

Estudio de los efluentes líquidos de las plantas de beneficio, orientado al cumplimiento de normas ambientales nacionales

Informe

Junio de 2011
CENIPALMA
Programa de Procesamiento
Área de Ingeniería



Responsables

Ing. Lina Pilar Martínez Valencia
MSc. Edgar Eduardo Yáñez Angarita
MSc. Jesús Alberto García Núñez



Contenido

Introducción	3
Antecedentes	4
1.1. Normatividad vigente.....	4
1.2. Proyecto de Resolución.....	5
1.3. Sistema de tratamientos de Agua residual en plantas de beneficio.....	8
1.4. Vertimientos del Sector Palmero	8
Metodología	9
2.1. Selección de Plantas.....	9
2.2. Puntos de Muestreo y Parámetros de Medición	10
Resultados y Análisis	12
3.1. Caracterización.....	12
Conclusiones	27
Bibliografía	27



Introducción

Durante el 2010 el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT- socializó el Proyecto de Resolución por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales o comerciales; el proyecto de resolución fue dispuesta en consulta pública por parte del ministerio en el mes de octubre del mismo año, ante lo cual Fedepalma y Cenipalma decidieron adelantar una revisión detallada de los parámetros y límites propuestos con el fin de presentar los comentarios correspondientes ante el MAVDT.

Antecedentes

En este capítulo se presenta los antecedentes normativos relacionados con vertimientos y una descripción general del sistema de tratamiento de efluentes del proceso de beneficio de racimos de fruto de palma.

1.1. Normatividad vigente

El estado colombiano por medio de la Constitución Política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de tres principios fundamentales: derecho a un ambiente sano (art. 79), medio ambiente como patrimonio común (art. 8, 58, 63, 95), desarrollo sostenible (art. 80). Los cuales son reglamentados actualmente por cuatro decretos, descritos en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Normatividad vigente sobre aguas.

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	<p>Artículo 99: Establece la obligatoriedad de tramitar el respectivo permiso de explotación de material de arrastre</p> <p>Art. 77 a 78: Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: Aguas subterráneas. Art.155: Administración de aguas y cauces.</p>
Decreto 1541 de 1978	<p>Aguas continentales: Art. 44 a 53, Características de las concesiones. Art. 54 a 66, Procedimientos para otorgar concesiones de agua superficiales y subterráneas. Art. 87 a 97, Explotación de material de arrastre. Art. 104 a 106, Ocupación de cauces y permiso de ocupación de cauces. Art. 211 a 219, Control de vertimientos. Art. 220 a 224, Vertimiento por uso doméstico y municipal. Art. 225, Vertimiento por uso agrícola. Art. 226 a 230, Vertimiento por uso industrial. Art. 231, Reglamentación de vertimientos.</p>
Decreto 1594 de 1984	<p>Normas de vertimientos de residuos líquidos</p> <p>Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23, Ordenamiento del recurso agua. Art. 29, Usos del agua. Art. 37 a 50, Criterios de calidad de agua. Art. 60 a 71, Vertimiento de residuos líquidos. Art. 72 a 97, Normas de vertimientos. Art. 142, Tasas retributivas. Art. 155, procedimiento para toma y análisis de muestras</p>

Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua.
---------------------	---

Cabe notar que a pesar de la importancia que reviste para el estado colombiano el cuidado y uso adecuado de los recursos naturales, el decreto que rige el vertimiento de residuos líquidos a cuerpos de agua continentales y alcantarillado no ha sido modificado parcial ni totalmente en los últimos veintisiete años. En la **Tabla 2** se especifican los parámetros medidos bajo el Decreto 1594 de 1984.

Tabla 2. Parámetros medidos bajo Decreto 1594 de 1984,

PARÁMETRO	REFERENCIA
pH	5-9
Temperatura	<40°C
Grasas y Aceites	Remoción > 80%
Sólidos Suspendedos	Remoción > 80%
DBO5	Remoción > 80%
DQO	Remoción > 80%

1.2. Proyecto de Resolución

En el año 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) presentó a consulta pública una propuesta de resolución “Por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones”. La anterior modifica las normas de vertimientos establecidas en el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984.

Dentro de las modificaciones al Decreto 1594 de 1984 se destaca: i) inclusión de nuevos parámetros; ii) límites máximos permisibles por parámetro y basados en concentración de contaminantes y no en porcentaje de remoción; y iii) establecimiento de parámetros a cumplir y límites máximos por actividad económica. No obstante, las actividades industriales allí estipuladas

permiten algunas confusiones al no poder identificar claramente la pertenencia a uno u otro grupo; tal es el caso de la agroindustria de la palma de aceite la cual se puede clasificar dentro de la clase 0115 – Producción especializada de cereales y oleaginosas – ó 1522 – Elaboración de grasas y aceites de origen vegetal y animal. Ver **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros a monitorear en los vertimientos por cada generador según la actividad industrial, comercial o de servicios que desarrolla.

SECCIÓN	CLASE	ACTIVIDAD INDUSTRIAL	PARÁMETROS A MONITOREAR
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	0115	Producción especializada de cereales y oleaginosas	DBO ₅ , DQO, SST, SSED, SAAM, Grasas y Aceites, Fenoles, Residuos de Ingredientes Activos de Plaguicidas, Nitrógeno Total (N), Fósforo Total (P), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Color.
Industrias manufactureras	1522	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal.	DBO ₅ , DQO, SST, SSED, Grasas y Aceites, Fenoles, SAAM, Cloruros (Cl ⁻), Sulfatos (SO ₄ ⁻²).

Los límites máximos permisibles para cada uno de los parámetros a evaluar en las dos secciones de referencia se muestran en la **Tabla 3** **Tabla 4**, tanto para instalaciones existentes como para instalaciones nuevas.

Tabla 4. Valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y no domésticas a cuerpos de agua continentales superficiales

PARÁMETRO	UNIDAD	INSTALACIONES EXISTENTES.	INSTALACIONES NUEVAS.
Parámetros comunes en las dos secciones			
pH	Unidad	6,0 a 8,0	
Temperatura	°C	No podrá tener una variación mayor de 3,0 °C en relación con la temperatura del cuerpo de agua continental superficial que recibe el vertimiento puntual al momento y en el sitio de efectuarse el mismo.	

Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/l	400	200
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	200	50
SST	mg/l	200	50
SSED	mg/l	2	1
Grasas y Aceites	mg/l	20	20
SAAM	mg/l	5	4
Fenoles	mg/l	0,2	0,1
Clase 0115			
Residuos de Ingredientes Activos de Plaguicidas	mg/l	0.001-0.01	0.001-0.01
Nitrógeno Total	mg/l	20	10
Fósforo Total	mg/l	5	2
Cadmio	mg/l	0,04	0,01
Plomo.	mg/l	0,2	0,1
Color	(Pt –Co)	50	
Clase 1522			
Cloruros	mg/l	500	200
Sulfatos	mg/l	300	200

Los generadores de vertimientos deberán dar cumplimiento a esta resolución dentro de los dos (2) años siguientes contados a partir de la fecha de publicación de la misma. En caso de optar por un plan de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos; especificado en el capítulo VI de la misma propuesta, el plazo será ampliado tres (3) años más, sumando en total 5 años de plazo para implementar y cumplir con la nueva normatividad.

1.3. Sistema de tratamientos de Agua residual en plantas de beneficio

El tratamiento de los efluentes de plantas extractoras de palma de aceite, se realiza a través de un sistema de lagunas de oxidación, compuesto por cuatro etapas: tratamiento preliminar (rejillas y florentinos), lagunas de eualización, anaerobias y facultativas. Dicho sistema, remueve materia orgánica con eficiencias superiores al 80%, requerido por la legislación vigente Ver **Tabla 5**.

Tabla 5. Cumplimiento del sistema de tratamiento de efluentes de acuerdo al Decreto 1594 de 1984

REFERENCIA	PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO
pH	5-9	7-8
Temperatura	<40°C	30°C
Grasas y Aceites	Remoción > 80%	>95%
Sólidos Suspendidos	Remoción > 80%	>95%
DBO5	Remoción > 80%	>95%
DQO	Remoción > 80%	>95%

A pesar de la alta eficiencia de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales para la remoción de material orgánico y el cumplimiento de la normatividad vigente, no cumple la totalidad de los parámetros propuestos en la nueva resolución; incluso, de algunos de estos nuevos parámetros no se tiene reportes de mediciones anteriores.

