir con el desarrollo sostenible que permite el bienestar de las comunidades cercanas, el ingreso económico y la conservación del medio ambiente.

Debido a la fineza de la partícula orgánica proveniente del procesamiento de fruta, se ha dificultado el proceso de sedimentación y remoción de la misma en la planta de tratamiento de aguas residuales. El desarrollo del humedal, tal como se ha demostrado en Palmeras del Ecuador, mejora la calidad de las aguas residuales al incrementar el área de filtrado de partículas finas y absorción de nutrientes (N total y P total) y al aumentar la oxigenación del cuerpo de agua a través de la actividad vegetal y microbiana.

3.3. EJE DE SISTEMATIZACIÓN

Se realizó un diagnóstico de las aguas residuales de la planta de tratamiento de extractora de aceite de plama del Atlántico.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de fitodepuración de efluentes especiales resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales con los pastos Alemán y Tanner o Cornell de la planta extractora de aceite de palma del Atlántico.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma del Atlántico, a través de los niveles de calidad de los parámetros de interés DBO, DQO y Nitrógeno total.
- Evaluar la eficacia en remoción de parámetro DQO vinculado con el crecimiento de las macrófitas *Brachiaria arrecta* (pasto Tanner o Cornell) y *Echinochloa polystachya* (pasto Alemán).

5. PLAN DE TRABAJO

5.1. PROGRAMA DESARROLLADO

Se realizó un diagnóstico del sistema de tratamiento y calidad de aguas residuales de la empresa anfitriona, mediante el análisis de pruebas fisicoquímicas del efluente del año 2014. Agrocaripe contrata periódicamente a la empresa “Ambiente y Desarrollo Consultores, S.A.” y al laboratorio, “ECOQUIMSA” para realizar un monitoreo de parámetros de calidad de agua de forma cuatrimestral. La toma de muestra del monitoreo cuatrimestral del año 2014 se realizó a la salida del proceso de extracción, a la salida de la laguna facultativa, a la salida de los clarificadores y en los filtros 2 y 5.

Los materiales y equipo utilizados por el laboratorio ECOQUIMSA para la toma de muestras en campo son: una hielera; cinco recipientes plásticos con tapadera y calcomanía de identificación de muestras de ½ galón; cinco picheles plásticos para recolectar aguas residuales; cinco frascos de vidrio con tapadera de 1,000 ml para grasas y aceites; guantes; hielo; receptor de GPS; libreta de campo; lapicero; marcador permanente; cámara digital.

La metodología que utiliza ECOQUIMSA para la determinar mg/l de DQO es Spectroquant ® Merck 14541 ≈ STM 5220 D, para la DBO se utiliza el método STM 5210 B y para la determinación del Nitrógeno total se utiliza el método Spectroquant ® Merck 14773.

Adicionalmente para el diagnóstico se elaboró un monitoreo del parámetro DQO, previo a la propagación de las plantas acuáticas, a través del laboratorio interno de la empresa utilizando el método fotométrico con el kit de cubetas DQO, 114555. La toma de muestras se realizó en la salida del proceso, a la salida de las lagunas (4), a la salida de los clarificadores (4) y en todos los filtros de piedra (1 al 5).

La localización del efluente de aguas residuales se visualiza en la figura 7. El canal en donde se realizó el trabajo, lleva las aguas residuales de un proceso de tratamiento

primario y secundario, compuesto por un sistema de enfriamiento, lagunas anaerobias con captación de biogás, una laguna facultativa y clarificadores (anexo 1).

La siembra de la vegetación en el cauce de aguas residuales, se realizó entre el filtro o gavión 1 al 5 (figura 7). Se sembraron tres parcelas, separadas por gaviones o filtros de piedra. Se aplicaron tres tratamientos; el primer tratamiento se realizó únicamente con pasto Alemán, el segundo fue con la asociación de Tanner o Cornell y Alemán y el tercer tratamiento con monocultivo de Tanner o Cornell. Para identificar mejor la eficacia porcentual en depuración de contaminantes de cada tratamiento, se realizó una réplica de la siembra pero en otro orden, en tres parcelas siguientes del mismo cauce (figura 6).

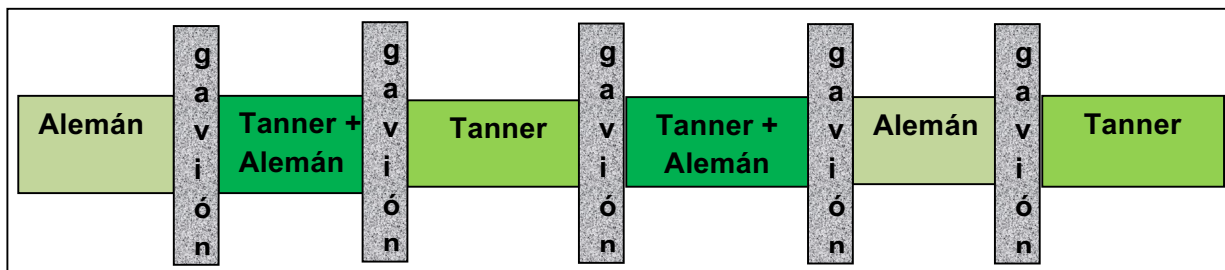


Figura 6. Disposición de parcelas dentro del canal de efluentes.

El método que se utilizó para la siembra consistió primero en una limpieza manual de malezas en el talud del cauce y la siembra del material vegetativo en el talud y en el canal, cada tratamiento en 100 m de largo y 4 m de ancho. Para el método de propagación por material vegetativo se utilizaron esquejes podados de pasto Alemán y estolones para la siembra del pasto Tanner o Cornell. Los esquejes y estolones se enterraron dejando hojas sobresalientes del agua, para promover que las plantas continuaran con su actividad fotosintética.

Cabe resaltar que pese a que la literatura indica un grado de inclinación y profundidad promedio para la implementación de un sistema de humedal, la profundidad del canal e inclinación, no fueron variables controlables, debido a las fluctuaciones del efluente y a que el canal con los 5 filtros de piedra se encontraba construido antes de la

implementación del proyecto de fitodepuración, en donde la profundidad e inclinación no fueron considerados de forma homogénea y tampoco diseñados para el establecimiento de un humedal.

Los puntos de toma de muestras para el monitoreo, fueron uno antes y uno después de cada tratamiento implementado. Se realizó un monitoreo interno quincenal del parámetro de DQO, vinculado con el crecimiento de las macrófitas (medición de crecimiento en cm), durante cuatro meses. El material utilizado para la toma de muestras fue: metro, mascarilla, guantes, termómetro, cucharón para toma de muestras, dieciséis embases de plástico rotulados con tapadera, libreta de campo; lapicero; marcador permanente; cámara digital. Para la determinación de la DQO se utilizó el método fotométrico con el kit de cubetas DQO, 114555.

Se tomó en cuenta el comportamiento de los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el filtro 5 a ser considerado como punto de descarga final, aunque cabe resaltar que éste aún no es dicho punto descarga final sino hasta 3.7 km después.

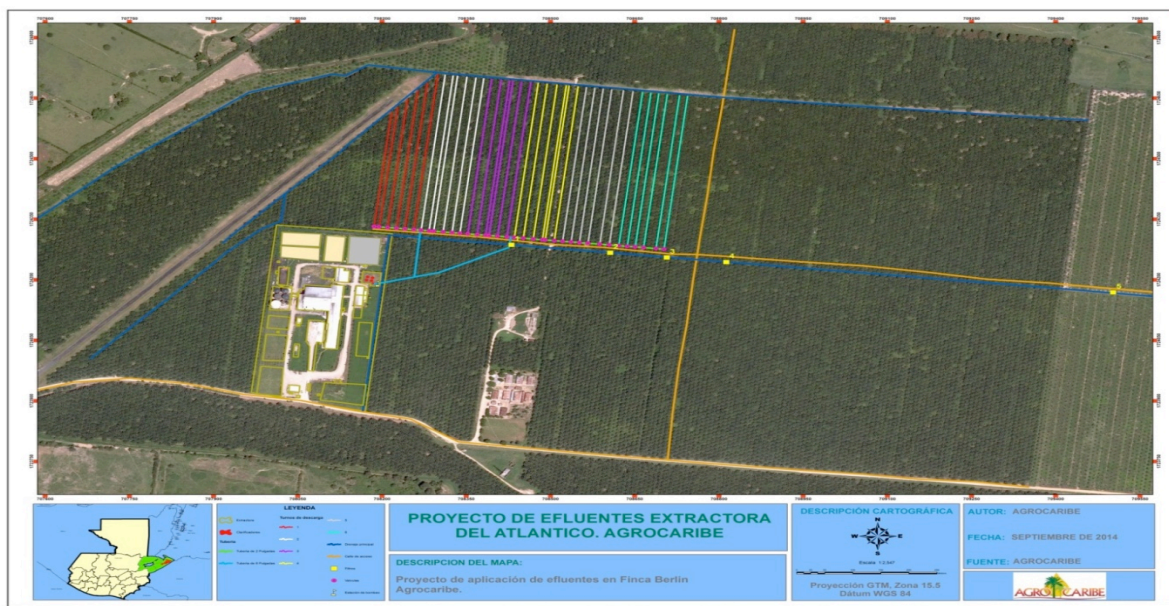


Figura 7. Mapa de localización del efluente de aguas residuales de planta Extractora del Atlántico (Agrocaribe, 2015).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Diagnóstico de aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma del Atlántico:

El sistema de tratamiento de aguas residuales en planta extractora del Atlántico, consiste en un tratamiento de tipo secundario. Las aguas que resultan del proceso de extracción de aceite de palma, debido a utilizar principalmente procesos físicos para la extracción de aceites (en general utilizan presión de vapor y prensas) contienen únicamente materia orgánica proveniente de los desprendimientos de los racimos de fruta en el proceso de cocción y estrujamiento.

El tratamiento de estas aguas consiste en un pretratamiento con equipos llamados “florentinos” que separan las grasas del efluente. El tratamiento primario consiste en la estabilización de la temperatura con torres y laguna de enfriamiento, luego la sedimentación primaria del efluente en lagunas anaeróbicas con captación de metano, seguidamente a una sedimentación y estabilización secundaria en laguna facultativa (ver figura 8) y con los clarificadores o tanques de inyección de oxígeno que provocan la floculación de lodos. Los clarificadores separan lodos de las aguas, los lodos son bombeados hacia canales de irrigación (Drench) en el cultivo de palma y las aguas residuales van hacia el canal de efluentes con filtros de piedra.

