

EVALUACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS AGROINDUSTRIALES DE LA PALMA  
*Elaeis guineensis* SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE  
USO AGRÍCOLA

**JULY MARLEY BUITRAGO BARBOSA**

Universidad Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Programa de Ingeniería Ambiental  
CEAD Bucaramanga  
2016

EVALUACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS AGROINDUSTRIALES DE LA PALMA  
*Elaeis guineensis* SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE  
USO AGRÍCOLA

**JULY MARLEY BUITRAGO BARBOSA**  
CÓD: 1102356715

Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniera Ambiental

Director  
**MILTON CÉSAR ARARAT OROZCO**  
Ingeniero Agrónomo Ph. D.

Universidad Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Programa de Ingeniería Ambiental  
CEAD Bucaramanga  
2016

La búsqueda constante de la perfección es la constancia en el cambio, “nunca pares, nunca te conformes, hasta que lo bueno sea mejor y lo mejor excelente” (*popular*). Por ello, dedico esta labor a mi Familia: Padres y hermanos por su amor, confianza, apoyo y tantos adjetivos más, que se quedan cortos en este peldaño camino al éxito como persona y como profesional; especialmente a mi madre este maravilloso ser por quien anhelo ser cada día mejor, mi motor, mi apoyo espiritual; y a mi pedacito de cielo, Kennyher.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera muy especial al Ingeniero Agrónomo Ph. D. Milton César Ararat Orozco, por su excelente acompañamiento y asesoría en el desarrollo del proyecto igualmente al Ingeniero Jorge Moisés Andrade Castiblanco como jurado. A la Ingeniera Janet Bibiana García Martínez y al Ingeniero Víctor Fabián Forero Ausique. Infinitas gracias a Extractora Central, en especial al Doc. Gaspar Rueda Plata, en calidad de Gerente, por el apoyo económico y de sus instalaciones para el desarrollo de las aplicaciones en los cultivos, gracias a la Junta Directiva por permitirme ejercer mi profesión en la empresa y confiar en mí esta responsabilidad.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>11</b>
4.2. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE PALMA.....	12
4.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE ACUERDO A SU CONTENIDO NUTRICIONAL .....	12
4.4. DATOS DE LLUVIA PARA EL LUGAR DE MUESTREO.....	12
4.5. NECESIDADES HÍDRICAS DE UN CULTIVO DE PALMA AFRICANA ..	14
4.6. BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE PALMA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	15
4.7. CARACTERÍSTICAS PARA EL EFLUENTE DE APLICACIÓN.....	16
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
<b>6. RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>23</b>
6.1. CARACATERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL VERTIMIENTO EN LA APLICACIÓN.....	23
6.2. CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SUELO.....	24
6.3. DATOS DESPUÉS DE LAS APLICACIONES.....	25
6.4. RESPUESTA DE LOS MACRONUTRIENTES.....	28
6.5. RESPUESTA A LOS NUTRIENTES SECUNDARIOS.....	30
6.6. RESPUESTA A LOS MICRONUTRIENTES.....	31
6.7. RESPUESTA A LOS METALES PESADOS.....	32
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>37</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de elementos N-P-K-Mg según niveles de presencia en el suelo .....	15
<b>Tabla 2</b>	Promedio lluvia en mm mes.....	16
<b>Tabla 3</b>	Evapotranspiración mes a mes para un cultivo de palma, expresada en mm .....	17
<b>Tabla 4</b>	Máximas concentraciones en suelos de algunos metales pesados, propuesto para la Unión Europea .....	20
<b>Tabla 5</b>	Máximas concentraciones del vertimiento industrial en suelos para uso agrícola .....	20
<b>Tabla 6</b>	Referencia testigo, aplicaciones y toma de muestras.....	22
<b>Tabla 7</b>	Aplicaciones diarias.....	25
<b>Tabla 8</b>	Resultado análisis de vertimientos.....	26
<b>Tabla 9</b>	Resultados análisis de laboratorio a las muestras testigo de los lotes 1 y 2.....	27
<b>Tabla 10</b>	Variables de respuesta a las aplicaciones del vertimiento para el %C y % MO de los lotes 1 y 2.....	30
<b>Tabla 11</b>	Valores registrados para los micronutrientes bajo las diferentes aplicaciones en cada uno de los lotes.....	33

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Ubicación lotes experimentales .....	14
<b>Figura 2</b>	Aplicación del riego, Lotes 1 y 2 .....	23
<b>Figura 3</b>	Geo-referenciación toma de Sub-muestras para muestra Lote 1 .....	24
<b>Figura 4</b>	Geo-referenciación toma de Sub-muestras para muestra Lote 2 .....	24
<b>Figura 5</b>	Adecuación, toma y empaque de muestras .....	25

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1</b>	Evapotranspiración de un cultivo de Palma Africana Vs lluvia disponible conglomerada.....	15
<b>Gráfica 2</b>	Comparación de los niveles de pH en la muestra testigo y la aplicación final del vertimiento en los lotes N° 1 y N° 2.....	25
<b>Gráfica 3</b>	Línea de tendencia con respecto a la variación del pH. (a) Lote N°1 (b) Lote N°2.....	26
<b>Gráfica 4</b>	Línea de tendencia con respecto a la variación de la conductividad eléctrica (C.E.) (a) Lote N°1 (b) Lote N°2.....	27
<b>Gráfica 5</b>	Relación % carbono orgánico con % de materia orgánica para el testigo y aplicación final de los lotes 1 y 2. (a) %C y (b) %MO	27
<b>Gráfica 6</b>	Tendencias de los macronutrientes (a) Lote N°1 (b) Lote N°2..	29
<b>Gráfica 7</b>	Tendencias de los micronutrientes para los lotes 1 y 2.....	30

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Imagen de la toma de muestra de los testigos .....	37
<b>Anexo 2</b>	Imagen de la toma de muestras después de aplicaciones .....	38
<b>Anexo 3</b>	Imagen resultados conglomerados obtenidos .....	39

## RESUMEN

El efluente es el producto obtenido de la reducción y estabilización de su carga orgánica a través de procesos microbiológicos en lagunas de oxidación en una industria palmera; dicho efluente es aplicado en forma de vertimiento a las fuentes hídricas como una de las mayores prácticas en las industrias, sin embargo, se ha hablado del aporte de nutrientes contenido en el mismo el cual podría beneficiar su aplicación en los suelos. Las reglamentaciones en materia Ambiental contemplan dicho vertimiento solo a las fuentes hídricas y las normas lo reglamentan solo en materia de reúso para cultivos establecidos que no sean de consumo directo para el hombre, pastos para alimentación en animales, entre otros; pero los mismos no contemplan el vertimiento al suelo como un aporte de elementos y cambios que redunden o no en el beneficio del mismo.