1.4. Vertimientos del Sector Palmero

El Área de Planeación y Desarrollo Ambiental Sectorial de Fedepalma ha recopilado información relacionada con los vertimientos de diferentes plantas extractoras a nivel nacional, los cuales son altamente variables para cada uno de los parámetros. Dicha variabilidad puede atribuirse a:

- El muestreo y análisis de los efluentes es realizado por diferentes laboratorios en cada una de las zonas palmeras.
- El Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamentan actualmente los vertimientos a un cuerpo de agua establecía porcentajes de remoción en carga para tres de los parámetros, grasas y aceites (80%), sólidos suspendidos (80%), DBO₅ (80%) y no valores límite.

- A pesar de contar con la misma tecnología en todas las plantas de beneficio, la operación y mantenimiento de las lagunas varía de acuerdo al tiempo de operación de la planta y a las condiciones ambientales.

Con base en la información recolectada por la unidad ambiental de Fedepalma y atendiendo a la alta variabilidad de la información fue necesario plantear un muestreo a nivel nacional con un único laboratorio certificado en cada uno de los parámetros de monitoreo, permitiendo eliminar algunos factores o causales de error.

Metodología

En este capítulo se muestra la metodología considerada para desarrollar cada uno de los objetivos propuestos en el proyecto. Éste se ejecutó en tres zonas palmeras colombianas: Oriental, Central y Norte. La recolección de muestras de afluentes a la planta de beneficio, afluentes STAR (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales) y efluentes STAR, y su respectivo análisis según métodos estándar fue realizado por el Laboratorio de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes. El monitoreo y análisis de fenoles en muestras sólidas y líquidas en dos plantas de beneficio de la Zona Central lo realizó el Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), siguiendo protocolos y estándares establecidos.

2.1. Selección de Plantas

Debido al número de plantas de beneficio de aceite de palma a nivel nacional y las condiciones fitosanitarias de algunas zonas palmeras fue necesario hacer una selección de plantas en las tres zonas. La selección se realizó con base en tres criterios:

- Afiliación a la Federación Nacional de Palmicultores –Fedepalma.
- Contar con sistema de tratamiento de efluentes activo.
- Ubicación (por efectos de logística no se pueden considerar plantas muy lejanas de las ciudades intermedias).

A partir de las plantas cuyo cumplimiento a los criterios anteriormente mencionados fueron positivos, se determinó una población de 22 plantas. La estimación del tamaño de muestra se realizó con base en la varianza de datos de la variable Fenoles, recolectados durante el año 2010; con un error máximo permisible de 20% y confiabilidad de 90%, se estableció un tamaño de muestra de 15 plantas.

La muestra se distribuyó de forma aleatoria en seis grupos conformados por zona (Central, Norte y Oriental), y la característica de contar o no con palmistería, de acuerdo al número de plantas con dichas especificaciones presentes en la población. Posteriormente, se seleccionaron seis plantas de beneficio muestreando aleatoriamente una planta entre las que conforman cada grupo zona con palmistería/sin palmistería con el fin de tomar muestras de sus afluentes.

Al tamaño de muestra establecido se adicionó Hacienda La Cabaña por representar un escenario diferente al utilizar solvente en el proceso de extracción de aceite de palmiste.

2.2. Puntos de Muestreo y Parámetros de Medición

Se seleccionaron tres puntos de muestreo: afluentes plantas de beneficio (afluentes PB), afluentes al sistema de tratamiento de aguas (afluentes STAR) y efluentes del sistema de tratamiento (Efluentes STAR). Los efluentes STAR se muestrearon para 14 de las 15 plantas seleccionadas mediante aleatorización, debido a problemas técnicos en una de ellas. Los afluentes PB y afluentes STAR se muestrearon únicamente en 6 plantas de beneficio, previamente seleccionadas mediante aleatorización.

Los parámetros de medición en afluentes PB y afluentes STAR se describen en la **Tabla 6**. Las muestras de afluentes a la planta y al sistema de tratamiento de aguas son muestras simples.

Tabla 6. Parámetros a medir en Afluentes PB y Afluentes STAR

PARÁMETRO	AFLUENTE PB	AFLUENTE STAR
Fenoles totales	X	X
Color	X	
Análisis de compuestos semi-volátiles fenólicos (pentaclorofenol, 2-metilfenol, 2,4,5-triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, 3-metilfenol, 4-metilfenol)		X

Los parámetros de medición en efluentes STAR y los métodos de referencia para la cuantificación de cada uno se describen a continuación en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Parámetros a medir en efluentes STAR y método de referencia para análisis y cuantificación.

NO	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
1	DBO ₅	SM 5210 B Y SM 4500 -O G
2	DQO	SM 5220 D C
3	SST	SM 2540 D
4	SSED	SM 2540 F

5	SAAM	SM 5540 C
6	Grasas y aceites	SM 5520 D
7	Fenoles	SM 5530 B Y D
8 - 10	Residuos de Ingredientes activos de plaguicidas	
8	PLAGUICIDAS ORGANO CLORADOS -POCs (α -BHC, β -BHC, γ -BHC, δ -BHC, Aldrin, Dieldrin, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan Sulfate, Endrin, Endrin Aldehyde, Heptachlor, Heptachlor epoXide, methoXiclor, 4, 4'-DDD, 4, 4'-DDE, 4, 4'-DDT)	EPA 3510C, EPA 508 O 608
9	PLAGUICIDAS ORGANO FOSFORADOS POPs (Dimethoate, Disulforon, Famphur, Methyl Parathion, O,O,O – Triethylphosphorothioate, Parathion, Phorate, Sulfotep, Thionazin)	EPA 3510C, EPA 1657
10	2,4,5 TP	EPA 3535a, EPA 8321B
11	N Total	SM 4500- NORG C Y 4500 -NH3 C
12	P Total	SM 4500-P B(5) y C
13	Cd y Pb	SM 3120 B
14	Color aparente	SM 2120 B
15	Cl	SM 4500 CL-C
16	(SO ₄) ⁻²	SM 4500 S042-E
17	Análisis de compuestos semi-volátiles fenólicos (pentaclorofenol, 2-metilfenol, 2,4,5-triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, 3-metilfenol, 4-metilfenol)	EPA 3510C, EPA 8041
18	Presencia de compuestos orgánicos volatilizables	ASTM D 6520-06, EPA 8260B

3.1. Caracterización

3.1.1. Temperatura y pH

Tal como lo solicita la propuesta de resolución se realizaron las mediciones *In Situ* de temperatura y pH; los valores promedio se muestran en las **Figura 1** y 2. La temperatura promedio a nivel nacional, para la salida del sistema de tratamientos es 31°C; 3,25 grados superior al promedio (27.75°C) de la temperatura de los cuerpos de agua receptores.

El pH de los efluentes se encuentra dentro del rango establecido, con variaciones pequeñas entre las zonas.

Figura 1. Temperatura a la salida del STAR.

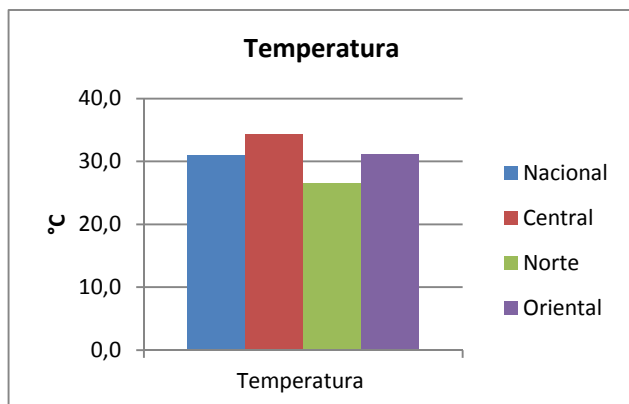
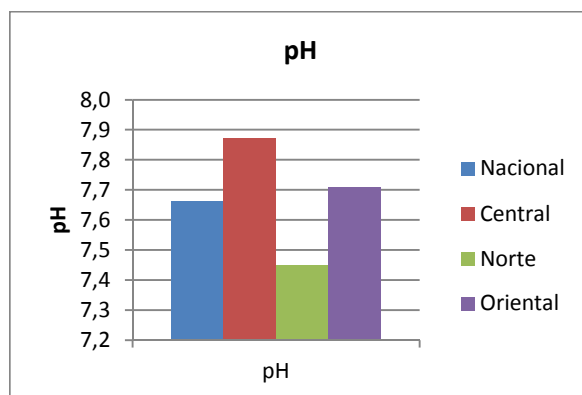


Figura 2. pH a la salida del STAR.