Los efluentes en el sistema de tratamiento pasan de una etapa a otra por gravedad, a excepción de los clarificadores que utilizan bombeo para movilizar los lodos hacia los canales de irrigación “Drench” y las aguas hacia el canal de efluentes. El tiempo de estadía total de los efluentes hasta las lagunas en temporada baja es de 14 días y en temporada alta es de 9 días; el tiempo de estadía en el canal de filtros en temporada baja es de 21 días y en temporada alta es alrededor de 14 días.



Figura 8. Lagunas carpadas para la captura de metano y laguna facultativa.

Los lodos son removidos de los “Drench” cuatro veces al año y son enviados a un área para su secado final, en donde se les agrega el producto “Bacto-agar”, fabricado por la empresa “Biosolg”, que es una empresa exportadora de bacterias especializadas fabricadas en Estados Unidos. El “Bacto-agar” es un multiplicador y activador de bacterias selectivas; aportando oxígeno y acelerando la descomposición de materia orgánica. Se aplica quincenalmente 1 gal/100m², disuelto con agua mediante bombas de aspersión de forma uniforme en todo el lodo. Al mes los lodos están listos para ser aplicados a campo.

Del proceso se tienen lodos de partículas gruesas y lodos de partículas finas. Los lodos de partículas más gruesas se logran bombear hacia los “Drench” y son reincorporados como materia orgánica en el cultivo. En total se cuenta con 42 “Drench” (ver figura 7 y 9). Los lodos de partículas finas se van con los efluentes hacia el canal de filtros.



Figura 9. Ejemplo de “Drench” utilizados para la incorporación de lodos al cultivo.

En todo el proceso del sistema de tratamiento de efluentes, se busca principalmente la disminución de sólidos suspendidos de carácter orgánico procedentes del procesamiento del fruto, siendo éste el principal contaminante. Debido a la fineza de la partícula resultante y a su carácter orgánico, la coloración del agua, nitrógeno total, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), son los parámetros que demandan mayor depuración.

Con base en lo que establece el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se cataloga a Extractora del Atlántico como un Ente Generador Existente, ya que tal como lo define el Artículo 4, es un Ente Generador de aguas residuales de tipo especial, cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor y es un Ente Generador existente establecido

previo a la vigencia del mismo Acuerdo. Por lo anterior le compete cumplir con los límites máximos permisibles en los parámetros de descarga a un cuerpo receptor (cuadro 1).

El punto de descarga en el Estudio Técnico de aguas residuales está definido a la salida del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, “punto de descarga es el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente, tratado o no”. Sin embargo el canal de efluentes no es el cuerpo receptor, sino que forma parte del sistema de tratamiento de aguas. Por lo anterior y debido a que dentro del alcance del Estudio Técnico de Aguas Residuales elaborado en el año 2012 no se incluyó el canal de efluentes ni el actual proyecto de fitodepuración, debe actualizarse el punto de descarga.

Lo que respecta a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, debido a que en el Estudio Técnico Extractora del Atlántico presentó un Valor Inicial de Carga (VIC) de 522.96 kg/día, siendo un valor menor a la meta de cumplimiento (3,000 kg/día) establecida en el Artículo 19 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 al finalizar el modelo de reducción progresiva (Etapa 4, 2/05/2024) establecido en el Artículo 17; sin embargo el valor del parámetro de calidad asociado de DBO fue de 1,560 mg/L (Celis y Luna, 2012).

Por lo anterior y con base en lo que establece el Acuerdo Ministerial 105-2008, debido a que el parámetro de calidad asociado inicial es mayor que la meta de cumplimiento (200 mg/L) le corresponde someterse a un modelo de reducción que fue calculado y se presenta a continuación en el cuadro 5:

Cuadro 5. Modelo de reducción competente a Extractora del Atlántico del parámetro de calidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Modelo de Reducción en cumplimiento con la meta del límite máximo permisible (200 mg/L para el 02/05/2024) a partir del Valor Inicial de Carga (VIC), 522.96kg/día y 1,560 mg/L.					
Parámetro Analizado	Dimensional	Dos de mayo del dos mil once	Dos de mayo del dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
		Etapas			
		Uno (10%)	Dos (10%)	Tres (50%)	Cuatro (40%)
DBO	mg/L	1,404mg/L	1,263.6 mg/L	631.8 mg/L	200 mg/L

De acuerdo con el monitoreo ambiental elaborado por Ambiente y Desarrollo, S.A. y los parámetros de aguas residuales de la Planta Extractora del año 2014, se desarrollaron gráficas del comportamiento de dichos parámetros en el filtro 5, punto desde el cual se cumple con los límites máximos permisibles para dicho año, y aún se encuentra alejado del punto de desfogue final, aproximadamente a una distancia de 3.7 km. (Ver figura 10 y 11). Ambiente y Desarrollo, S.A., es una empresa dedicada a la realización de estudios ambientales y gestión ambiental, subcontratada por Agrocaribe para la realización de estudios como evaluaciones de impacto ambiental, estudio técnico de aguas residuales, monitoreo ambiental, etc.

De acuerdo con lo que se puede observar en la figura 10 y 11, se puede determinar que la concentración del parámetro DQO y DBO en el filtro 5, presentan un comportamiento directamente proporcional a lo largo del año. La proporcionalidad de los parámetros DQO/DBO es de 1:2. El N_{total} en el filtro 5 presenta un comportamiento similar a la concentración de los parámetros DQO y DBO, se puede observar que su presencia e incremento esta relacionado con la existencia de material orgánico en el efluente.

Los picos observados en los parámetros, están ligados principalmente a la temporada alta de procesamiento de fruta en planta extractora, temporada que va aproximadamente de Mayo a Octubre, según lo define la empresa anfitriona. La cantidad de fruta procesada en temporada alta es en promedio 16,210.18 toneladas/mes y en temporada baja, que va de Diciembre a Abril es de 9,050.54 toneladas/mes.

Debido a que la cantidad en metros cúbicos de agua utilizada para el procesamiento de racimos de fruta de palma, es en promedio 1 m^3 / tonelada producida, siendo un caudal promedio anual de $346.7 \text{ m}^3/\text{día}$, según el dato proporcionado por el Gerente de Planta; sin embargo éste caudal oscila de acuerdo a la cantidad de toneladas procesadas, el cual se debe depurar en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Extractora del Atlántico. Por lo anterior, se estima que se genera en temporada alta una cantidad de $16,210 \text{ m}^3/\text{mes}$, $540.33 \text{ m}^3/\text{día}$ y $45.03 \text{ m}^3/\text{hora}$; por otro lado, en temporada baja se generan aproximadamente $9,051 \text{ m}^3/\text{mes}$, $301.70 \text{ m}^3/\text{día}$ y $37.71 \text{ m}^3/\text{hora}$.

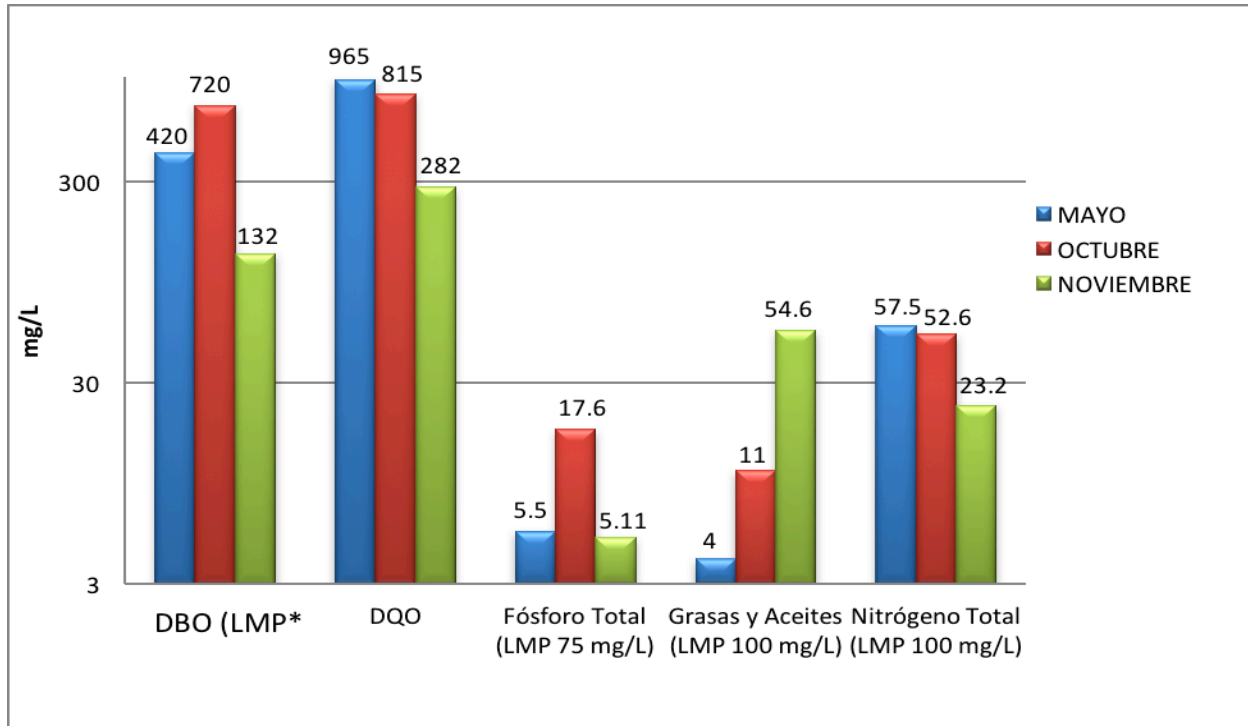


Figura 10. Comportamiento de parámetros en el canal de efluentes del filtro 5, 2014. (*LMP = Límite Máximo Permisible, Acuerdo Gubernativo 236-2006)