El desarrollo del trabajo tuvo como herramienta de control, un análisis de suelos antes y después de las aplicaciones de este vertimiento a un suelo previamente identificado en el municipio de Puerto Wilches en el departamento de Santander, dichas aplicaciones se realizaron teniendo en cuenta la demanda hídrica del cultivo establecido (palma de siembra 2010). Una vez obtenidos los datos de laboratorio se procedió a realizar un análisis estadístico de la información con comparaciones de los nutrientes disponibles y necesarios para el lugar de muestreo.

**Palabras claves:** reúso de vertimientos, efluentes de plantas extractoras de aceite, caracterización de efluentes de plantas extractoras de aceite, planta extractora de aceite de palma, palma de aceite.

## SUMMARY

The effluent is the product of the reduction and stabilization of organic load through microbiological processes in oxidation ponds in a palm industry; said effluent is applied in the form of dumping to water sources as one of the largest practices in the industry, however, it has spoken about the supply of nutrients contained therein which could benefit its application in soils. In environmental regulations contemplate such dumping only water sources and standards regulate it only on reuse for established crops other than direct consumption for man, pasture for animal feeding, among others; but these do not include the dumping ground as a contribution of elements and changes that result or not in the benefit of it.

The development work was aimed at soil analysis before and after applications of this dumping to a soil previously identified in the municipality of Puerto Wilches in the department of Santander, these applications were made taking into account the water demands of established culture (palm planting 2010). Once laboratory data obtained proceeded to perform a statistical analysis of information with comparisons of available and necessary for the sampling nutrients.

**Keywords:** reuse of effluents, effluent oil extraction plants, effluent characterization oil extraction plants, extractor palm oil, palm oil plant.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los volúmenes producidos de vertimiento sin tratar durante el proceso para la obtención del aceite crudo de palma en una Planta de Beneficio Primario – PBP, se encuentran en el orden de los 0,7 – 1m<sup>3</sup> por cada tonelada de fruta fresca transformada; de este modo, las cantidades generadas se encuentran directamente relacionadas con la capacidad de planta instalada en las diferentes extractoras del país, las cuales varía desde los 2,2 a 60 toneladas de racimos de fruta fresca por hora (Ton RFF/hora). Para el desarrollo del ejercicio, se toma como referencia una capacidad de planta instalada de 40 Ton – RFF/hora, lo que se traduce en su pico más alto de 40 m<sup>3</sup> – hora de efluente producido sin tratar.

Una vez han sido sometidos a procesos microbiológicos pasando por lagunas equalizadoras, anaeróbicas y facultativas, los volúmenes descienden en el orden de los 2 – 5 litros por segundo (L/s), obteniendo un vertimiento en su pico más alto en 18m<sup>3</sup> – hora.

Las cargas orgánicas asociadas al vertimiento, así como los volúmenes a manejar son considerados altos, por lo que la necesidad de realizar seguimiento a los mismos comparando el estado del suelo antes y después de su aplicación en distintas temporadas se hace evidente. Mediante una caracterización de los parámetros más relevantes asociados al vertimiento, así como la disponibilidad de nutrientes expresada en términos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P, K), elementos menores y metales pesados en los suelos, se realizan las distintas aplicaciones sobre un cultivo de palma Africana.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta las consideraciones De la Rosa<sup>1</sup>, la contaminación del suelo es considerado uno de los principales problemas que padecen las tierras agrícolas; de este modo, la contaminación se puede presentar de una forma muy localizada (contaminación puntual), esta es producida casi siempre por residuos industriales o urbanos sin tratar, o de una forma más extensa (contaminación difusa) la cual se produce casi exclusivamente por el uso agrícola. Los elementos primarios: Nitrógeno. Fósforo y Potasio y secundarios: Calcio y Magnesio, constituyen una pieza clave para el desarrollo de los diferentes cultivos, en el caso de la palma, estos se encuentran ajustados a la naturaleza del mismo suelo de manera que permitan más o menos agregados de acuerdo a su capacidad de campo.

La reglamentación de normas a favor del cuidado de los recursos en Colombia cada vez avanza con mayor precisión. En el manejo de los vertimientos agro-industriales, los avances se han logrado desde las remociones en porcentaje de carga orgánica a parámetros puntuales, teniendo en cuenta la naturaleza del desarrollo de cada sector. Sin embargo, referentes al manejo de vertimientos sobre los suelos, apenas se están iniciando las pautas que permitan dar paso a mejores prácticas de las que se llevan actualmente con respecto a la disposición de estos efluentes.

Las aplicaciones totales o parciales de dichos vertimientos sobre los suelos, constituyen una de las prácticas más recurridas por el sector agroindustrial; la finalidad de las mismas, es referida a los beneficios que se encuentran derivados del contenido nutricional en sus aguas, sin embargo, la falta de seguimiento y evaluación en el comportamiento de cada elemento constituye un aspecto de vital importancia en la dinámica del suelo y el agua.

---

<sup>1</sup> DE LA ROSA, Diego. Evaluación agro - ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. 2008. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <https://books.google.com.co/books?id=M->

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los residuos líquidos provenientes de la agro - industria de la Palma *Elaeis guineensis* sobre las propiedades químicas de un suelo de uso agrícola en el municipio de Puerto Wilches, Departamento de Santander (Colombia)