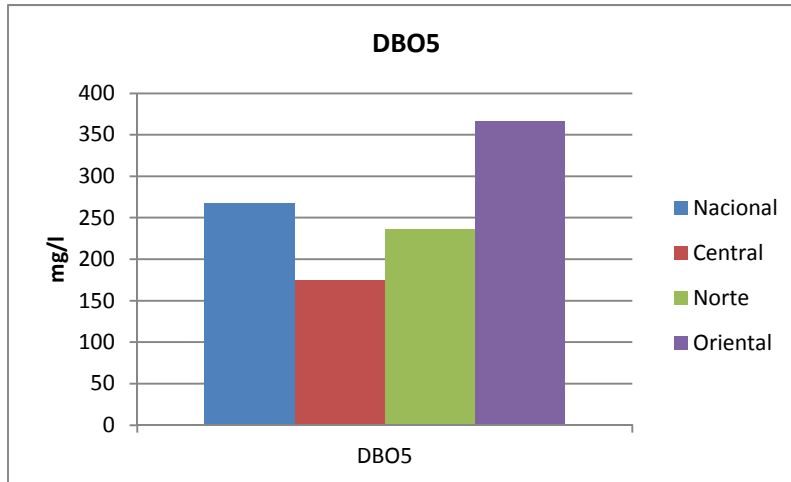


3.1.2. Demanda Biológica y Química de Oxígeno (DBO₅) y (DQO)

Como se mencionó anteriormente, las lagunas de oxidación (anaeróbicas y facultativas) son muy eficientes en la degradación de materia orgánica. No obstante, de acuerdo con los resultados obtenidos no se cumple con el límite máximo de 200 y 400 mg/l para DBO₅ y DQO, respectivamente.

La DBO₅ presenta menor variabilidad en sus valores por lo que es posible representar sus promedios (ver). El promedio nacional, de los valores reportados por el laboratorio según el muestreo es de 267 mg/l; sin embargo, el promedio de los datos históricos recolectados por Fedepalma a nivel nacional es de 909 mg/l. Dicha variación puede ser causada por las condiciones microbiológicas al momento de la muestra, es decir adaptabilidad y madures de los microorganismos presentes, y la dilución de la muestra, lo que reduce la confiabilidad del análisis.

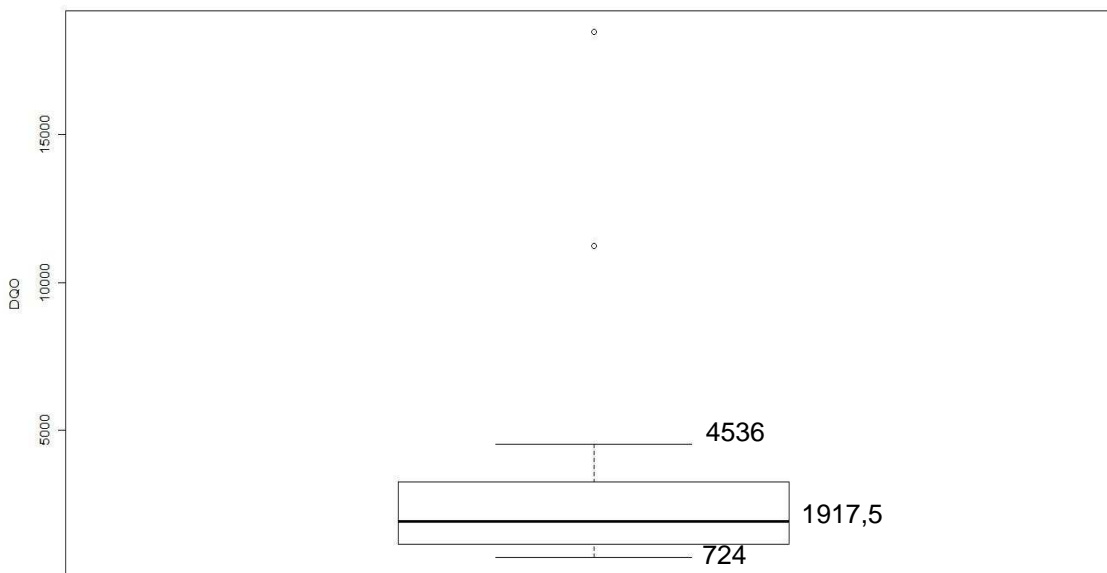
Figura 3. Promedio DBO₅ por zonas palmeras y nacional



Por su parte, la DQO presenta una variabilidad mucho mayor, con datos que van desde 724 mg/l hasta 18468 mg/l (ver **Figura 4**). Al descartar los valores atípicos, obtenemos un rango menor en comparación con el generado por la totalidad de los datos (724 - 4536mg/l). Siendo la mediana 1917,5 mg/l. No cumpliéndose el límite propuesto de 400 mg/l. El promedio de los datos históricos es de 2854 mg/l.

Este parámetro al medir la cantidad de sustancias susceptibles a oxidación identifica materia orgánica e inorgánica, por lo que los sólidos presentes y sustancias tales como sulfuros, sulfitos, cloruros, nitritos, entre otros, pueden elevar considerablemente los valores de DQO.

Figura 4. Diagrama de cajas y alambres de la DQO



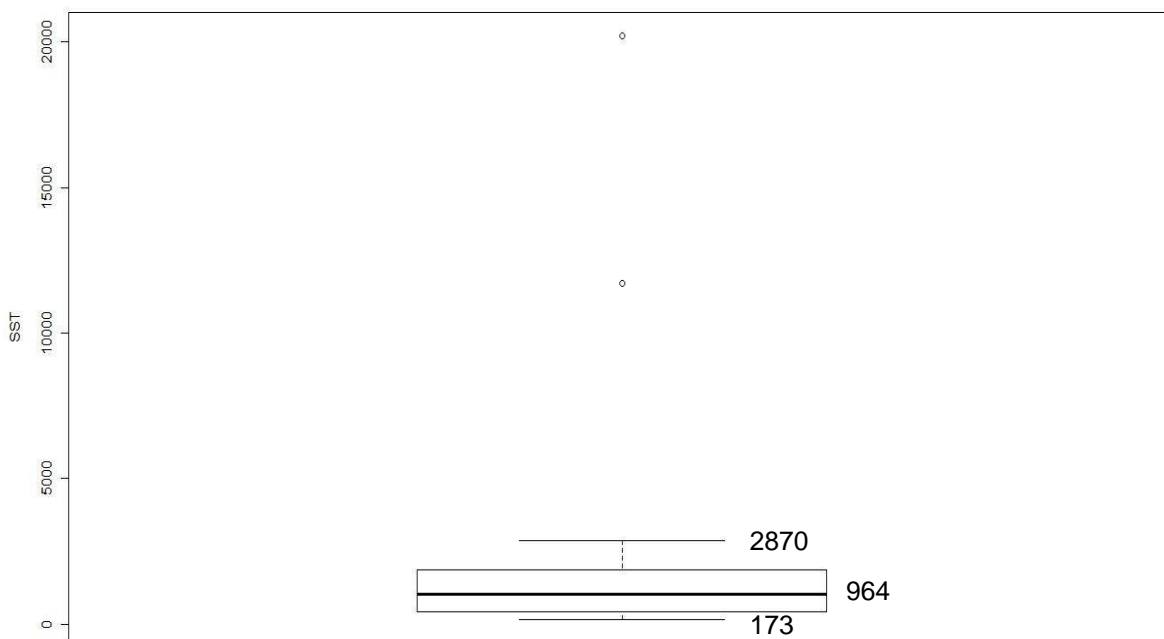
El índice de bio-degradabilidad (relación entre DBO_5 y DQO) a la entrada del sistema de tratamiento de efluentes es de 0,5, en la medida que la materia orgánica es degradada esta relación cambia a 0,3.

3.1.3. Sólidos Suspendidos Totales y Sedimentables (SST) y (SSED)

Los sólidos suspendidos totales son la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Por el contrario, los sólidos sedimentables son aquellos que tras reposo (1 hora) se decantan.