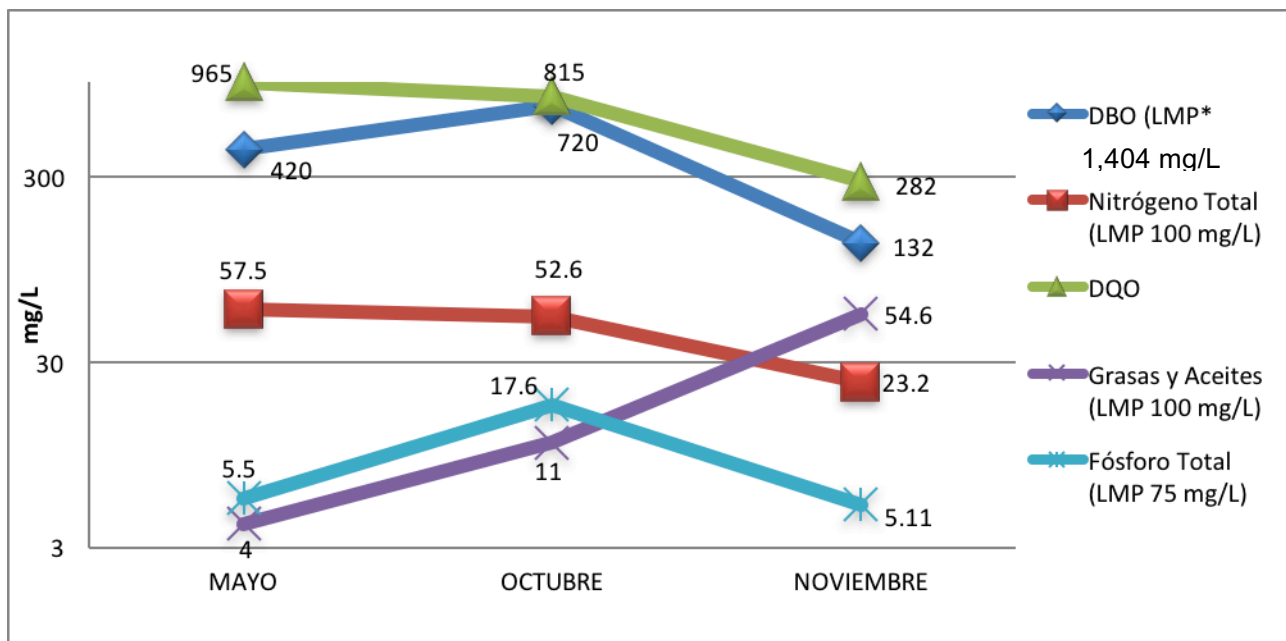


Figura 11. Comportamiento de parámetros en filtro 5, en el año 2014. (*LMP = Límite máximo permisible, Acuerdo Gubernativo 236-2006)

De acuerdo con lo que se puede observar en las figuras 12 y 13 y el cuadro 6, en la temporada alta de procesamiento de fruta los niveles de los parámetros Nitrógeno total y DBO en el filtro 5, llegan al cumplimiento de acuerdo al requerimiento de la Etapa 1 (02/05/2011) del Acuerdo Gubernativo 236-2006, Nitrógeno total 100 mg/L y DBO de 1,404 mg/L correspondiente para el 2014. Se tienen altas eficacias en remoción de la carga orgánica en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales (STARI), además es imprescindible notar que en primera instancia, el sitio definido para la toma de muestras como punto de descarga (a la salida del STARI), no corresponde al punto de descarga final, de acuerdo a lo que define el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su Artículo 4, “sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales”; ya que este punto aún se encuentra a 8.68 km del punto de descarga final o cuerpo receptor. El canal de efluentes hasta el filtro 5 mide aproximadamente 4.98 km de largo, por lo que se espera que el cumplimiento con los límites permisibles sea aún mejor en el punto de descarga final a 3.7 km del mismo.

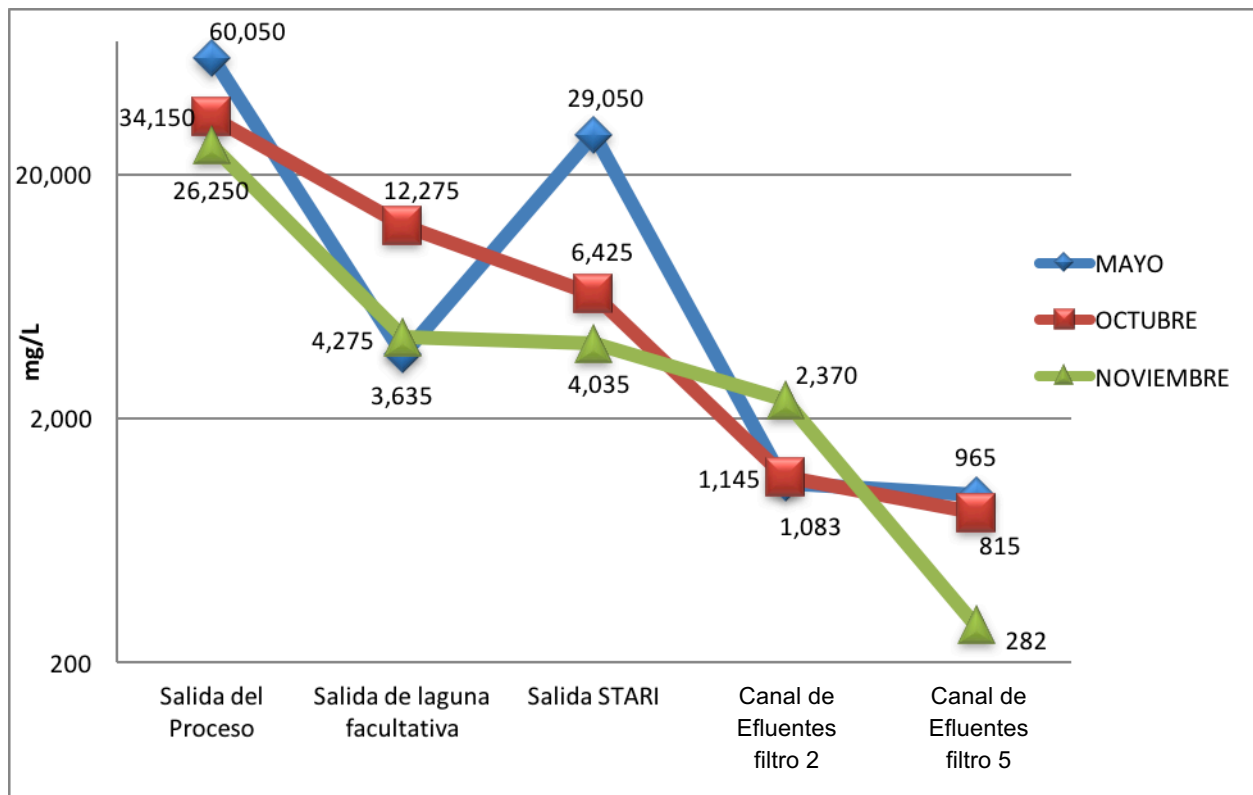


Figura 12. Comportamiento del parámetro DQO a lo largo del Sistema de Tratamiento de Efluentes, 2014.

El objetivo de un sistema de tratamiento de aguas residuales es depurar de un caudal determinado, la mayor cantidad de contaminantes posible; por lo tanto es preciso realizar un diseño previo del mismo tomando en cuenta el caudal a tratar, sus oscilaciones y las características de los compuestos contaminantes, así como también es importante tomar en cuenta un futuro incremento en la generación de aguas residuales. La capacidad de carga del sistema debería ser igual o mayor a la carga contaminante. De acuerdo con lo que se puede apreciar en la figura 12 y en el cuadro 6, se puede decir que el sistema de tratamiento no se encuentra disminuyendo progresivamente los parámetros para mejorar de forma eficiente el porcentaje de los mismos; por el contrario se puede observar que de una etapa a otra los parámetros han incluso incrementado.

En la figura 12 se puede observar claramente que existe un pico de DQO en el mes de mayo, siendo temporada alta de procesamiento de fruta. En ésta figura también se puede observar cómo en los tres meses de monitoreo del 2014, existe un incremento en el parámetro en el punto de toma de muestra a la “Salida del STARI (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales - STARI)”.

Al comparar los datos del parámetro en la figura 12 y el porcentaje de eficiencia en remoción en la figura 13, se puede decir que al parecer el sistema está presentando un problema con respecto a la saturación de contaminantes que evitan que la depuración de los parámetros siga en reducción progresiva y por el contrario se incrementa en este punto en temporada alta de producción. De la laguna facultativa a la salida del STARI, se encuentran los “Tanques Clarificadores” que tienen la función de inyectar oxígeno a las aguas residuales para provocar la floculación de lodos y separar éstos de las aguas.

Con base en la figura 13 se puede decir que los tanques clarificadores reducen la eficiencia en remoción en un 42.3% en temporada alta de procesamiento de fruta. Este comportamiento puede ser debido a que la capacidad de los mismos es menor a la cantidad de efluente a depurar. De acuerdo a los datos proporcionados, la capacidad de los tanques clarificadores fue diseñada para depurar los 20 m³/h que generaba la planta al iniciar sus operaciones, lo que respalda que al producir 45.03 m³/hora y 37.71 m³/hora se tenga una deficiencia y los parámetros se concentren, alterando el parámetro a la salida del STARI.

Debido a que la eficiencia en remoción al final en el filtro 5, se alcanzan resultados muy próximos al 100% y con base en la necesidad de incrementar la remoción de los parámetros para que en temporada alta de procesamiento de fruta se pueda alcanzar la meta de cumplimiento para el 2024, es preciso que el STARI se complemente con

más fases para incrementar la depuración y el tiempo de estadía en el sistema. Los porcentajes de remoción en general del 90% visibles en la figura 13, sugieren que probablemente la capacidad del sistema esté siendo eficientemente agotada, presentando un reto para identificar las opciones de mejora que permitan alcanzar el valor de referencia de 200 mg/l para la demanda bioquímica de oxígeno.

Para incrementar el tiempo de residencia en la planta de tratamiento de aguas residuales se podría incluir dentro del sistema otra laguna aeróbica para promover el funcionamiento y depuración por parte de éstas bacterias, luego de la acción de las anaeróbicas. Además se podrían incluir tanques biodigestores de lodos activados para promover la acción activa y combinada de bacterias anaeróbicas en el proceso de depuración.