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

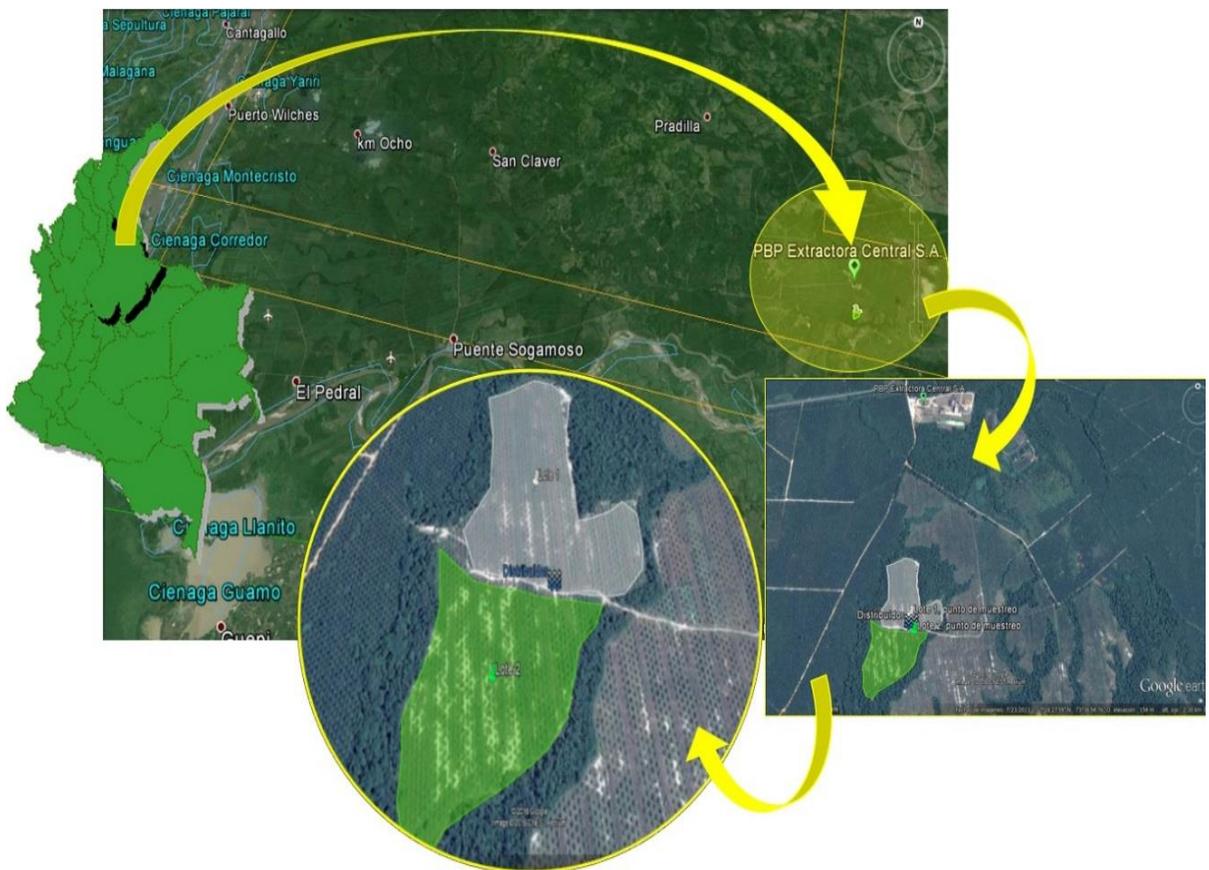
- 3.2.1. Analizar las características químicas del suelo bajo diferentes aplicaciones de residuos líquidos de la industria de la palma de aceite.
- 3.2.2. Relacionar los parámetros de oferta nutricional y riesgo ambiental en el cultivo por efecto de diferentes aplicaciones

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. UBICACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto aplicado se llevó a cabo en la Vereda Aguaclara, Corregimiento de Puerto Cayumba del Municipio de Puerto Wilches – Santander. Teniendo en cuenta el PMA <sup>2</sup>, se identificó un suelo de uso agrícola (siembra de palma africana – 2010), correspondiente a un suelo medianamente consolidado de arenas limo – arcillosas ligeramente conglomeráticas de color blanco.

**Figura 1.** Ubicación lotes experimentales



Fuente: Google Earth

<sup>2</sup> Andina Ingeniería Ltda. Plan de Manejo Ambiental. 2005. Extractora Central S.A.

#### 4.2. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE PALMA

Los elementos primarios: Nitrógeno. Fósforo y Potasio, y secundarios: Calcio y Magnesio, constituyen una pieza clave para el desarrollo de los diferentes cultivos, en el caso de la palma, estos se encuentran ajustados a la naturaleza del mismo suelo de manera que permitan más o menos agregados de acuerdo a su capacidad de campo.

#### 4.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE ACUERDO A SU CONTENIDO NUTRICIONAL

Los suelos son clasificados como pobres, medio o rico en cada uno de los elementos según su presencia en el suelo (Baja, media y alta). La tabla 1 muestra niveles de macro-elementos en suelos y su clasificación por niveles:

**Tabla 1.** Clasificación de elementos N-P-K-Mg según niveles de presencia en el suelo.

Descripción	Muy Bajo <	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto >
pH	3.50	4.00	4.20	5.50	5.50
C orgánico%	0.80	1.20	1.50	2.50	2.50
Total N	0.08	0.12	0.15	0.25	0.25
Total P ppm	120	200	250	400	400
P disponible ppm	8	15	20	25	25
K intercambiable cmol/Kg	0.8	0.20	0.25	0.30	0.30
Mg intercambiable cmol/Kg	0.08	0.20	0.25	0.30	0.30
CICE (capacidad de intercambio catiónico) cmol/Kg	6	12	15	18	18
Respuesta al fertilizante	Definitiva	Probable	Posible	Posible	NO

Fuente: Goh Kah Joo, 1997

#### 4.4. DATOS DE LLUVIA PARA EL LUGAR DE MUESTREO

A continuación en la tabla 2, se presenta el consolidado de lluvias correspondiente al año 2015:

**Tabla 2.** Promedio lluvia en mm mes.

<b>MES</b>	<b>Promedio de lluvias mm/mes</b>
Enero	117
Febrero	220
Marzo	265
Abril	422
Mayo	586
Junio	89
Julio	252
Agosto	63
Septiembre	622
Octubre	477
Noviembre	302
Diciembre	12
<b>TOTAL</b>	<b>3.427</b>

Fuente: Lluvias. Informe de producción. 2015

#### 4.5. NECESIDADES HÍDRICAS DE UN CULTIVO DE PALMA AFRICANA

La cantidad de agua que la palma necesita para su normal crecimiento, conocido como evapotranspiración, ETP, se encuentra relacionada en la tabla 3 teniendo en cuenta cada mes del año:

**Tabla 3.** Evapotranspiración mes a mes para un cultivo de palma, expresada en mm.

<b>MES</b>	<b>ETP mm/mes</b>
Enero	151,40
Febrero	151,00
Marzo	182,00
Abril	172,30
Mayo	157,40
Junio	150,90
Julio	163,90
Agosto	157,30
Septiembre	139,80
Octubre	133,80
Noviembre	124,30
Diciembre	137,70
<b>TOTAL</b>	<b>1.821,80</b>