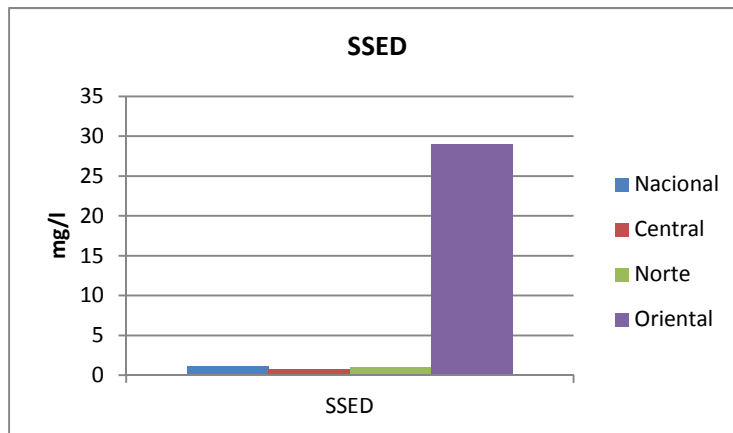
Los efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales contienen altas cantidades de sólidos suspendidos totales con rangos que pueden variar de 173 a 2870 mg/l, eliminado algunos datos atípicos. La mediana de dichos valores es de 964 mg/l (ver **Figura 5**). Los datos históricos, por su parte, reportan valores inferiores con promedio de 642,6 mg/l. A pesar de la reducción de la mediana del muestreo con respecto a la de los datos históricos no se cumple con el límite propuesto de 200 mg/l.

Figura 5. Diagrama de cajas y alambres de los Sólidos Suspendidos Totales.



Los sólidos suspendidos sedimentables, que indican la condición de fango del vertimiento, contrariamente a los sólidos suspendidos totales tienen un valor de mediana de 1,15 mg/l el cual se encuentra por debajo del límite propuesto (2 mg/l), ver **Figura 6**. Algunos valores atípicos se reportan en la zona Oriental, principalmente por condiciones de los canales de salida.

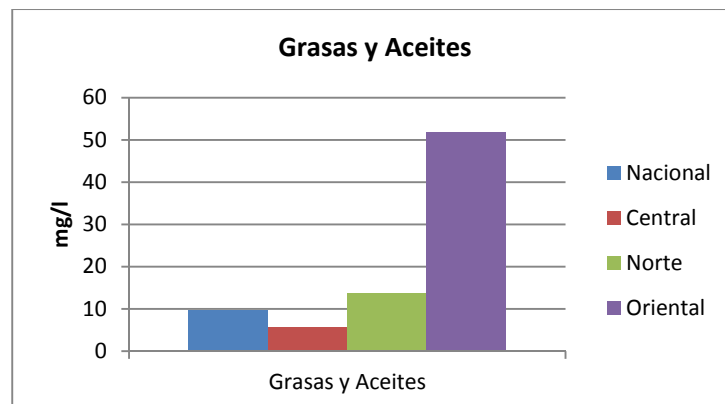
Figura 6. Medianas de los sólidos suspendidos sedimentables



3.1.4. Grasas y Aceites

Aún cuando la carga orgánica, y en especial aceites y grasas, es alta en el afluente al sistema de tratamiento la remoción es superior al 94% obteniendo en el efluente valores inferiores a 20 mg/l (límite propuesto por la norma) en la mayoría de las plantas muestreadas (**Figura 7**); excepto algunas plantas de la zona Oriental cuyas condiciones operativas no son apropiadas.

Figura 7. Medianas de Grasas y Aceites

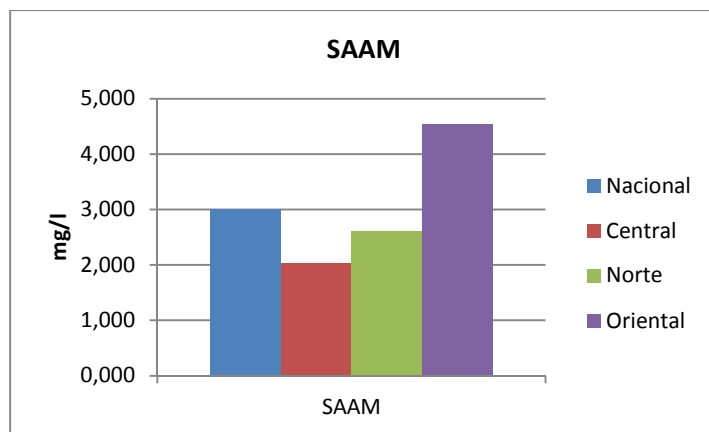


3.1.5. Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Prueba común mente utilizada para determinar surfactantes aniónicos en aguas, basándose en la cualidad de un colorante catiónico (azul de metileno) de reaccionar con aniones orgánicos para formar sales.

Los efluentes del sistema de tratamiento muestran bajas concentraciones de sustancias activas al azul de metileno (mediana de 2,99 mg/l). La principal diferencia entre las medianas por zonas corresponde a prácticas particulares, susceptibles de modificación (**Figura 8**). Para éste parámetro se cumple con el límite propuesto en la norma de 5 mg/l.

Figura 8. Medianas de Sustancias Activas al Azul de Metileno



3.1.6. Fenoles

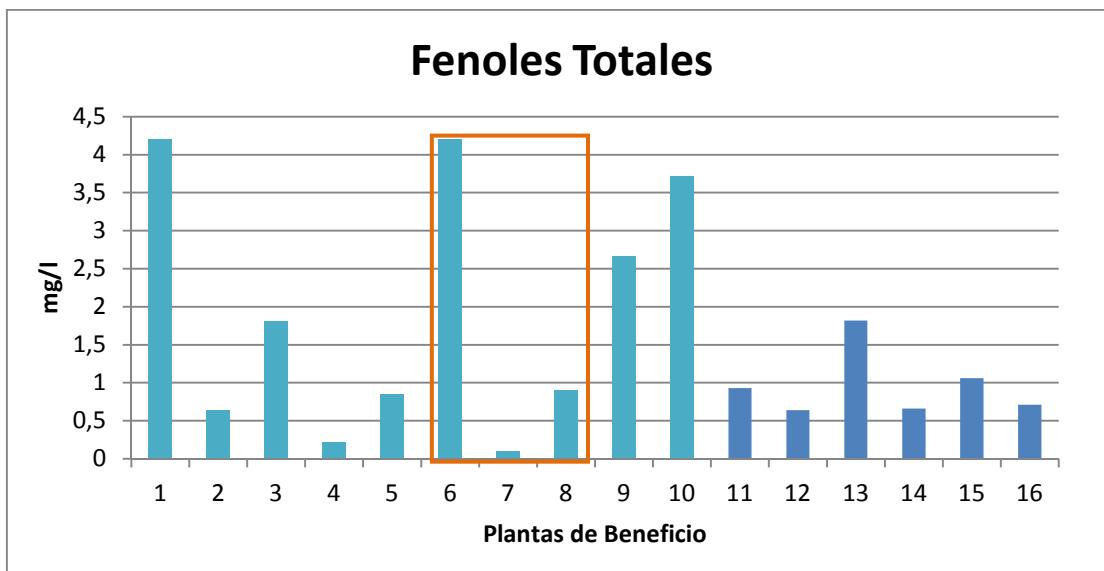
El parámetro de fenoles totales reviste importancia al no tener conocimiento previo de la presencia y cantidad de dichas sustancias en los efluentes de las lagunas de oxidación. Por tal razón en el país 14 plantas de beneficio en las zonas Norte y Central adelantaron análisis durante el 2010 y comienzo del 2011, para determinar la presencia de fenoles en los efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales. Los valores reportados son altamente dispersos y se presentan valores extremos, por lo que en este caso se considera la mediana y la desviación mediana en vez del promedio y la desviación estándar.

En Zona Central, el rango de valores reportados va de 0,093 mg/l a 4,2 mg/l; con una mediana de 1,355 mg/l y una desviación mediana de 1,3897 mg/l. Por su parte, la Zona Norte reporta valores entre 0,64 mg/l a 1,82 mg/l, la mediana y desviación mediana fueron de 0,82 y 0,3 mg/l, respectivamente. Para la totalidad de las plantas (14), en las dos zonas, la mediana es de 0.915 y su desviación mediana de 0.98.

En la

Figura 9, las barras azul claro representan la Zona Central y las de azul oscuro Zona Norte. Las tres barras resaltadas en el cuadro naranja corresponden a una misma planta, dichos valores identifican pico de producción, época de baja producción y datos comunes para un año, respectivamente.

Figura 9. Reporte de fenoles totales de plantas de beneficio de Zona Norte y Central (previos a muestreo realizado con la Universidad de los Andes).