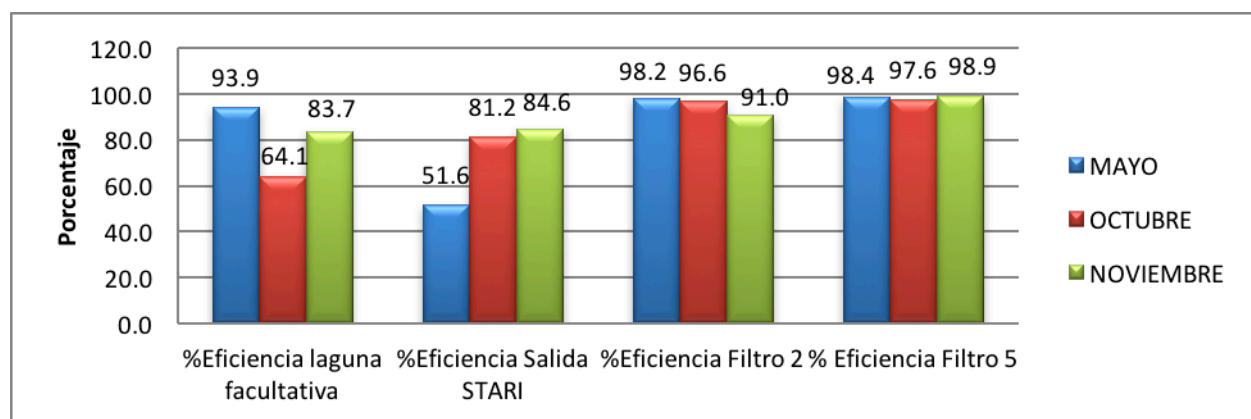


Figura 13. Porcentaje de eficacia del STAR en remoción del parámetro DQO, 2014.

Cuadro 6. Comportamiento de parámetros (mg/L) y eficacia en remoción de todo el sistema previo a la implementación del proyecto, 2014.

Parámetro analizado	Salida del Proceso	Salida de laguna facultativa	Salida STARI	Canal de descarga, filtro 2	Canal de descarga filtro 5	LMP	% EFICIENCIA
MAYO							
DBO	57,000	2,280	19,200	900	420	1,263.6	99.26
DQO	60,050	3,635	29,050	1,083	965	N/D	98.39
Fósforo Total	11.28	12.3	18.85	5.45	5.5	75	51.24
Grasas y Aceites	45	10	68	10	<5	100	91

Nitrógeno Total	86.7	136	31.7	61.6	57.5	100	33.68
OCTUBRE							
DBO	15,600	7,600	3,600	720	720	1,401	94.38
DQO	34,150	12,275	6,425	1,145	815	N/D	97.6
P total.	35.60	133	56.80	29.40	17.60	75	50.56
Grasas y aceites	25	10	10	11	11	100	56
N total.	125	111	112	78.40	52.60	100	57.92
NOVIEMBRE							
DBO	18,000	2,550	2,350	1,380	132	1,401	99.26
DQO	26,250	4,275	4,035	2,370	282	N/D	98.92
P total.	97.20	57	17.24	9.35	5.11	75	94.74
Grasas y aceites	73	68	35	79	54.6	100	25.2
N total.	127	131	113	124	23.2	100	81.73

(Ambiente y Desarrollo, 2014)

De acuerdo con lo que se puede observar en la figura 10 y 11, se puede determinar que la concentración del parámetro DQO, DBO y Nitrógeno total en el filtro 5, presentan un comportamiento directamente proporcional a lo largo del año, con un pico en la época de lluvia y un descenso en la época seca.

Los picos observados en los parámetros, están ligados principalmente a la temporada alta de procesamiento de fruta en Planta Extractora, que aproximadamente va desde Mayo a Octubre. De acuerdo a las características del cultivo, la temporada alta de procesamiento de fruta coincide con la época de lluvia del año, siendo éste un factor determinante para el desarrollo de la fruta.

6.2. Eficacia en remoción de parámetro DQO vinculado con el crecimiento de *Brachiaria arrecta* (pasto Tanner o Cornell) y *Echinochloa polystachya* (pasto Alemán):

Siembra y Desarrollo

En primera instancia, es necesario recalcar las condiciones bajo las cuales se acompañó la implementación del proyecto de fitodepuración de la empresa Agrocaribe. No fue posible diseñar las dimensiones del humedal, debido a que el canal con filtros de piedra estaba previamente establecido. El canal presenta una inclinación y profundidad constantemente variables entre cada uno de los filtros.

Es preciso resaltar que las condiciones necesarias no se obtuvieron y esto no permitió enriquecer la evaluación del comportamiento en la remoción del DQO con los pastos y relacionarlo con el crecimiento de los mismos. Esta evaluación debe realizarse con la ayuda de un modelo piloto previo a la implementación del mismo, a manera de evaluar la mayor cantidad de variables posible en las empresas en donde se desea implementar, debido a que cada entidad cuenta con condiciones distintas.

Para realizar la evaluación es necesario poder controlar la profundidad, que de acuerdo a lo establecido en la literatura, no debe ser mayor a un metro y un porcentaje de inclinación del 1%; además se debe establecer un sustrato que permita incrementar la capacidad de filtración (grava, arena, etc.). Se debe establecer un método de limpieza o salida de los sólidos sedimentados en el sistema. Es de gran importancia tomar en cuenta los requerimientos de iluminación solar para el desarrollo propicio de ambas especies de pasto. Cada uno de éstos puntos pueden ser abordados en otros estudios para medir y establecer las condiciones óptimas de depuración de éste tipo de aguas residuales con gran cantidad de materia orgánica, que de acuerdo a lo observado se podrían obtener mejores resultados a medida en que se tenga mayor área de filtración que incremente el tiempo de precipitación y depuración de la materia orgánica.

La siembra se realizó durante la temporada baja de fruta (ver figura 14), sin embargo la profundidad alcanza en algunos filtros los cuatro metros, adicionalmente la consistencia de los sedimentos en la parte inferior del canal es fangosa e inestable como para realizar la siembra de forma manual. Por lo anterior, para poder establecer el pasto fue necesario realizar varias siembras (15 siembras de febrero - abril) y la metodología de siembra consistió en enterrar esquejes de pasto Alemán y estolones del pasto Tanner o Cornell con ayuda de varillas largas de palo. Se consiguió 15 camionadas de pasto Alemán y Cornell para la siembra del sistema de fitodepuración de Agrocaribe.



Figura 14. Metodología de siembra utilizada en el canal de Efluentes.

En el proceso de siembra se identificaron ciertas variables que influyeron en el desarrollo y establecimiento del pasto, tales como profundidad, limpieza de sedimentos, iluminación, metodología de siembra, agresividad del pasto.

La acumulación de sedimentos y el incremento de profundidad afectaron en cuanto a la rapidez de establecimiento del pasto. A medida en que ambas variables incrementaban, la siembra requirió de mayores esfuerzos, ya que para lograr el establecimiento de los pastos era necesario dejar a flote hojas de los mismos para evitar que se murieran, permitiéndoles continuar con el proceso fotosintético.

La iluminación es un factor importante para el desarrollo y establecimiento de ambas especies de pastos. Durante la implementación del proyecto se observó cómo en las áreas con mayor cantidad de horas luz, permitió un mejor desarrollo vegetativo en ambas especies. Ante esto se realizaron podas específicas de las hojas de palma que cubrían el canal de efluentes, con lo que se logró mayor entrada de luz y desarrollo del pasto en las áreas donde fue posible realizar mayor poda, por lo que sugiere que para próximas evaluaciones se realicen mediciones de la cantidad de sol en cada una de las áreas, y a diferentes horas.

Para este caso particular, además del comportamiento de las variables que se mencionan más adelante, la mayor eficacia en remoción de materia orgánica, estará dada según el nivel de agresividad de las especies evaluadas. La agresividad de las especies en el caso de estudio se puede determinar por el tiempo de establecimiento, viabilidad de la siembra, adaptabilidad y propagación natural.

El pasto Tanner o Cornell se caracteriza por ser muy adaptable a las condiciones del entorno, pero el tiempo de propagación es mucho más demandante comparado con el pasto alemán; sin embargo tiene gran capacidad de propagarse naturalmente en el medio acuoso de forma más abrasiva que el pasto Alemán, debido a su carácter estolonífero.

El pasto Alemán también posee altos niveles de adaptabilidad a las características del agua residual, y debido a que se siembra por esquejes permite que ésta se realice directamente sobre el agua, alcanzando mayores niveles de profundidad versus el pasto Cornell que únicamente se puede sembrar en tramos con menor profundidad. El establecimiento del pasto se puede realizar con mayor rapidez pero la abrasividad de propagación es menor en comparación con el pasto Cornell.

En ambos casos, la viabilidad de la siembra a lo largo del canal varía con la profundidad y nivel de sedimentos acumulados que propician un lecho fangoso inestable. Por lo anterior no se puede restringir la siembra a una sola especie, ya que esto inhibirá el aprovechamiento de las condiciones a las que se desarrollan los pastos y el alcance de mayores eficacias en remoción del parámetro de calidad de agua, de acuerdo a los resultados obtenidos.

Monitoreo

En primera instancia, es importante recalcar que debido a la poca cantidad de datos obtenidos y al nivel de variabilidad de los mismos a la entrada y la salida, no fue posible realizar un análisis estadístico fino o específico para comprobar el efecto del proyecto implementado; sin embargo se lograron interpretar los datos, de acuerdo a las variables de influencia identificadas in situ, las cuales se desarrollan a continuación (Peñate, 2016).

De acuerdo a lo que se puede observar en el cuadro 7 y figuras 15, 16 y 17, pero principalmente con base en las distintas condiciones presentes en las parcelas, se puede identificar que no existe una relación directa en cuanto al crecimiento (cm) e incremento de eficacia en remoción de DQO o una tendencia en el porcentaje de remoción por tratamiento. Se obtuvieron altos porcentajes en remoción en ambas especies de pasto evaluadas, así como en plantas con mayor y menor altura.