Fuente: (Pabón, 1985, p. 38)

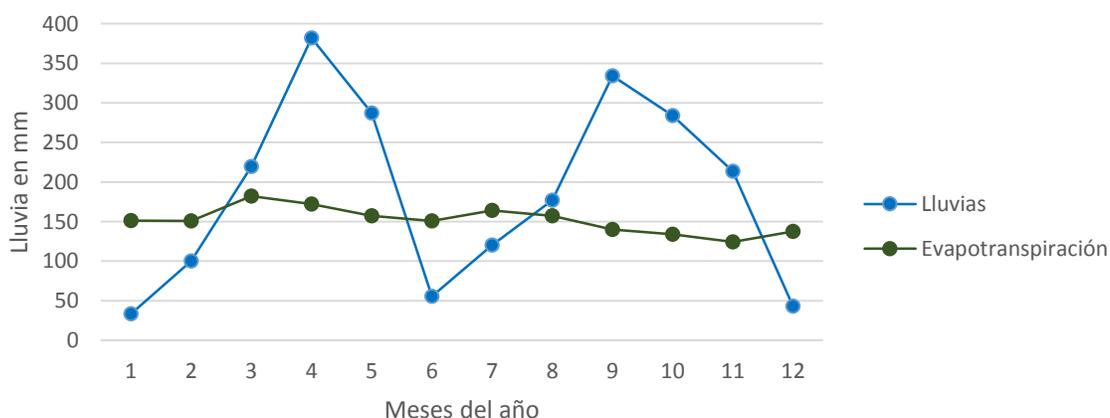
#### 4.6. BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE PALMA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Teniendo en cuenta la información de la zona, se procede a realizar una comparación de la necesidad hídrica del cultivo de Palma Africana con respecto a la disponibilidad real de la misma por la lluvia, expresada en milímetros (mm). Esta comparación incluye datos desde el año 2012 hasta el 2015, por lo que se pueden apreciar los cambios de los periodos de mayor y menor presencia de lluvias en el área de estudio.

Los datos colectados demuestran un aumento comparativo del año 2012 con respecto al 2013 del 5%, para los años 2013 y 2014 de un 16%, los años 2014 y 2015 del 38% y con respecto al año inicial y final de la comparación; es decir, los años 2012 y 2015, dicho aumento alcanza el 51%, representando mayor presencia de lluvias en la zona objeto del estudio.

A continuación se grafica la información colectada:

**Gráfica 1.** Evapotranspiración de un cultivo de Palma Africana Vs lluvia disponible conglomerada



Fuente: conglomerado de lluvias Extractora Central años 2012, 2013, 2014 y 2015.

#### 4.7. CARACTERÍSTICAS PARA EL EFLUENTE DE APLICACIÓN

Dentro de los análisis de vertimientos se pueden encontrar diversos elementos orgánicos, del mismo modo, se encuentran presentes algunos metales pesados, que si bien estos los podemos encontrar en el suelo procedente del material geológico, son producto del desarrollo de algunas de las etapas para la extracción. Dentro de estas etapas podemos encontrar a la descarga de centrífugas la presencia de Plomo, producto de la utilización de empaques para la salida de sus boquillas, Cadmio y Mercurio producto de algunos análisis de laboratorio dentro de los cuales se destaca la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre otros.

En el suelo, sus concentraciones son generalmente bajas; sin embargo, esta situación cambia cuando debido a la adición al suelo de fertilizantes, estiércoles, lodos u otros residuos (dentro de los cuales podemos clasificar el vertimiento de la industria), sus niveles aumentan sustancialmente.

De acuerdo a De la Rosa<sup>3</sup>, una vez que alcanzan la zona de desarrollo radicular en los suelos, el problema que ocasiona la mayoría de los metales pesados es debido a que no se destruyen fácilmente, sino que se acumulan en el suelo siendo absorbidos por las plantas y, consiguientemente, incorporados a la cadena alimenticia.

**Tabla 4.** Máximas concentraciones en suelos de algunos metales pesados, propuesto para la Unión Europea.

<b>Elemento</b>	<b>Máxima concentración, mg/Kg</b>
Cadmio, Cd	1 – 3
Cobre, Cu	50 – 140
Mercurio, Hg	1 – 1,5
Níquel, Ni	30 – 75
Plomo, Pb	50 – 300
Zinc, Zn	150 – 300

Fuente: De La Rosa, 2008, p. 122

---

<sup>3</sup> DE LA ROSA, Diego. Evaluación agro - ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. 2008. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <https://books.google.com.co/books?id=M->

**Tabla 5.** Máximas concentraciones del vertimiento industrial en suelos para uso agrícola.

<b>Elemento</b>	<b>Máxima concentración, mg/L</b>
Cadmio, Cd	0,01
Cobre, Cu	1,0
Mercurio, Hg	0,002
Níquel, Ni	0,2
Plomo, Pb	5,0
Zinc, Zn	3,0

Fuente: Sarmiento, 2014

La contaminación del suelo es considerado uno de los principales problemas que padecen las tierras agrícolas; de este modo, la contaminación se puede presentar de una forma muy localizada (contaminación puntual), esta es producida casi siempre por residuos industriales o urbanos sin tratar, o de una forma más extensa (contaminación difusa) la cual se produce casi exclusivamente por el uso agrícola.

De acuerdo a Almorox, López y Rafaelli<sup>4</sup>, la introducción de agentes contaminantes en el suelo puede tener como resultado la pérdida de algunas de las funciones del mismo, causando también la posterior contaminación de las aguas. Concentraciones elevadas de agentes contaminantes entraña un gran número de consecuencias negativas para la cadena alimentaria y para la sostenibilidad de los recursos naturales y ecosistemas.