La mayor variabilidad de los datos reportados por la Zona Central es notoria; no obstante, la variabilidad en las dos zonas es alta. Es de resaltar que dichos valores fueron reportados por las plantas de beneficio, de acuerdo a resultados de análisis propios realizados por laboratorios en cada zona. Para la totalidad de los datos solamente uno cumple con el límite máximo permisible de fenoles totales, 0,2 mg/l, propuesto en el proyecto de resolución y es identificado en época de baja producción donde el tiempo de retención de las lagunas es mayor. En comparación la mediana de la totalidad de los datos es 4,5 veces mayor al límite propuesto.

Con el fin de establecer la procedencia de los fenoles presentes en las lagunas y la reducción de éstos en el sistema de tratamiento se realizó un monitoreo y análisis de fenoles en muestras sólidas y líquidas en dos plantas de beneficio de la Zona Central. El procedimiento de recolección, análisis de laboratorio e informe por planta lo realizó el Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), siguiendo los protocolos de preservación de muestras estandarizados por el IDEAM y los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater edición 21 de 2005, para los análisis de laboratorio.

Se monitorearon 14 puntos a lo largo del proceso de extracción de aceite, incluyendo materia prima, captación de agua y tratamiento de efluentes: Fruto (verde, maduro, sobremaduro), tusa, cascarilla, fibra, fruto esterilizado, salida condensadores, salida centrífuga, entrada sistema de tratamiento de efluentes, salida anaerobia, salida sistema de tratamiento de efluentes, aceite, captación. El parámetro de medición fue Fenoles Totales en mg/l.

Los resultados obtenidos se representan en la **Figura 10**. En ellos se observa la presencia de fenoles en la materia prima (fruto de palma) y su incremento luego de la etapa de esterilización.

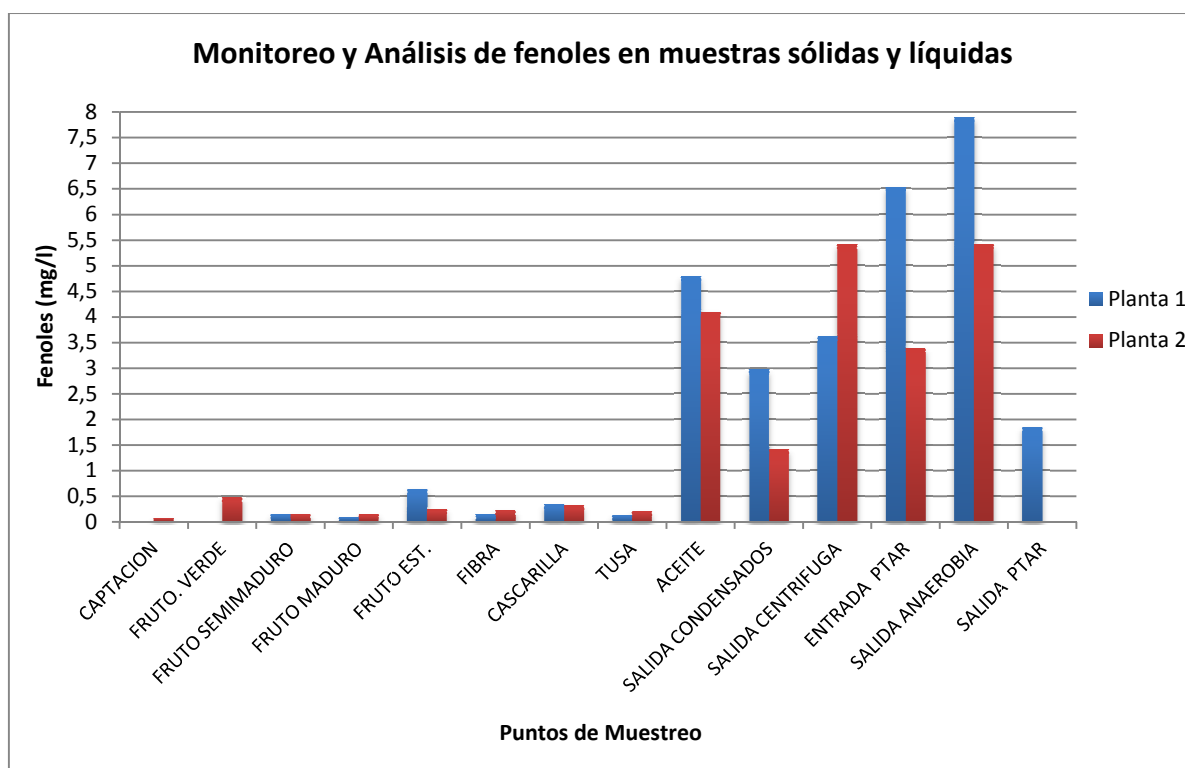
En el caso de los frutos se tomó únicamente la parte carnosa, por lo que se asume que los fenoles allí presentes corresponderían a exocarpo, fibra, aceite y demás sustancias presentes en él.

Los subproductos (cascarilla, fibra y tusa) y el principal producto del proceso de extracción también presentan compuestos fenólicos. Siendo el aceite crudo el que muestra la mayor cantidad de fenoles; se considera que la procedencia de los mismos, radica en la degradación de compuestos como vitaminas E, A, K que contienen anillos hexagonales dentro de su estructura. Estas sustancias son altamente sensibles a la luz, oxígeno del aire y principalmente al calor.

Los condensados, efluentes de centrifugas y afluente al sistema de tratamiento de aguas presentan altos contenidos de fenoles, al igual que el efluente de la laguna anaerobia; sin embargo, son removidos en más del 70% al momento del vertimiento.

Los fenoles que se encuentran a lo largo del proceso de extracción del aceite crudo de palma corresponden a sustancias naturalmente presentes en los frutos o a la degradación de las mismas, tales como vitaminas y lignina, y no a productos de degradación oxidativa de hidrocarburos aromáticos, frecuentemente contaminantes tóxicos en los efluentes de industrias petroquímicas, químicas y farmacéuticas.

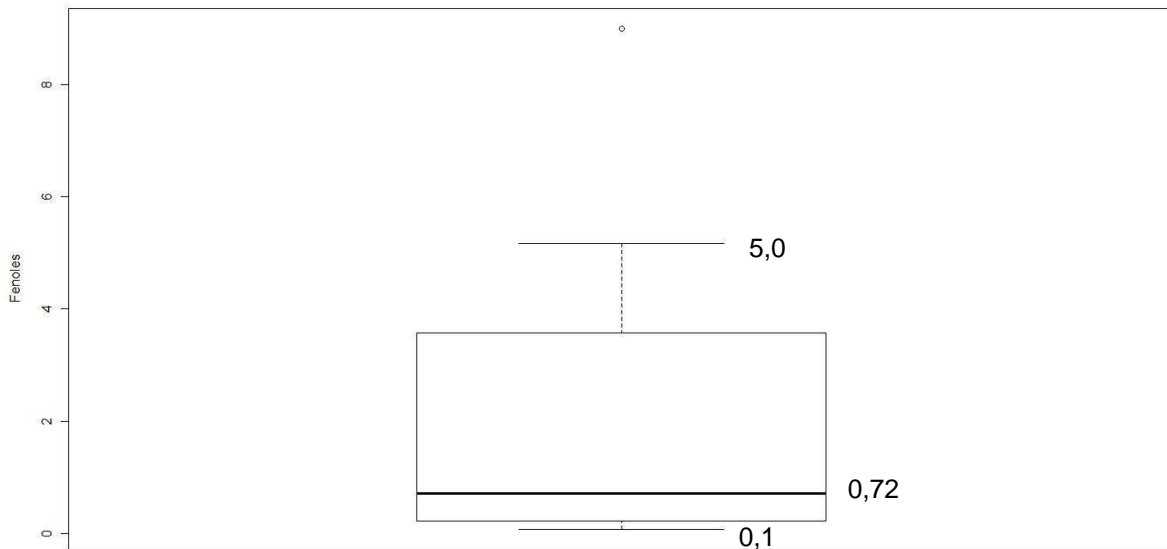
Figura 10. Monitoreo y Análisis de fenoles en muestras sólidas y líquidas.



*Gráfica generada a partir de los informes presentados por el CEIAM.