De acuerdo al monitoreo realizado durante el establecimiento de los tratamientos propuestos de las dos especies de pasto en los filtros, se obtuvieron los resultados siguientes visibles en el cuadro 7:

Cuadro 7. Comportamiento de parámetros DQO y crecimiento, 2015.

Monitoreo	Tratamiento					
	Alemán	Cornell y Alemán	Cornell	Alemán y Cornell	Alemán	Cornell
Mayo						
DQO (ppm)	585	600	1875	1440	1250	755
Crecimiento (cm)	3	32	91	74	115	39
Remoción (%)	-25.81	-2.56	-212.50	23.20	13.19	39.60
Junio						
DQO (ppm)	5725	2990	1670	1910	1970	1860
Crecimiento (cm)	40	45	110	90	140	52
Remoción (%)	-76.97	47.77	44.15	-14.37	-3.14	5.58
Julio						
DQO (ppm)	3285	2090	2060	1960	2120	1155
Crecimiento (cm)	53	67	153	115	145	70
Remoción (%)	32.82	36.38	1.44	4.85	-8.16	45.52

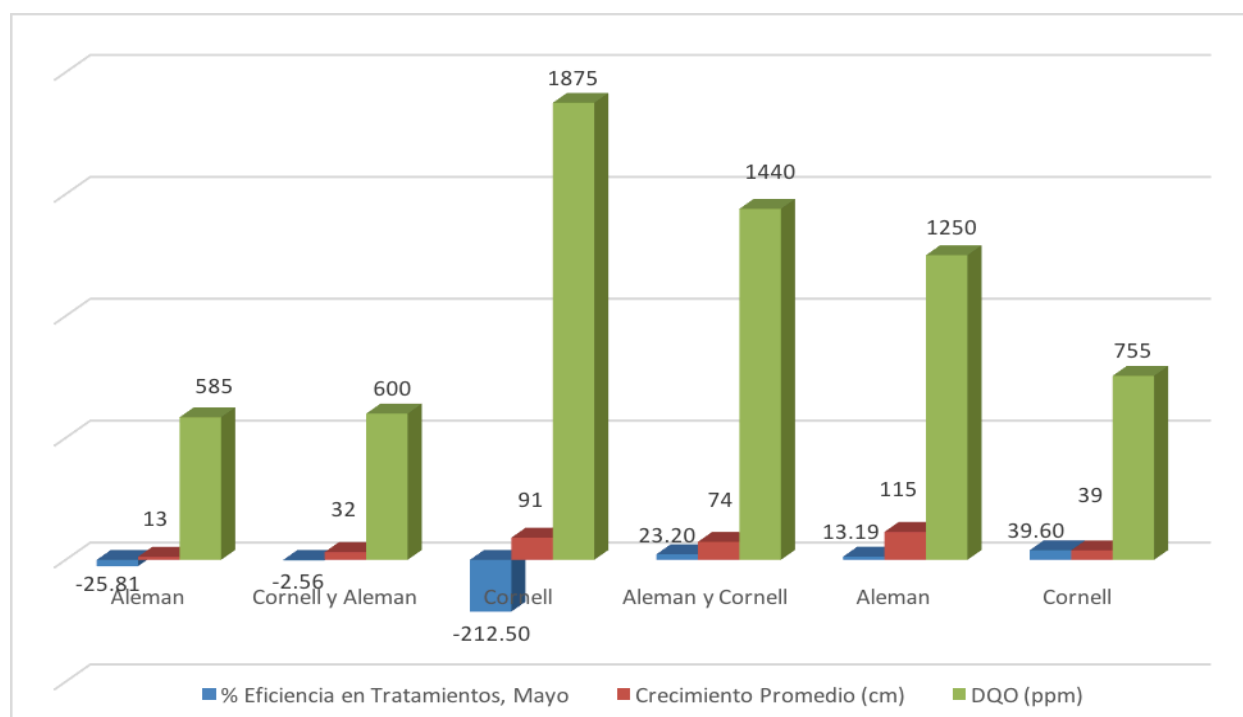


Figura 15. Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Mayo 2015.

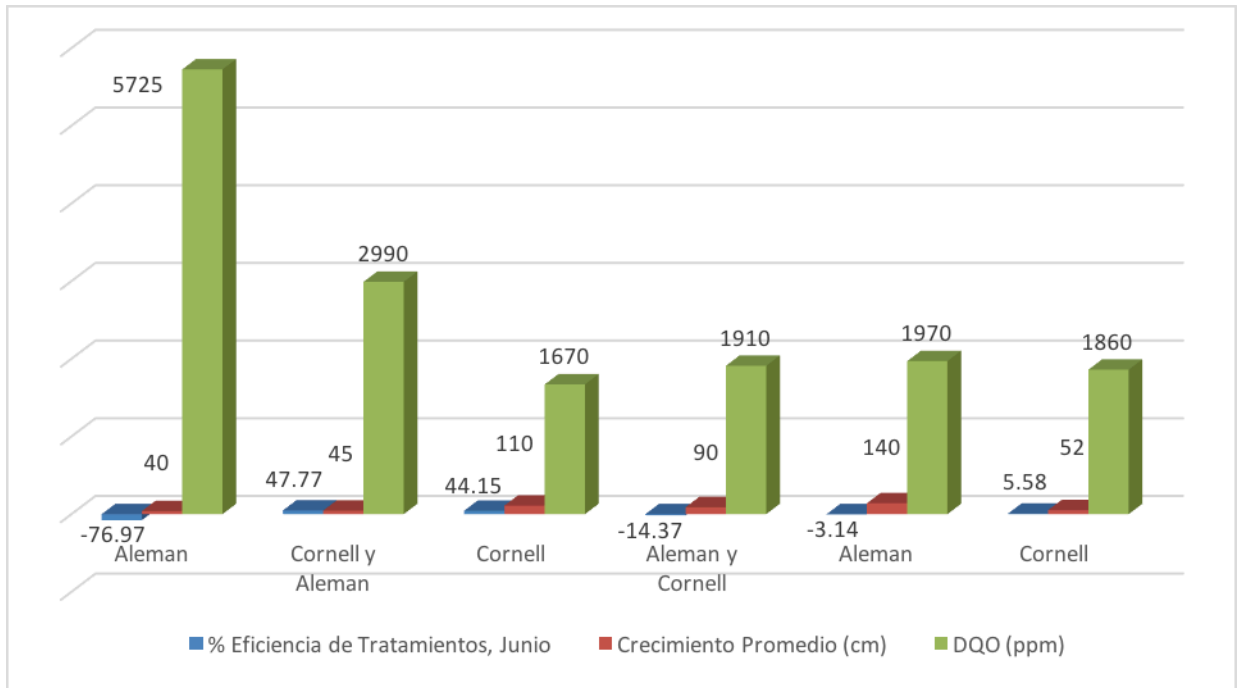


Figura 16. Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Junio 2015.

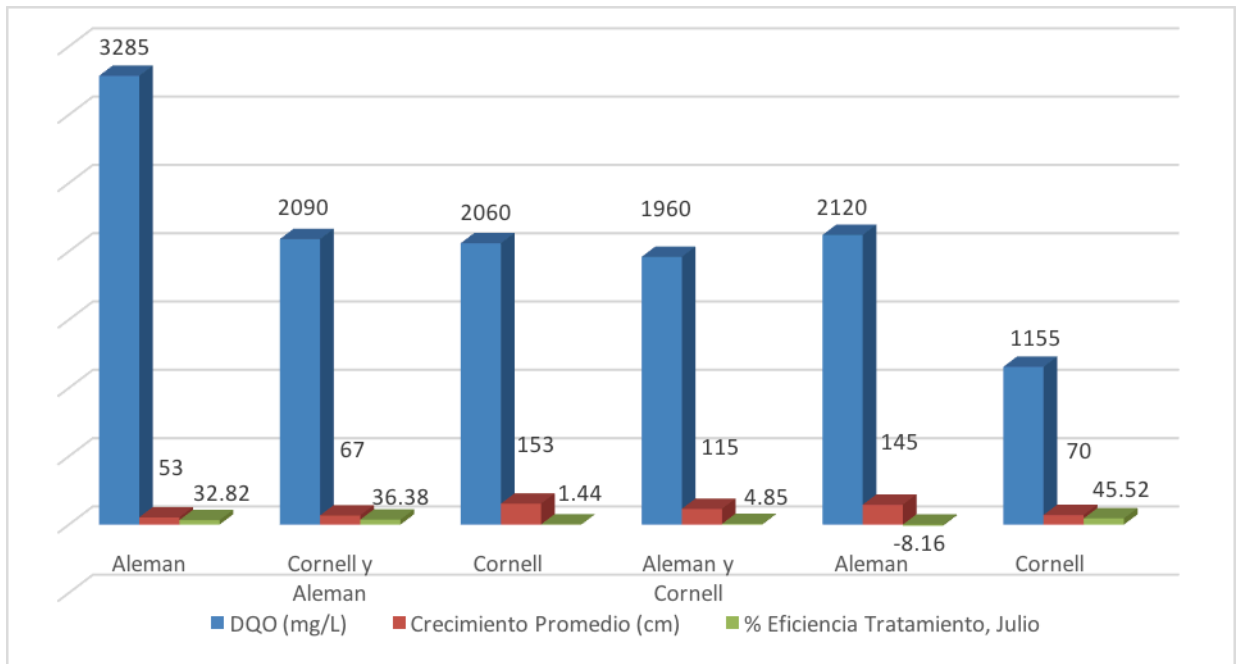


Figura 17. Porcentaje en remoción DQO y crecimiento por tratamiento, Julio 2015.

En general no se observó una tendencia porcentual en remoción del parámetro DQO de los tratamientos evaluados. La mejor eficacia en remoción obtenida fue del 47.77% en la salida del filtro 2 (ver figura 18) con una plantación pequeña (45 cm) de Tanner o Cornell y Alemán (tratamiento 2), en el mes de Junio y temporada alta de

procesamiento. La segunda mejor eficacia obtenida fue de 45.52% en la salida del filtro 5 (tratamiento 6) con una plantación mediana (70 cm) de Tanner o Cornell en el mes de Julio y aún temporada alta de procesamiento.