---

<sup>4</sup> ALMOROX, A.; LÓPEZ, F. y RAFAELLI, S. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. 2010. Recuperado el 09 de julio de 2015 de [https://books.google.com.co/books?id=bSpiNY\\_nwOIC&pg=PA153&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc\\_4JdLfggT7qq\\_QCA&ved=0CEYQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=bSpiNY_nwOIC&pg=PA153&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc_4JdLfggT7qq_QCA&ved=0CEYQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false)

## 5. METODOLOGÍA

Se realizan las aplicaciones a los lotes con una frecuencia semanal para cada uno de los mismos; una vez es realizada la aplicación, se procede recolectar la muestra a los dos días siguientes. A diferencia de la primera aplicación, ya que la precipitación presentada después de la aplicación fue superior a 100 mm y el día correspondiente a la toma de la muestra se presenta nuevamente lluvia, así mismo se tienen en cuenta algunas observaciones de mayor relevancia, relacionadas en la tabla 6:

**Tabla 6.** Referencia testigo, aplicaciones y toma de muestras.

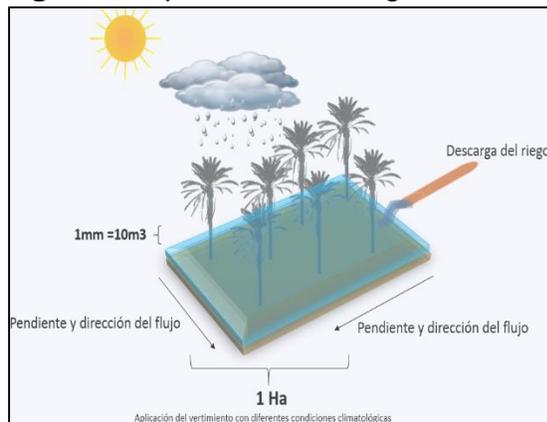
Día	Lluvia		Cantidad	Aplicación		Muestreo		Observaciones
	SI	NO		SI	NO	SI	NO	
28/09/15		X	0	X		X		Testigos 1 y 2 1° Aplicación lotes 1 y 2
29/09/15	X		112		X		X	
30/09/15	X		3		X		X	
01/10/15		X	0		X	X		1° Muestra lotes 1 y 2
02/10/15		X	0		X		X	
03/10/15	X		3		X		X	
04/10/15		X	0		X		X	
05/10/15		X	0	X			X	2° Aplicación lotes 1 y 2
06/10/15	X		12		X		X	
07/10/15	X		3		X	X		2° Muestra lotes 1 y 2
08/10/15	X		63		X		X	
09/10/15	X		5		X		X	
10/10/15		X	0		X		X	
11/10/15	X		15		X		X	
12/10/15	X		46		X		X	
13/10/15	X		48		X		X	
14/10/15		X	0	X			X	3° Aplicación lotes 1 y 2
15/10/15		X	0		X		X	
16/10/15	X		2		X	X		3° Muestreo lotes 1 y 2
17/10/15	X		7		X		X	
18/10/15		X	0		X		X	
19/10/15		X	0		X		X	
20/10/15	X		142		X		X	
21/10/15		X	0		X		X	
22/10/15		X	0	X			X	4° Aplicación lotes 1 y 2
23/10/15		X	0		X		X	
24/10/15	X		28		X	X		4° Muestreo lotes 1 y 2

25/10/15	X		45		X		X	
26/10/15		X	0		X		X	
27/10/15	X		1		X		X	
28/10/15		X	0		X		X	
29/10/15	X		51	X			X	5° Aplicación lotes 1 y 2
30/10/15	X		6		X		X	
31/10/15		X	0		X	X		5° Muestreo lotes 1 y 2
01/11/15		X	0		X		X	
02/11/15	X		48		X		X	
03/11/15		X	0		X		X	
04/11/15	X		1		X		X	
05/11/15	X		102	X			X	6° Aplicación lotes 1 y 2
06/11/15		X	0		X		X	
07/11/15	X		17		X	X		6° Muestreo lotes 1 y 2

Fuente: Autor July Buitrago.

De acuerdo Sepúlveda & Trejo<sup>5</sup>, la frecuencia de las aplicaciones y la toma de las muestras estuvieron dadas por la capacidad económica la cual permitió establecer una muestra inicial (testigo) para cada uno de los lotes, así como las seis repeticiones en las aplicaciones para cada uno de ellos.

**Figura 2.** Aplicación del riego en lotes.



Fuente: Autor July Buitrago.

<sup>5</sup> SEPULVEDA, T.; TREJO, J. & DE LA ROSA, D. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestro y alternativas para su remediación. (Ilustrada ed.). México. 2005. Recuperado el 15 de enero de 2016, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología: <https://books.google.com.co/books?id=A50ITx37ScsC>

## 5.1. TOMA DE MUESTRAS.

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

**Figura 3.** Geo-referenciación toma de Sub-muestras para muestra Lote 1.



Fuente: Google earth

**Figura 4.** Geo-referenciación toma de Sub-muestras para muestra Lote 2.



Fuente: Google earth

Las muestras tomadas son rotuladas y enviadas a los laboratorios: Laboratorio Químico de suelos y al Laboratorio químico de consultas industriales a fin de conocer los resultados para el análisis y seguimiento de los siguientes parámetros: pH, % Carbono (C), Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Boro (B), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Azufre (S), Conductividad Eléctrica (C.E.), Nitrógeno (N), Plomo (Pb) y Cadmio(Cd).

**Figura 5.** Muestra rotulada y empaqueta para envío a laboratorio.



Fuente: Autor July Buitrago.

## 5.2. APLICACIONES EN LOS LOTES

Las aplicaciones se realizan teniendo en cuenta las necesidades hídricas de la palma, correspondientes a cada mes; las mismas se logran gracias al aforo del caudal que llega hasta los lotes de muestreo, dando como resultado 2,07 L/seg. De esta forma, el caudal para de aplicación para cada uno de los meses con los respectivos tiempos se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 1: } \frac{(\text{mm evapotranspiración mes})}{(\text{días del mes})} = \text{mm/día}$$

$$\text{Ecuación 2: } \frac{(\text{mm evapotranspiración día}) * (10\text{m}^3)}{(1 \text{ mm})} = \text{m}^3$$

$$\text{Ecuación 3: } \frac{(\text{m}^3) * (1 \text{ hora})}{(7,45 \text{ m}^3)} = \text{Hora (tiempo a aplicar)}$$

**Tabla 7.** Aplicaciones diarias.

<b>Mes</b>	<b>Caudal aplicado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>
Septiembre	46,6	6,25
Octubre	44,6	5,98
Noviembre	41,4	5,55

Fuente: Autor July Buitrago

Estas aplicaciones se realizan en una extensión aproximada de una hectárea.

Con la información colectada se implementó un análisis comparativo entre las diferentes aplicaciones para las variables cuantitativas con el propósito de encontrar efectos químicos en el suelo; las herramientas estadísticas fueron: un análisis de varianza, Prueba de Tukey para comparación de promedios y Prueba de correlación de Pearson.