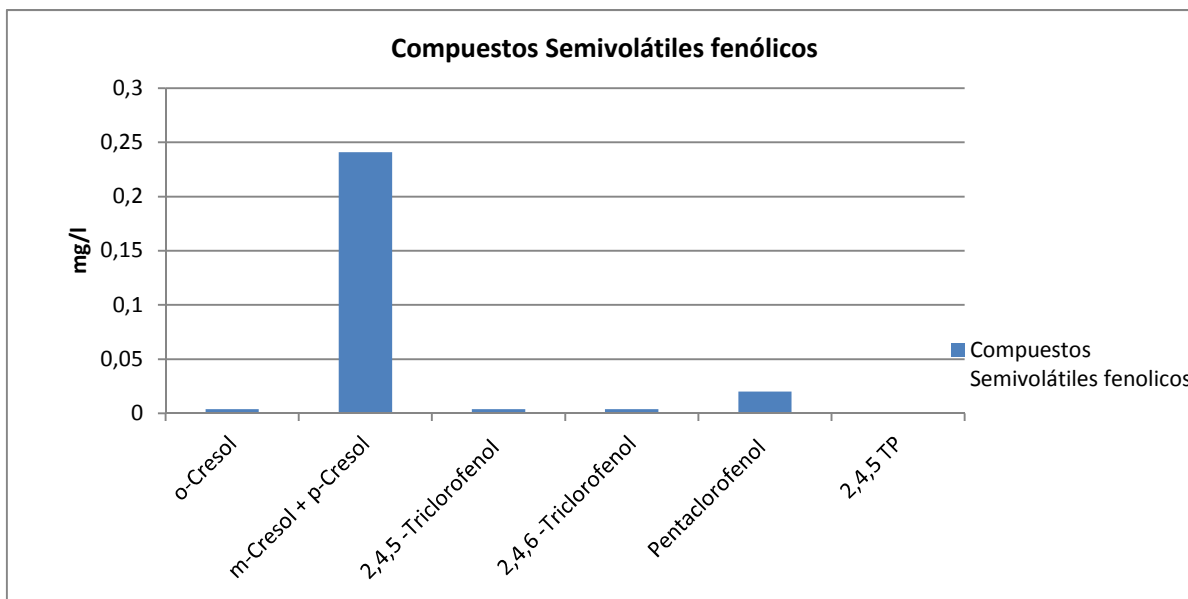
Los valores de fenoles totales reportados por la Universidad de los Andes tras el muestreo realizado, eliminan las técnicas de cuantificación y de muestreo como causales error y aun así, la variabilidad del resultado es alta, (Figura 11) con valores que van desde 0,1 – 5,0 mg/l y una mediana de 0,72 mg/l, que no varía mucho de la mediana de la Zona Norte, antes cuantificada.

Figura 11. Diagrama de cajas y alambres de Fenoles Totales.



Con el fin de determinar la toxicidad de los fenoles presentes, se realizó un análisis de compuestos semi-volátiles fenólicos, los cuales en el Decreto 1594 de 1984 son identificados como compuestos de interés sanitario (o-cresol, m-cresol, p-cresol, 2,4,5-Triclorofenol; 2,4,6-Triclorofenol; pentaclorofenol; 2,4,5 TP o silvex). Dichas sustancias se encuentra por debajo del límite de detección del método de medición a excepción del m-cresol + p-cresol cuyo promedio se encuentra superior a 0,2 mg/l, como consecuencia de una degradación incompleta de materia orgánica. (Figura 12.)

Figura 12. Promedio Compuestos semi-volátiles fenólicos



3.1.7. Residuos de Ingredientes Activos de Plaguicidas

Es común encontrar residuos de plaguicidas en vertimientos de actividades agrícolas o agroindustriales debido al uso de dichas sustancias en labores cotidianas; sin embargo, en el caso de los vertimientos de la agroindustria de la palma de aceite se encontró que los valores de plaguicidas organofosforados y organoclorados están por debajo del límite de detección del método empleado.

3.1.8. Nutrientes

Tradicionalmente los lodos y efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción, al igual que otros residuos como racimos vacíos (tusas), han sido valorados por su alto contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo), siendo empleados, en algunos complejos, para fertilización orgánica y compostaje.

Los racimos vacíos contienen aproximadamente 1% de nitrógeno y 0,1% de P_2O_5 , en base húmeda. Siendo, aproximadamente 210 kg de racimos vacíos /t racimos procesados, obtenemos 2,1 kg N/t RFF y 0,09 kg P/t RFF. El cuesco contiene 0,42% ± 0.03 de nitrógeno (0,33 kg/t RFF) y la fibra 1,21% $\pm 0,08$ (1,63 kg/t RFF) (García, J. et al. 2008). La almendra contienen en promedio 1.6% de nitrógeno (0,92 kg/t RFF).

La fibra y el cuesco contienen fósforo 594,91 \pm 68,08 mg/kg y 115,04 \pm 4,35mg/kg, respectivamente (0.08kg/t RFF y 0.01kg / t RFF).

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede estimar que el contenido de nitrógeno contenido en la materia prima es de 4.98kg/t RFF (sin tener en cuenta el aceite crudo), en el caso del fósforo es de 0,18 kg/t RFF (descontando el aceite crudo)

Algunas cantidades de nitrógeno y fósforo son llevadas al sistema de tratamiento de efluentes en los lodos de clarificación procedentes, entre otros, de tusa, fibra y cuesco. Algunos Valores reportados por literatura son de 948 mg/l para el nitrógeno y 154 mg/l para el fósforo (Ver **Tabla 8**)

Tabla 8. Composición de Efluentes planta extractora aceite de palma.

Clase de EPEAP	DBO	N	P	K	Mg
Crudo	25.000	948	154	1.958	345
Digerido (anaeróbico)					
a. Tanque agitado	1.300	900	120	1.800	300
b. Sobrenadante	450	70	1.200	280	
c. Lodo del fondo	1.000 a 3.000	3.552	1.180	2.387	1.509
Digerido (aeróbico)					
a. Sobrenadante	100	52	12	2.300	539
b. Lodo del fondo	150 a 3.001	495	461	2.378	1.004

Nota: Unidades (mg/l)

Fuente Ma *et al*, 1993

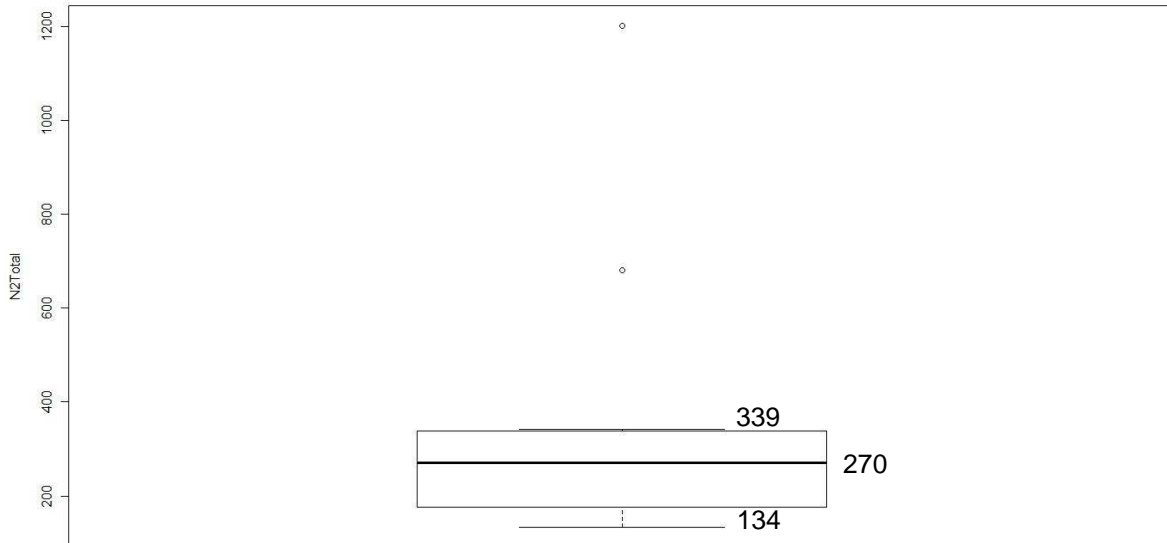
Nitrógeno Total

De acuerdo al muestreo realizado, el nitrógeno total contenido en los vertimientos varía de 134 mg/l a 339 mg/l, eliminando datos atípicos, con una mediana de 270 mg/l (**Figura 13**). En relación con el contenido de nitrógeno teórico del afluente hay una remoción cercana al 70%.