Figura 18. Filtro 2 con una siembra mixta de pasto Cornell y Alemán, en donde se alcanzó mayor porcentaje de eficacia en remoción.

Tal como se ha mencionado, las condiciones presentes en las parcelas, influyeron de forma directa en el desarrollo de los cultivos y por ende en la eficacia en remoción. Las condiciones determinantes en el desarrollo y eficacia en remoción del proyecto de fitodepuración implementado en Extractora del Atlántico radican en la temporada de procesamiento de fruta, caudal, área disponible, limpieza de los canales, estancamiento, profundidad, iluminación y agresividad del pasto.

En temporada alta de procesamiento de fruta, incrementa tanto el caudal como la cantidad de lodos a ser depurados. Lo anterior provoca que el tiempo de retención de las aguas residuales en la laguna facultativa del sistema de tratamiento se disminuya y con ello la capacidad de sedimentación de lodos. Por tanto, se debe tomar en cuenta que a mayor tiempo de retención en las lagunas, mayor eficacia del STAR y con ello se espera obtener mejores porcentajes en la remoción de la carga orgánica del sistema de fitodepuración.

Según el comportamiento de DQO observado (figura 19) con las distintas limpiezas de lodos realizadas a los filtros, éste es uno de los principales factores que influyen en los parámetros de calidad de agua. Los lodos sedimentados no poseen una salida específica y se van acumulando en todos los filtros, disminuyendo poco a poco la capacidad de depuración de materia orgánica de los mismos, alterando con ello el

resultado del parámetro de DQO. Esto refleja que en los casos donde se obtuvieron porcentajes de remoción negativos, los filtros presentaban una acumulación de lodos significativa.



Figura 19. Muestreo y análisis de DQO en los tratamientos de fitodepuración.

La profundidad de cada uno de los filtros en el canal, es muy variable. Los primeros dos filtros tienen mayor profundidad y con ello, mayor capacidad de retención de agua y sedimentación de sólidos. Esto ha permitido que estando libres de una saturación de lodos, los niveles de remoción de DQO en los mismos sean mayores, de lo contrario ésta capacidad disminuye.

El nivel de estancamiento del agua es otro factor influyente en el parámetro de DQO, debido a que la cantidad de oxígeno disminuye inversamente proporcional al estancamiento. El filtro cuatro presenta profundidad, pero el nivel de estancamiento de las aguas está más marcado en comparación de los filtros anteriores. Con una mayor cantidad de lodos retenidos y menor caudal, en el filtro 4 se incrementan los niveles de DQO. Pese a que el parámetro de calidad aumenta, en este filtro es donde se ha observado mayor cantidad de especies de fauna (tortugas, ranas, peces, libélulas) indicadoras de buena calidad de agua, por lo que se sugiere que para próximas evaluaciones se puedan incorporar mediciones de caudal.

La profundidad y el nivel de estancamiento se ven influenciadas por la pendiente. Ésta puede provocar a medida en que disminuye, que en algunos filtros exista profundidad y en otros estancamientos, por lo que debe existir una pendiente adecuada que promueva tanto la profundidad en los filtros como el corrimiento de las aguas. Además,

se observó que en algunos filtros de piedra (figura 20) el agua pasa de un lado a otro por la parte inferior del mismo, eliminando así el efecto de sedimentación lograda.



Figura 20. Flujo indeseado del efluente a través del gavión, por la parte inferior del mismo.

Otro factor importante que influyó en los resultados obtenidos, es la cantidad de siembra total en metros cuadrados, de acuerdo al caudal a tratar. Con base en las consultas técnicas realizadas al Ingeniero Agrónomo Peñate L. (2016), en una hectárea de pasto sembrado se absorben 60 m^3 de agua y minerales al día. Partiendo que el caudal diario a tratar en el canal de efluentes es en promedio 346.90 m^3 , se necesitaría un área de absorción de por lo menos 5.78 ha, equivalente a $57,816.67 \text{ m}^2$, siendo éste dato general y no específico para éste tipo de efluentes, es importante que se promueva ésta investigación. Sin embargo, siendo las dimensiones de cada tratamiento, 100 metros de largo por 4 metros de ancho, en total con los seis tratamientos se contaba únicamente con $2,400 \text{ m}^2$. Por lo anterior, para obtener mejores resultados es necesario habilitar mayor cantidad de área de siembra de pasto a medida en que el caudal a tratar incrementa.

El tratamiento en el que se alcanzó el valor más alto de eficacia en remoción de DQO, fue en el filtro 2, con una siembra mixta de pasto Alemán y pasto Tanner o Cornell. En este tramo se obtuvieron los mejores resultados, y esto puede ser debido a que las condiciones en éste filtro se observaron más favorables. Existe mayor iluminación solar, mayor cantidad de pasto establecido, menor estancamiento del agua, mayor limpieza de lodos y una profundidad media.

En el tramo continuo a los filtros de piedra en el canal, se prosiguió con la siembra debido a que las condiciones eran más favorables y homogéneas. Se tomaron muestras a 1.5 km y a 2.5 km después del último filtro a manera de identificar la influencia de la fitodepuración sobre el nivel de DQO en este tramo. Los resultados del comportamiento de DQO se muestran en la figura 21, en donde se puede observar que a medida en que las condiciones externas son más favorables, se obtienen mejores resultados tanto para el establecimiento de las plantas como en el mejoramiento de la calidad del agua.

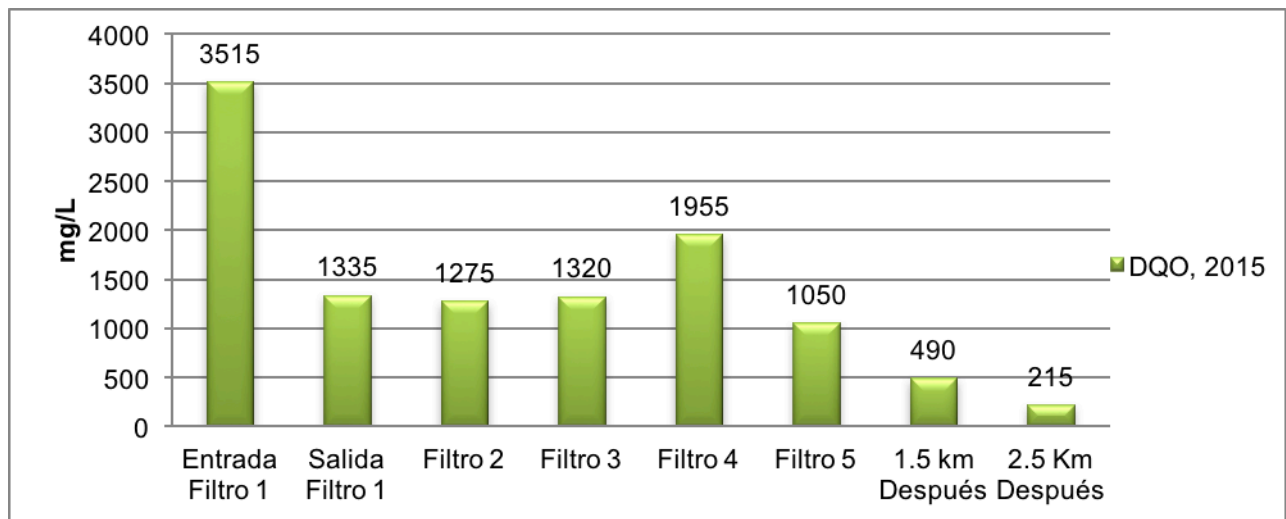


Figura 21. Comportamiento del parámetro DQO a 1.5 y 2.5 Km.

Como parte del monitoreo ambiental que realiza la empresa a través de un tercero autorizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Ambiente y Desarrollo, S.A., el parámetro de calidad asociado para el presente año, con influencia de la implementación del proyecto de fitodepuración, se muestra en la figura 22. Los resultados del monitoreo ambiental, reflejan la influencia positiva de la fitodepuración sobre la calidad del agua en cuanto a la remoción de la carga orgánica, alcanzando mayores eficacias en remoción (98.9%) (Ver figura 29, Anexo 3) con respecto al 2014. Siendo la relación DQO/DBO de 1:2 la establecida en el Estudio Técnico, se debe tener en cuenta que se obtendrá aproximadamente el doble de DQO por unidad de DBO.

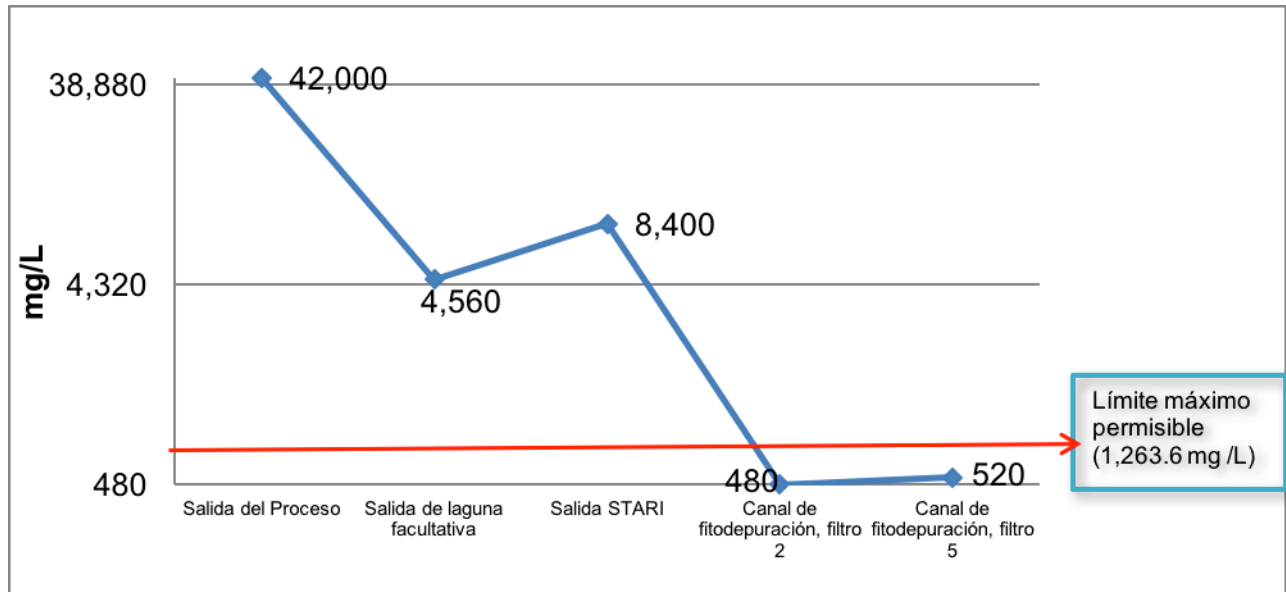


Figura 22. Parámetro Asociado de Calidad de Agua, DBO 2015

Actualmente se cumple con el límite máximo permisible de DBO del modelo de reducción correspondiente (1,263.6 mg/L para el 2/05/2015). Dado que la relación de 2:1 en la DBO: DQO, y con base en la DQO de 215 mg/L a 2.5 km del último filtro, se puede determinar que la DBO en este punto es aproximadamente la mitad de la DQO, 107.5 mg/L. Por tanto desde este punto el efluente se encuentra en un 53.75% incluso por debajo de la meta de cumplimiento de 200 mg/L de DBO para el 2/05/2024, así también se espera que sea aún menor la concentración a 3.7 km en el punto de descarga final.