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

### 6.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL VERTIMIENTO EN LA APLICACIÓN.

De acuerdo a la caracterización físico – química del vertimiento para la aplicación en los lotes, los resultados obtenidos se encuentran consignados en la tabla 9.

**Tabla 8.** Resultado análisis de vertimientos.

Parámetro	Rango
pH	7,73
Temperatura (°C)	32,8
Conductividad (mS/cm)	7,64
Sólidos sedimentables (mL/L)	<0,1
DBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	253
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	1.753
SST(mg/L)	467
Grasas y aceites (mg/L)	<10
Acidez total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	<5
Alcalinidad total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	2.730
Tensoactivos (mg/L MBAS)	<0,2
Nitrógeno amoniacal (mg/L N-NH <sub>3</sub> )	79
Nitrógeno total (mg/L N)	515,2
Fósforo total (mg/L P)	12,1
Cadmio (mg/L Cd)	<0,033
Plomo (mg/L Pb)	<0,21
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	1.205
Dureza cálcica(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	385
Cloruros (mg/L Cl <sup>-</sup> )	902
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> )	13,75
Ortofosfatos (mg/L P)	4,6
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> -N/L)	1,6
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> -N/L)	<0,005
Arsénico (µg As /L)	<0,64
Cinc total (mg Zn/L)	0,0764
Níquel total (mg Ni/L)	0,030

Fuente: análisis de aguas residuales correspondientes al pico alto de cosecha 2015. Extractora Central<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Los análisis se realizaron en el laboratorio certificado del CEAIM - UIS

Según la caracterización físico-química realizada por el laboratorio<sup>7</sup>, la característica del agua de vertimiento corresponde a una clasificación alcalina ya que el rango medido de pH corresponde a 7,73. El valor reportado para conductividad es de 7,64 mS/cm, lo que la convierte en un agua muy dura. La carga orgánica expresada en términos de DQO (Demanda Química de Oxígeno), corresponde a 1.753 mg/LO<sub>2</sub> clasificada como una concentración fuerte de acuerdo a la composición típica de un agua residual bruta, que para efectos del estudio hace referencia al sector palmero productivo.

## 6.2. CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SUELO.

La identificación de la textura para cada uno de los lotes corresponde: para el lote N°1 un suelo arenoso – franco con una composición del 86% arena, 12% limo y 2% arcilla; mientras el lote N°2 un suelo de textura arenosa con: 94% arena, 4% limo y 2% arcilla<sup>8</sup>.

La relación de algunos macro y micronutrientes, así como la presencia de otros elementos se encuentra dada por la tabla 10:

**Tabla 9.** Resultados análisis de laboratorio a las muestras testigo de los lotes 1 y 2

Composición	Resultado Lote N°1	Resultado Lote N°2
pH	6,20	4,60
MO (%)	1,36	1,29
N (mg N/Kg)	0,33	0,55
P (ppm)	39,4	3,06
K (meq/100g)	0,05	0,01
Ca (meq/100g)	2,30	0,29
Mg (meq/100g)	0,71	0,03
S (ppm)	3,61	3,95

Fuente: resultados caracterización de suelos

pH: Los niveles registrados en este parámetro para los dos lotes corresponden a un suelo ácido; según la clasificación de la tabla N°1. La clasificación completa estaría dada de la siguiente manera: Lote N°1, suelo ligeramente ácido y lote N°2, suelo muy fuertemente ácido.

MO (materia orgánica): por la ubicación de los lotes testigo; el clima correspondiente a la zona de muestreo hace referencia a una zona cálida, por lo

<sup>7</sup> Los resultados corresponden al laboratorio CEIAM – UIS, caracterización del vertimiento

<sup>8</sup> Datos tomados del laboratorio químico de suelos de la UIS, caracterización muestras de suelos

anterior y teniendo en cuenta el contenido de materia orgánica expresada en %, se trata de un contenido bajo < 2%.

N (Nitrógeno): de acuerdo a las necesidades de la palma Africana, los rangos obtenidos en el muestreo inicial corresponden a las demandas de la planta (0,1 – 0,4 %).

P (Fósforo): de acuerdo a los análisis reportados, el rango P para el lote N°1 corresponde a un rango óptimo, mientras que para el lote N°2 los resultados hacen referencia a un rango bajo.

K (Potasio): teniendo en cuenta las necesidades nutricionales de la palma, los rangos para este parámetro se encuentran por debajo, para el lote N°1 en un 90% y para el lote N°2 un 98%, teniendo en cuenta los rangos de referencia 0,5 – 0,8 cmol/L.

Ca (Calcio): la deficiencia de este elemento está dada para cada uno de los lotes con 61% y 95%, respectivamente; el rango óptimo de este parámetro se encuentra entre 6 – 15 cmol/L.

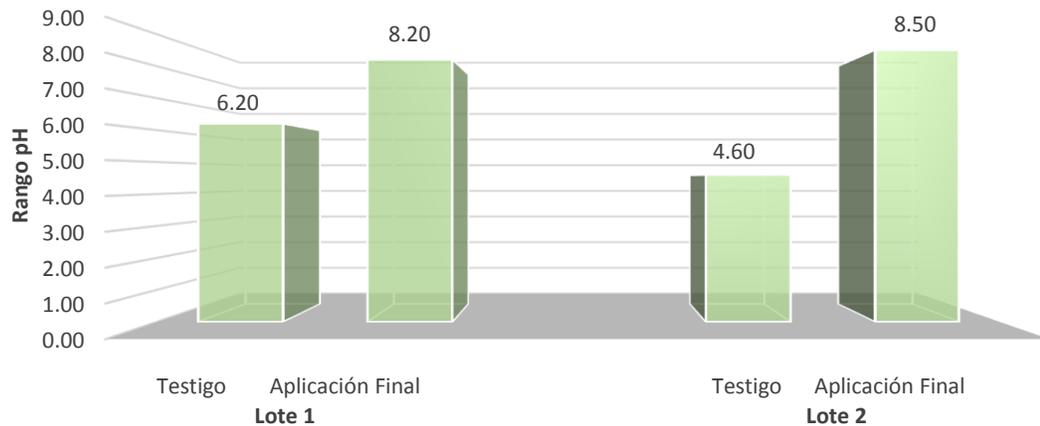
Mg (Magnesio): existe una diferencia del 76% y el 99% respectivamente para los lotes 1 y 2, su rango debería considerarse entre 3 – 6 cmol/L.