Estos contenidos de nitrógeno en el vertimiento equivalen, (tomando un valor de 400 mg/l - superior al máximo del rango normal-, un caudal de 5 l/s y 23 t RFF/h de capacidad de planta) a 0,313 kg N/t RFF. Lo que representa, tan sólo un 6.28% del nitrógeno contenido en la materia prima (4,98 kg/t RFF) ó 5% del nitrógeno aplicado en campo (aproximadamente 4,5 kg/t RFF). En comparación con el valor teórico de nitrógeno en afluente al sistema sería un 42%.

Debido a las concentraciones de nitrógeno a lo largo de la cadena productiva no se logra cumplir con el límite máximo propuesto de 20 mg/l, que serían tan sólo 0.015 kg de nitrógeno/T RFF (0.031% del nitrógeno contenido en la materia prima).

Figura 13. Diagrama de cajas y alambres del Nitrógeno total.



Fósforo Total

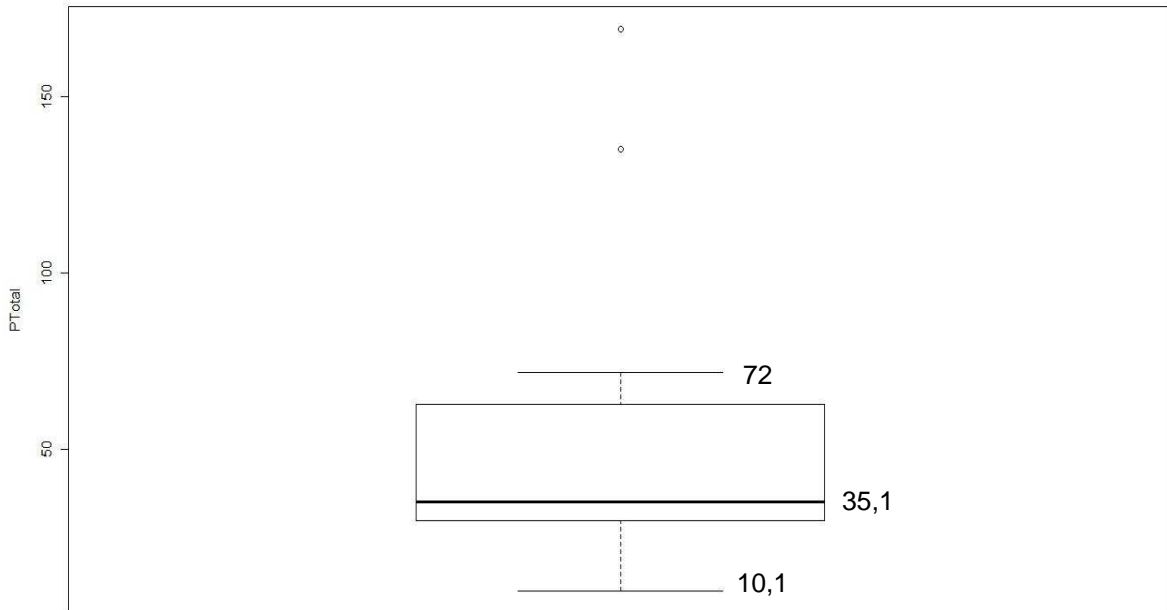
El contenido de fósforo en los vertimientos varía de 10,1 mg/l a 72 mg/l, eliminando datos atípicos, con una mediana de 35,1 mg/l. Ver **Figura 13** **Figura 14**. En relación con el contenido de fósforo teórico del afluente hay una remoción cercana al 77%.

Debido a las concentraciones de fósforo a lo largo de la cadena productiva no se logra cumplir con el límite máximo propuesto de 5 mg/l.

Estas cantidades en el vertimiento equivalen, (tomando un valor de 80 mg/l -superior al máximo del rango normal-, caudal de 5 l/s y 23 t RFF/h de capacidad de planta) a 0,062 kg P/t RFF. Lo que representa el 34,78% del nitrógeno contenido en la materia prima (0,18 kg/t RFF) o 4% del fósforo elemental aplicado en campo (aproximadamente 1,62 kg/t RFF). En comparación con el valor teórico de fósforo en afluente al sistema sería un 22%.

Debido a las concentraciones de fósforo a lo largo de la cadena productiva no se logra cumplir con el límite máximo propuesto de 5 mg/l, que serían tan solo 0.0039 kg de nitrógeno/T RFF (2,17% del nitrógeno contenido en la materia prima).

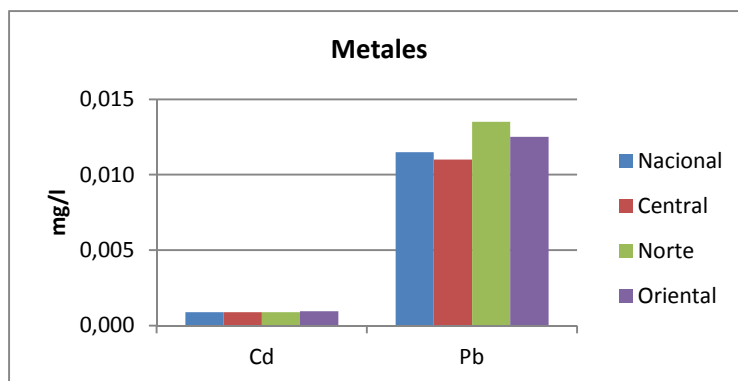
Figura 14. Diagrama de cajas y alambres del Fósforo total.



3.1.9. Metales

Es conocido que los racimos de fruta fresca (RFF) de palma de aceite tengan contenidos bajos de metales como cadmio (Cd) $1,44739E-06$ kg/t RFF y plomo (Pb) $7,48047E-06$ kg/t RFF. (Sütter, J. 2006); sin embargo, las concentraciones de éstos metales en los efluentes es mínima, siendo inferior al límite de detección del método utilizado para su cuantificación en el caso del cadmio, y de 0,012 mg/l para el caso del plomo, ver Figura 15. En comparación con los límites propuestos de 0,004 y 0,2 mg/l para cadmio y plomo, respectivamente, los vertimientos de las plantas extractoras cumplen sin inconveniente.

Figura 15. Mediana de Cadmio y Plomo presentes



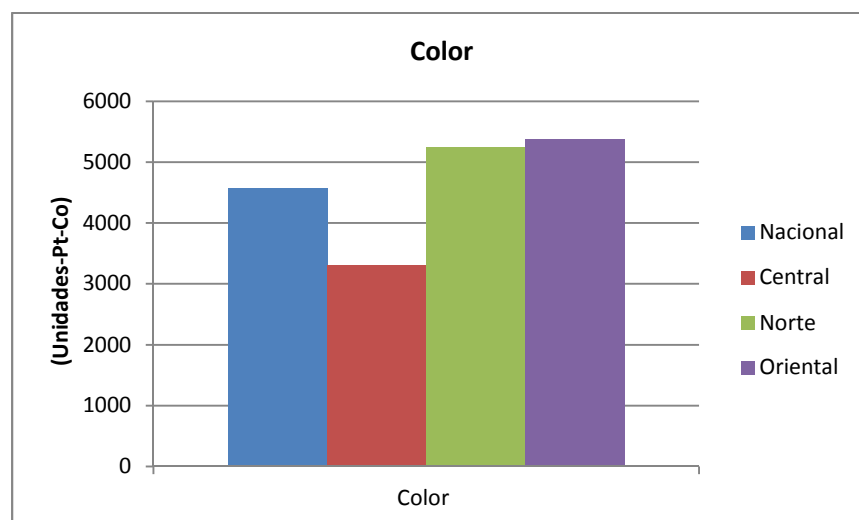
3.1.10. Color

El aceite crudo de palma presenta un color rojo anaranjado muy fuerte, debido al alto contenido en carotenoides, que alcanza niveles de 500-700 mg/l. La fijación del color en el aceite crudo de palma incrementa con la acidificación (formación de ácidos grasos libres por oxidación), lo que a nivel industrial significa mayores requerimientos de tierras de blanqueo para su refinación.

Los afluentes al sistema de tratamiento llevan consigo altas cantidades de arena, aceite, lodos aceitosos, residuos mucilaginosos y gomas que imparten un color marrón al vertimiento, que se fija a través del tiempo a causa de la oxidación. Adicionalmente se tiene en cuenta la formación de ácidos húmicos durante el tratamiento.

El promedio de color del efluente del sistema es 4571 unidades Pt Co, o cual sobrepasa dos órdenes de magnitud el límite propuesto.