Para poder realizar el establecimiento total de las plantas sobre el agua, es necesario como mínimo un período de 2 años para que el pasto concluya de cerrar y abarcar completamente el canal. A pesar de los grandes avances logrados en el establecimiento del pasto, se obtendrían aún mejores resultados y se facilitaría en gran medida todo el proceso, si el humedal se diseña con antelación y se realiza previamente la siembra del pasto en un medio seco, antes de que pasen los efluentes.

Se cree que a medida que el tratamiento biológico abarque mayor área y logre cerrar por completo todo el canal de efluentes, el sistema de depuración biológica permitirá obtener mejores resultados en la depuración de la carga orgánica. La estabilidad y abarque de las raíces, podrían dar lugar a un mayor número de asociación bacteriana, incrementado a su vez la capacidad de remoción de estos parámetros.

7. CONCLUSIONES

1. Las aguas residuales provenientes del procesamiento de fruta en planta Extractora del Atlántico, debido a la utilización principal de procesos físicos para la extracción de aceites (prensas y presión de vapor), contienen únicamente partículas orgánicas naturales que incrementan en temporada alta de procesamiento de fruta y con ello los parámetros de calidad de agua DQO, DBO y Nitrógeno total.

Actualmente el efluente de aguas residuales promovido con la implementación del proyecto de fitodepuración, se encuentra en cumplimiento incluso en un 53.75% por debajo de la meta de cumplimiento de 200 mg/L de DBO para el 2/05/2024.

El Estudio Técnico de Aguas Residuales fue diseñado desde el 2012, por lo que en su alcance no se incluyó el canal de efluentes ni el actual proyecto de fitodepuración, por tanto debe actualizarse el mismo con la información del punto de descarga que se debe utilizar para realizar el monitoreo.

2. No se encontró una relación directa entre el crecimiento vegetal en centímetros y las especies de macrófita, con la eficacia en remoción del parámetro DQO. Sin embargo, se encontró una relación directamente proporcional al aumentar el área abarcada por el pasto. Esto último se encontró ligado a una serie de factores externos que deben controlarse en lo posible: saturación de filtros por acumulación de lodos, iluminación solar, estancamiento del agua, caudal, profundidad y agresividad del pasto.

Se identificó que es necesario diseñar previamente un modelo del sistema de fitodepuración para poder evaluar la eficacia en remoción, bajo condiciones controladas que puedan reducir el nivel de incertidumbre en los resultados esperados.

3. A través del análisis realizado, se identificó que la capacidad del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales debería ampliarse con base en el incremento del caudal.

8. RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que el tiempo necesario para concluir con el establecimiento y cierre total del proyecto de fitodepuración es por lo menos de dos años.

Como parte de la mejora continua, adicional al proyecto de humedales, se recomienda incluir una laguna aeróbica y biodigestores de lodos activados al STAR, con el objetivo de aumentar el tiempo de retención del agua y optimizar la depuración biológica en el canal de fitodepuración, tomando en cuenta que la capacidad del sistema sea mayor al caudal generado.

Es recomendable diseñar de forma proactiva los sistemas de fitodepuración, a manera que sean más controlables los factores externos y se obtengan mejores resultados al planificar el diseño del humedal adecuado previamente al desarrollo de las actividades empresariales.

Es importante realizar la actualización del Estudio Técnico de Aguas residuales de Extractora del Atlántico para definir el nuevo punto de descarga correspondiente y esto demuestre el cumplimiento actual con la meta de 200 mg/L de concentración de DBO para el 2 de Mayo del 2,024.

Se recomienda implementar un proyecto de fitodepuración para Extractora La Francia, utilizando un diseño experimental con condiciones controladas, previamente diseñadas, tomando en cuenta los factores influyentes en ésta evaluación.

Es necesario tomar en cuenta el comportamiento del caudal para identificar las fluctuaciones de la carga contaminante y de ésta forma se puedan tomar las mejores decisiones de manejo.

9. REFERENCIAS

- Acuerdo Ministerial, Número 105-2008. (2008). *Manual general del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala: Organismo Ejecutivo. Recuperado el 15/06/2015.
- Agrocaribe. (2015). *Información general de la institución Agrocaribe*. Izabal, Guatemala: Agrocaribe.
- Arias S., Betancur F., Gómez G., Salazar J. y Hernández M. (2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Colombia: Informador Técnico (Col.) 74(1): 12-22. Recuperado el 01/02/2015, de:http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec/article/download/15/5.
- Bustillos E. (2012). *Control de Plagas en Pasturas*. Argentina: Sitio Argentino de Producción Animal. Recuperado el 27/12/15 de: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/159-control.pdf
- Castillo, H. (2006). *La contaminación del agua de los ríos por los ingenios azucareros y su impacto en el medio ambiente, durante el tiempo de zafra o producción de azúcar en el municipio de Escuintla departamento de Escuintla*. Escuintla, Escuintla: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ciencias jurídicas y sociales. Recuperado el 16/01/2015 de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_5985.pdf
- Carrera C. y Fierro K. (2001). *Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua*. Quito, Ecuador: ECOCIENCIA. Recuperado el 27/12/15 de:

<http://www.ecociencia.org/archivos/ManualLosmacroinvertebradosacuaticos-100806.pdf>

Celis, E. y Luna, G. (2012). *Estudio Técnico de Aguas Residuales, Extractora del Atlántico, S.A.* Izabal, Guatemala: Ambiente y Desarrollo Consultores, S.A. 37 p. Consultado el 28/02/2015.

Cerdas, R. y Vallejos, E. (2013). *Productividad del pasto Brachipará (B. arrecta x B. mutica) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en Guanacaste, Costa Rica.* Guanacaste, Costa Rica: InterSedes 14(27). Recuperado el 28/01/2015, de: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-24582013000100002&script=sci_arttext

Constitución de la República de Guatemala. (1993). *Sección Séptima: Salud, Seguridad y Asistencia Social: Artículo 97.* Guatemala, Guatemala: Asamblea Nacional Constituyente. Recuperado el 28/01/2015, de: https://www.oas.org/juridico/MLA/sp/gtm/sp_gtm-int-text-const.pdf.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del agua (Centro AGUA), Universidad Mayor de San Simón, Departamento de Productos Naturales, Biología Vegetal y Edafología de la Universidad de Barcelona. 102 p. Recuperado el 15/01/2015 de: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

IARNA. (2006). *Síntesis del perfil ambiental de Guatemala, 2006.* Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL), Instituto de Incidencia Ambiental, Guatemala. Recuperado el 28/01/2015 de: http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/2/2_4.htm

Más E. y García O. (2006). *Guía ilustrada de yerbas comunes en Puerto Rico*. (2nda. Ed.) Puerto Rico: USDA, Servicio de conservación de recursos naturales área del Caribe. Recuperado el 28/01/2015, de: <http://www.uprm.edu/agricultura/sea/publicaciones/manual-pastos.pdf>

Mijangos, N. (Agosto, 2013). *Aspectos generales de las aguas residuales*. Material didáctico (diapositivas en formato pdf.), impartido en clase. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Consultado el 27/01/2015.

Organismo Ejecutivo de Guatemala (2006). Acuerdo Gubernativo, Número 236-2006. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 20/01/2015 de: <http://www.marn.gob.gt/documentos/guias/documentos/reglamento.pdf>

Panchi, I. (2013). *Pantanos de flujo subsuperficial para tratamiento de efluentes en plantas de proceso de palma de aceite*. Vol. (34), No. Especial, Tomo I. Ecuador: Palmeras del Ecuador y Proyecto de Asistencia Técnica a la Región Amazónica del Banco Mundial (Proyecto Patra). Recuperado el 16/01/2015 de: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/10707/10693>

Peñate L. (2016). *Viabilidad de análisis estadístico de resultados del proyecto "Evaluación de eficacia en fitodepuración de los pastos Alemán y Tanner en efluentes especiales de planta extractora de aceite de palma del Atlántico, Izabal"*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar (URL). Consulta realizada el 15/01/2016.