S (azufre): los rangos en los que se debe encontrar este elemento corresponde entre 20 – 50 mg/L, de esta manera las deficiencias están dadas en el 81% y el 80% para los lotes N°1 y N°2 proporcionalmente.

### 6.3. DATOS DESPUÉS DE LAS APLICACIONES.

De acuerdo a los datos obtenidos en los testigos (tabla 11), las características del suelo hacen referencia a un medio ácido, sin embargo, este comportamiento cambia una vez se han finalizado las aplicaciones del vertimiento, la variación se encuentra dada a continuación:

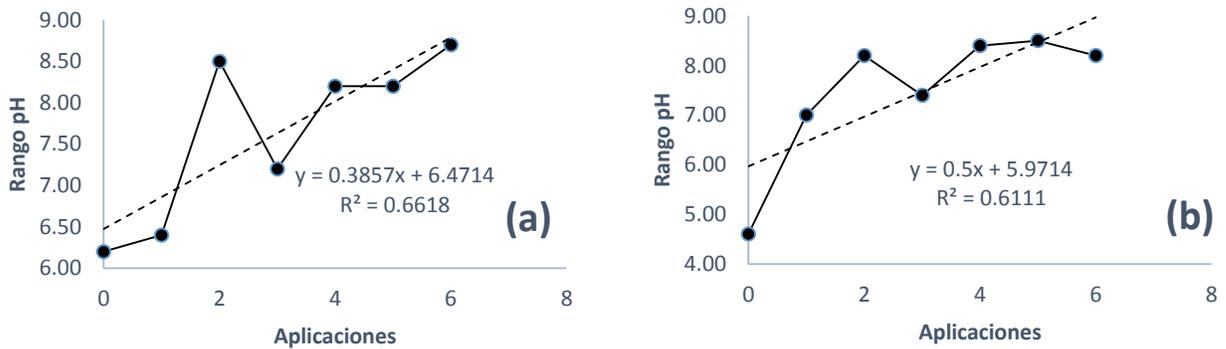
**Gráfica 2.** Comparación de los niveles de pH en la muestra testigo y la aplicación final del vertimiento en los lotes N° 1 y N° 2



Fuente: Autor July Buitrago.

Durante las aplicaciones se observó que el valor reportado para pH tendía al aumento; en la última aplicación el cambio con respecto a la muestra testigo para el lote N°1 varió a un suelo moderadamente alcalino y para el lote N°2 a un suelo fuertemente alcalino.

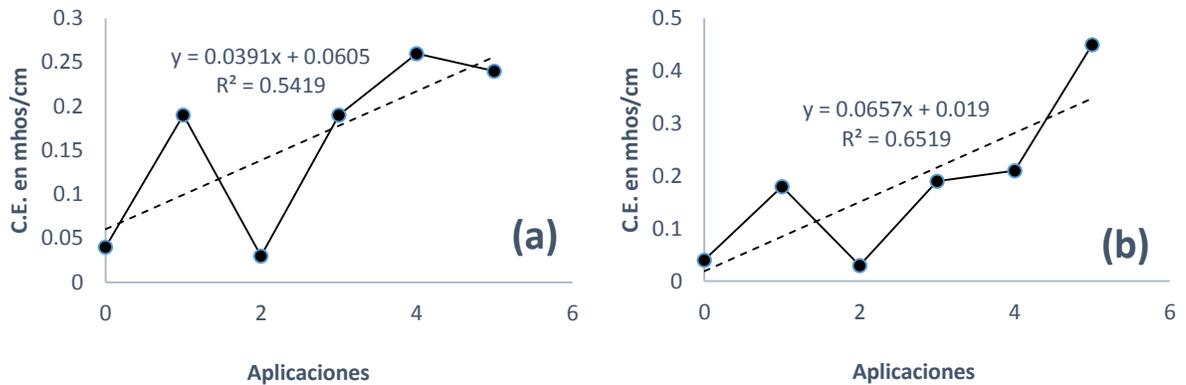
**Gráfica 3.** Línea de tendencia con respecto a la variación del pH. (a) Lote N°1 (b) Lote N°2



Fuente: Autor July Buitrago

La relación entre la tendencia hacia la basicidad de un suelo y la conductividad eléctrica es proporcional, por ello cuando el pH en el suelo aumenta la conductividad eléctrica también. El evento es evidenciado en la gráfica 7.

**Gráfica 4.** Línea de tendencia con respecto a la variación de la conductividad eléctrica (C.E.) (a) Lote N°1 (b) Lote N°2

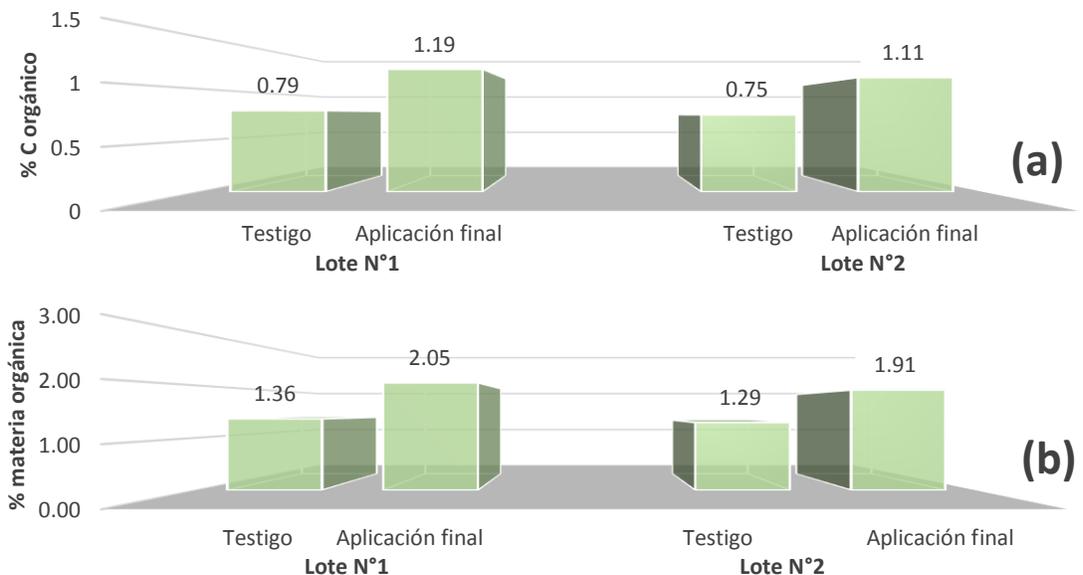


Fuente: Autor July Buitrago

La tendencia en el aumento del pH al igual que la CE está dada por el aporte de sales solubles en forma de cationes como:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , asociados con los aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

La conductividad eléctrica registrada para el Lote N°1, tiene una influencia sobre el cultivo inapreciable, mientras que el lote N°2 su influencia es ligera solo afectando a los cultivos muy sensibles.