Figura 16. Promedio de Color en los efluentes del sistema de tratamiento.



3.1.11. Iones

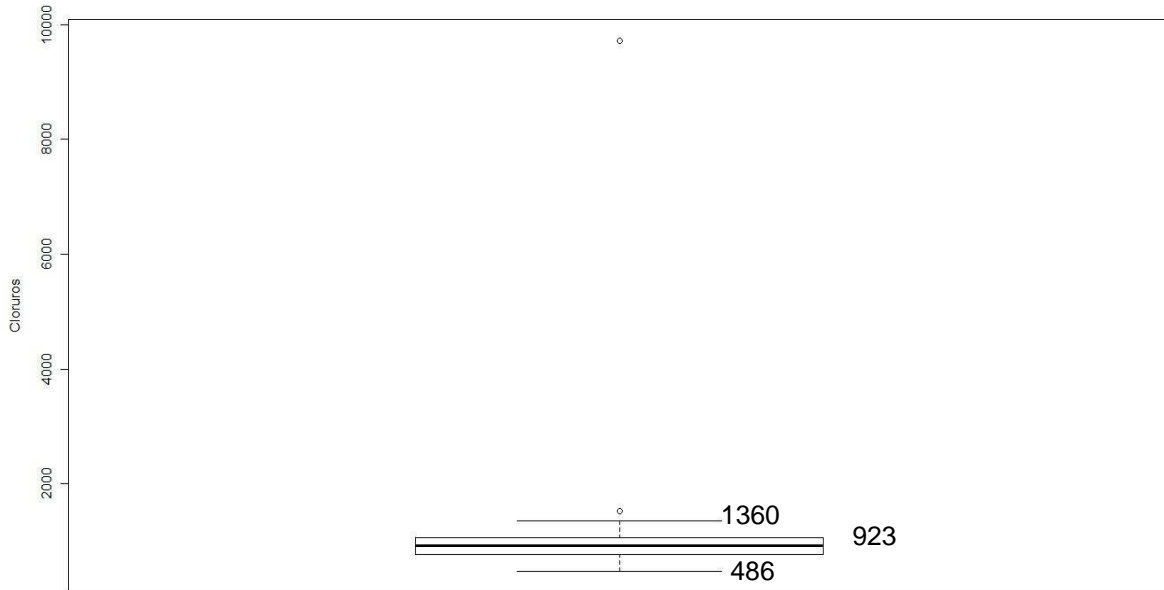
Cloruros

La presencia de cloruros en efluentes del proceso de extracción de palma no han sido contemplados anteriormente, ya que por ser un proceso de extracción físico no se estima la presencia de éstas sustancias al no ser incluidas como insumos. En el muestreo realizado se identifican cloruros en valores que van desde 486 mg/l hasta 1360 mg/l, sin contar datos atípicos, con una mediana de 923 mg/l, lo que sobrepasa el límite propuesto de 500 mg/l.

La presencia de cloro es normal entre 0,5% y 1,2% en tejidos foliares de palma de aceite y 0,31% a 0,95% en tusas, dependiendo de la variedad de palma, lo que equivale a 0,65 -1,995 kg Cl/t RFF (Laboratorio de Análisis Foliares, Cenipalma). Debido su alta solubilidad, el cloro es fácilmente liberado en la etapa de esterilización y su destino final es el sistema de tratamiento de aguas

residuales. Estos datos son similares a los reportados en el muestreo haciendo su equivalencia a fruta procesada 0,38 – 1,064 kg/t RFF.

Figura 17. Diagrama de cajas y alambres de Cloruros.

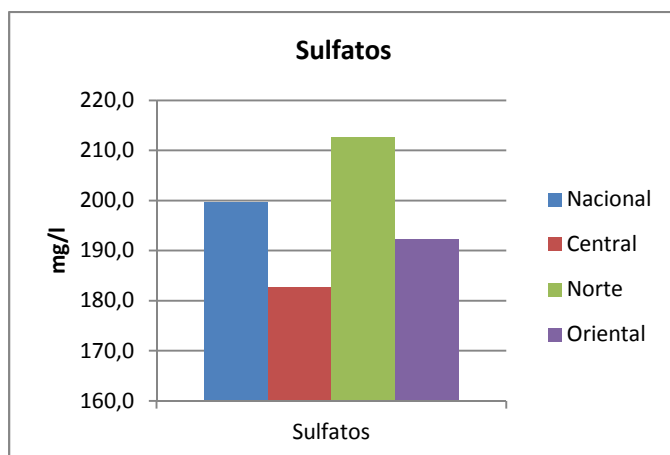


Sulfatos

Al igual que los cloruros, los sulfatos se encuentran presentes tanto en la palma de aceite como en sus racimos. En los tejidos de tusa hay aproximadamente 0,08% de azufre en base seca (0,067% – 0,11%) (Laboratorio de Análisis foliares, Cenipalma), esto es 0,056 kg S/t RFF ó 0,168 kg SO₄/t RFF, aproximadamente.

Contrario a los cloruros, la presencia de sulfato es baja con respecto al límite propuesto de 300 mg/l, al encontrarse en promedio 200 mg/l en los efluentes, con pequeñas variaciones por zonas.

Figura 18. Promedio de sulfatos en los efluentes del sistema de tratamiento.



En la **Tabla 9**, se resume el cumplimiento de los parámetros de la propuesta de resolución. De acuerdo a los límites máximos propuestos tan sólo se le da cumplimiento a 7 de 16 parámetros. No obstante, varios de ellos son susceptibles de revisión dada la naturaleza de la materia prima y las condiciones de proceso.

Tabla 9. Resumen de cumplimiento de parámetros según propuesta de norma.

PARÁMETRO		CUMPLIMIENTO
1	DBO5	X
2	DQO	X
3	SST	X
4	SSED	X
5	SAAM	√
6	Grasas y aceites	√
7	Fenoles	X
	Residuos de Ingredientes activos de plaguicidas	
8	<i>Plaguicidas órgano clorados –POC's</i>	√
9	<i>Plaguicidas órgano fosforados –POP's</i>	√
10	2,4,5 TP	√
11	N Total	X
12	P Total	X
13	Cd y Pb	√
14	Color	X

15	Cl	X
16	(SO4)-2	√

Conclusiones

Los sistemas de tratamiento de efluentes actualmente utilizados por las plantas de beneficio a nivel nacional, son altamente eficientes en la remoción de materia orgánica; sin embargo, no se logra cumplir a cabalidad con los estándares propuestos por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para vertimientos a aguas continentales.

De acuerdo con el muestreo desarrollado y la poca presencia de sustancias como: sustancias activas al azul de metileno (SAAM), residuos de ingredientes activos de plaguicidas (incluyendo 2,4,5 TP) y metales, se podría considerar la eliminación de dichos parámetros dentro del monitoreo a realizar periódicamente.

Debido a la presencia de sustancias como: lignina, vitaminas, carotenos, tocoferoles y tocotrienoles, nitrógeno, fósforo, cloro y azufre (sulfatos) dentro de la materia prima (Racimos de Fruta Fresca), los valores límite propuestos para los parámetros, fenoles totales, nitrógeno total, fósforo total, cloruros, sulfatos y color; pueden ser discutidos. En el caso específico de fenoles totales podría ser modificado por una prueba de toxicidad más específica tal como presencia de compuestos semi-volátiles fenólicos.

Es necesario adelantar estudios e investigación que permita seleccionar sistemas más adecuados para el tratamiento de efluentes con base en la normatividad propuesta, uso de tecnologías limpias y costos.

Bibliografía

Ma, A.N.; Cheah, S.C. y Chow, M.C. 1993. In: B.G. Yeoh et ál. (Ed.) Current status of plam oil processing waste management in Malaysia: Current Status and Prospects for Bioremediation. Ministry of Science, Technology and the Environment, Malaysia. P. 111-136.

Sütter, J. 2006. Oil palm, production in Malaysia. En: Swiss Centre for Lie Cycle Inventories. *Life Cycle Inventories of Bioenergy. Ecoinvent report No. 17, v2.0* (84-95). Zúrich y Dübendorf (Suiza). Disponible en: www.ecoinvent.ch.

García-Núñez, J. A.; García-Pérez, M.; Das, K.C. 2008. Determination of kinetic parameters of termal degradation of palm oil mil by-.products using thermogravimetric analysis and diferencial scanning calorimetry. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol 51(2):547-557.