Rodríguez, S. (1983). *Pasto Alemán*. Venezuela: FONAIAP DIVULGA (Ve.) 12(1). Recuperado el 02/02/2015, de:

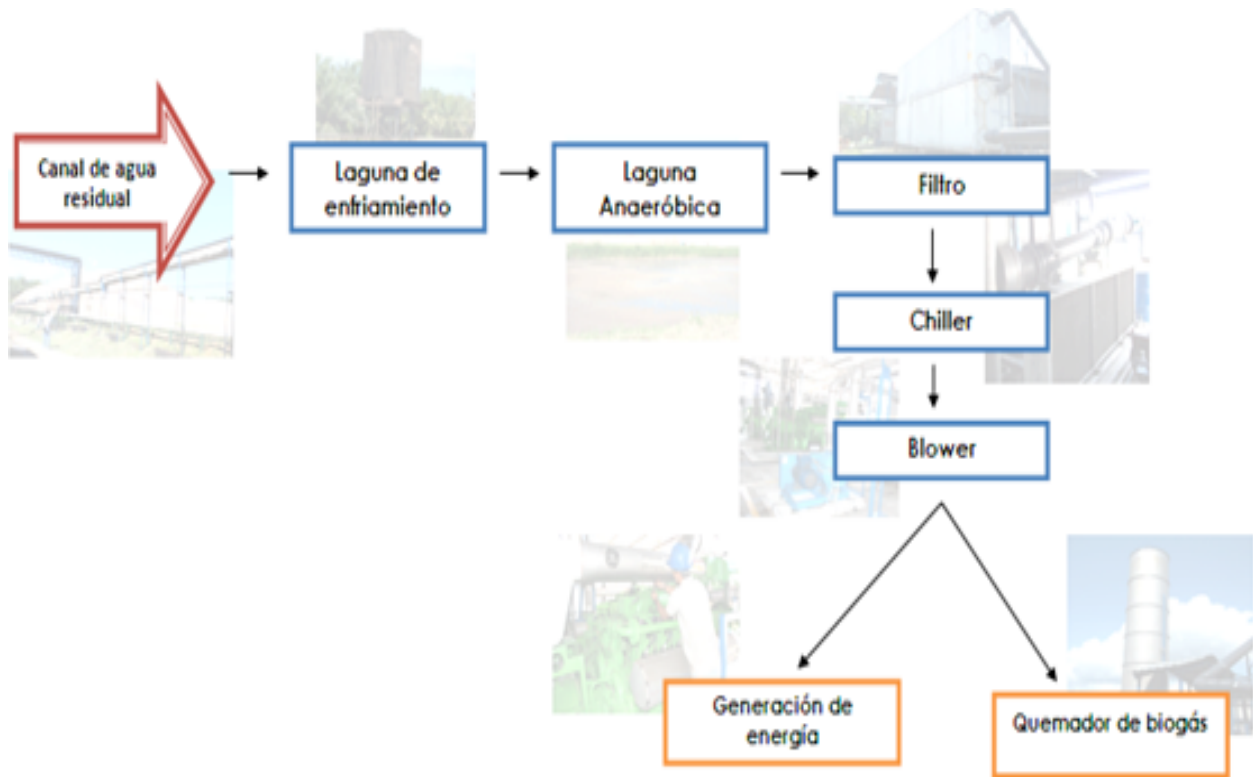
http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd12/texto/pasto%20aleman.htm

Sanabria, O. (2006). *HUMEDAR I: Alternativa innovadora de bajo costo para depurar aguas residuales en países en vía de desarrollo*. Revista ambiental: Agua, Aire y Suelo. Vol. (1), núm 1. Recuperado el 20/01/2015 de: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/revista_ambiental/06082010/rev_ambiental_vol1_num1_art9.pdf

Tanaka, N., Jinadasa, K.B.S.N. y Ng, W. J. (2011). *Wetlands for Tropical Applications: Wastewater Treatment by Constructed Wetlands*. London: Imperial College Press. 147 p. Recuperado el 16/01/2015 de: http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzQyNjM3N19fQU41?sid=9542a52d-a687-4f71-bd65-854b4c5127e8@sessionmgr198&vid=1&format=EB&lpid=lp_ii&rid=0

10. ANEXOS

ANEXO 1. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTA EXTRACTORA DEL ATLÁNTICO.



(Agrocaribe, 2015).

ANEXO 2. OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS

2.1. Proceso de Certificación Rainforest Alliance, Roundtable of Sustainable Palm Oil (RSPO) y Buenas Prácticas de Manufactura (GMP, por sus siglas en inglés), Auditoría del Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN):

2.1.1. Capacitaciones:

Se realizó una serie de capacitaciones sobre términos base acerca de la importancia y el cuidado de ecosistemas, especies, el medio ambiente y el reciclaje, ¿Qué es Rainforest Alliance?, ¿Qué es RSPO?, Identidad Preservada y Cadena de Suministro, Principios y Criterios RSPO, Buenas Prácticas de Manufactura (figura 23 y 24).



Figura 23. Capacitación RSPO, ¿Qué es?, Principios y Criterios, Identidad Preservada.

Las capacitaciones fueron impartidas por área de trabajo para lograr que todos los colaboradores se involucraran en los procesos de cada una de las certificaciones. Con el fin de evaluar la eficacia de la metodología de capacitación abordada, se realizaron evaluaciones escritas de los temas impartidos y posteriormente se reforzaron los temas débiles.



Figura 24. Capacitación Rainforest Alliance, conservación de ecosistemas y reciclaje.

Para lograr la difusión de información, además de realizar las capacitaciones por área de trabajo se capacitó al personal administrativo para que éstos continuaran una labor de tipo cascada para que los temas abordados se dominen desde el puesto más alto al más bajo, con el fin de recalcar la información de manera continua.

Como refuerzo a las capacitaciones se grabaron CD's con videos y se les entregó a los encargados de campamento principalmente, debido a que la mayoría de los colaboradores en campo son de habla Q'ueqchi y se les facilita el aprendizaje a través de métodos dinámicos como lo es la metodología audiovisual. De ésta forma los encargados de campamentos les proyectan los diferentes videos diariamente, de acuerdo al proceso de certificación.

Se participó en capacitaciones impartidas por entidades con las cuales la empresa posee alianzas, tales como CONRED (figura 25), INTECAP (figura 26), AGREQUIMA, en temas como primeros auxilios y elaboración de simulacros, buenas prácticas de laboratorio, uso y manejo adecuado de agroquímicos.



Figura 25. Capacitación en primeros auxilios, CONRED



Figura 26. Capacitación en buenas prácticas de laboratorio, INTECAP.

2.1.2. Auditorías Internas

Se recibió una capacitación previa a la realización de las distintas auditorías internas, por parte del Gerente del Departamento de Certificaciones y Medio Ambiente. Además se recibió y aprobó el curso de auditor interno ISO 9001:2008 impartido por SGS, Buenas Prácticas de Laboratorio impartido por INTECAP, Manejo y Uso Adecuado de Agroquímicos impartido por AGREQUIMA.

Se realizó una serie de auditorías internas en las extractoras, fincas, campamentos de la empresa y fincas de productores independientes, para identificar oportunidades de mejora e inconformidades con los principios y criterios de las normas de las certificaciones correspondientes. A través de checklist de la norma, observación, entrevistas y evidencias comprobables se elaboraron los informes de las auditorías realizadas y sus respectivos planes de acción (figura 27).



Figura 27. Elaboración de auditorías internas bajo normas RSPO y Rainforest Alliance

También se apoyó en el proceso de consulta pública con los stakeholders elaborada por CENTRARSE, así como en la elaboración del informe final “Evaluación del Impacto Social –EIS-“.

2.1.3. Revisión y Elaboración de Documentación

Se colaboró en la gestión, desarrollo, organización y estandarización del sistema documental de la empresa, de acuerdo con los requisitos de las distintas auditorías externas. Así mismo se realizaron planes de acción correctivas a partir de los hallazgos encontrados en dichas auditorías y revisión de cumplimiento legal de resoluciones ambientales y medidas de mitigación presentadas al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

2.1.4. Auditorías de Certificación y Recertificación o Externas:

Se apoyó en todos los procesos de certificación y auditorías (figura 28) de entes gubernamentales y no gubernamentales, principalmente en la revisión documental. Se obtuvieron muy buenos resultados en todas las auditorías externas.



Figura 28. Apoyo y acompañamiento en procesos de certificación.

Se obtuvo la aprobación y certificación RSPO, Rainforest Alliance y GMP, así como la aprobación de requisitos y cumplimiento legal con el Ministerio de Salud y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

ANEXO 3. FIGURAS DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO DE FITODEPURACIÓN

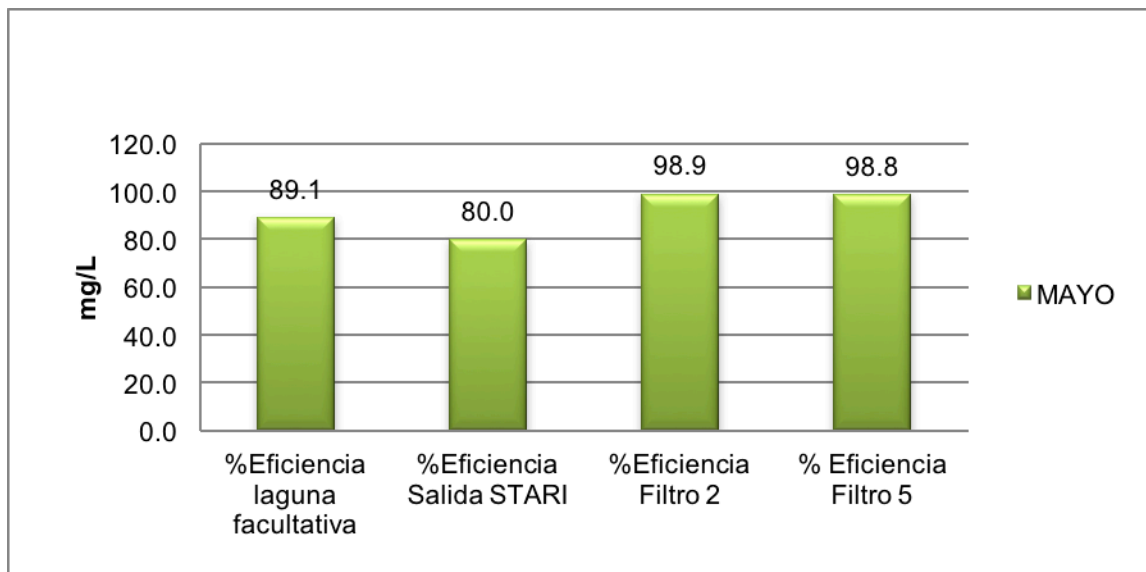


Figura 29. Porcentajes de Eficacia en Remoción DBO, 2015.



Figura 30. Proceso de establecimiento del Pasto Alemán.



Figura 31. Proceso de establecimiento del Pasto Tanner o Cornell.



Figura 32. Monitoreo de crecimiento vegetal



Figura 33. Recolección de muestras en el canal de efluentes.



Figura 34. Muestras recolectadas para el análisis de DQO.



Figura 35. Metodología utilizada para el análisis de DQO.