**Gráfica 5.** Relación % carbono orgánico con % de materia orgánica para el testigo y aplicación final de los lotes 1 y 2. (a) %C y (b) %MO



Fuente: Autor July Buitrago

Teniendo en cuenta los datos iniciales en los testigos, el valor correspondiente al % MO corresponde a un nivel bajo, sin embargo en los resultados de la última aplicación la tendencia del parámetro está dada al aumento; de esta manera, el lote N°1 presentó un aumento en el % de MO a medio y para el lote N°2 un valor muy cercano al mismo.

**Tabla 10.** Variables de respuesta a las aplicaciones del vertimiento para el %C y % MO de los lotes 1 y 2.

N° Aplicación	Elemento (%)			
	Lote N°1		Lote N°2	
	C	MO	C	MO
0	0,79	1,36	0,75	1,29
1	0,36	0,62	0,68	1,17
2	0,38	0,66	0,51	0,88
3	0,32	0,55	0,62	1,07
4	0,61	1,05	0,72	1,24
5	1,19	2,05	1,11	1,91

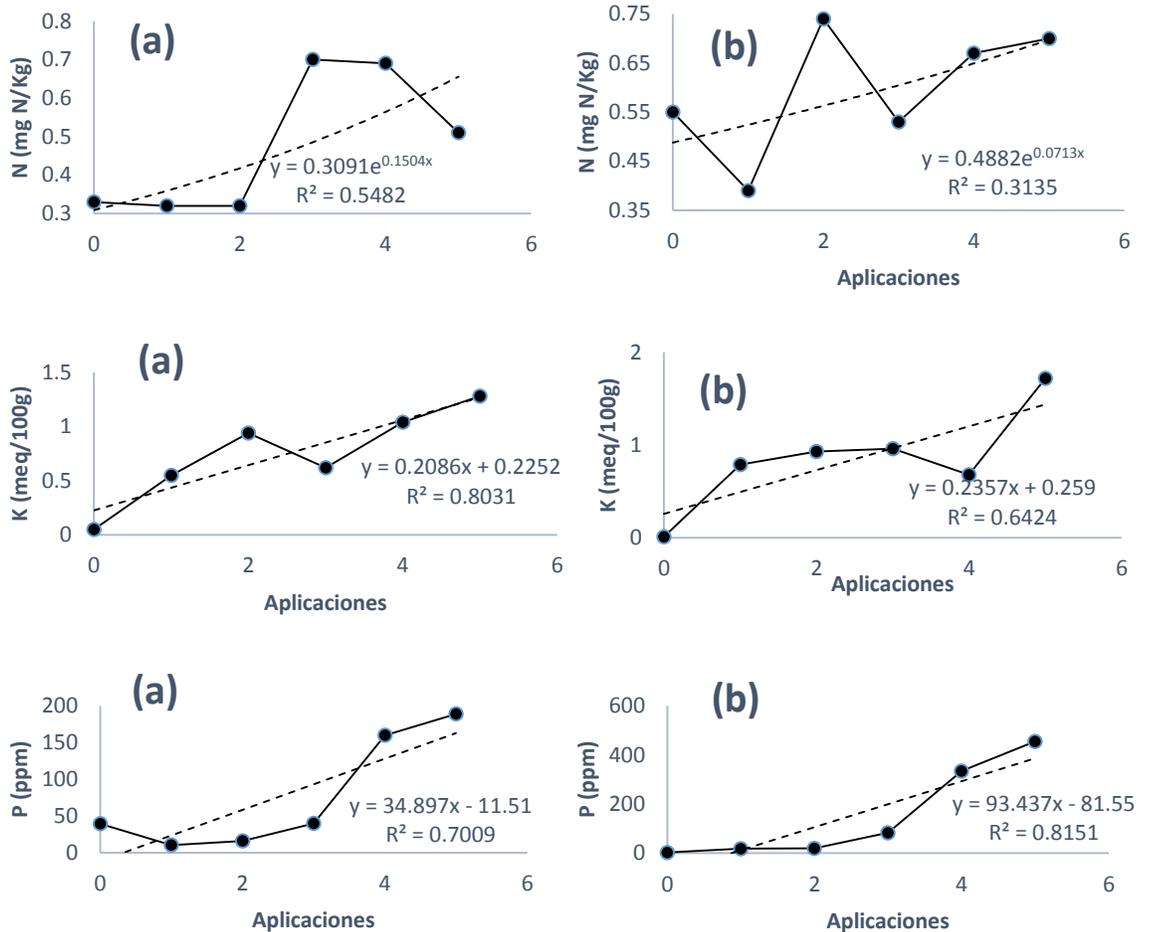
Fuente: resultados caracterización de suelos

#### 6.4. RESPUESTA DE LOS MACRONUTRIENTES.

La variación en los resultados para los elementos N, P y K, tendieron al aumento con respecto a los datos obtenidos en la muestra testigo; sin embargo durante las diferentes aplicaciones, las fluctuaciones en dichas variaciones se hicieron evidentes para el caso del Nitrógeno. El evento se presentó debido a la dinámica en su ciclo natural, teniendo en cuenta la textura en el suelo, el promedio en la estimación de la mineralización anual del N puede alcanzar 4,0 – 6,0% para suelos arenoso-francos y arenosos, un promedio mayor con respecto a las diferentes texturas.

Las dinámicas de las tendencias están dadas en la gráfica 9.

**Gráfica 6.** Tendencias de los macronutrientes (a) Lote N°1 (b) Lote N°2



Fuente: Autor July Buitrago

Como se puede apreciar en la gráfica 9, el valor de  $R^2$  para los macronutrientes P y K se encontraron por encima del límite de referencia ( $R^2 \geq 0,5$ ). El N como se mencionó anteriormente, debido a la textura del suelo es muy dinámico de acuerdo a su ciclo natural, en especial para el Lote N°2 el cual compromete una textura arenosa.

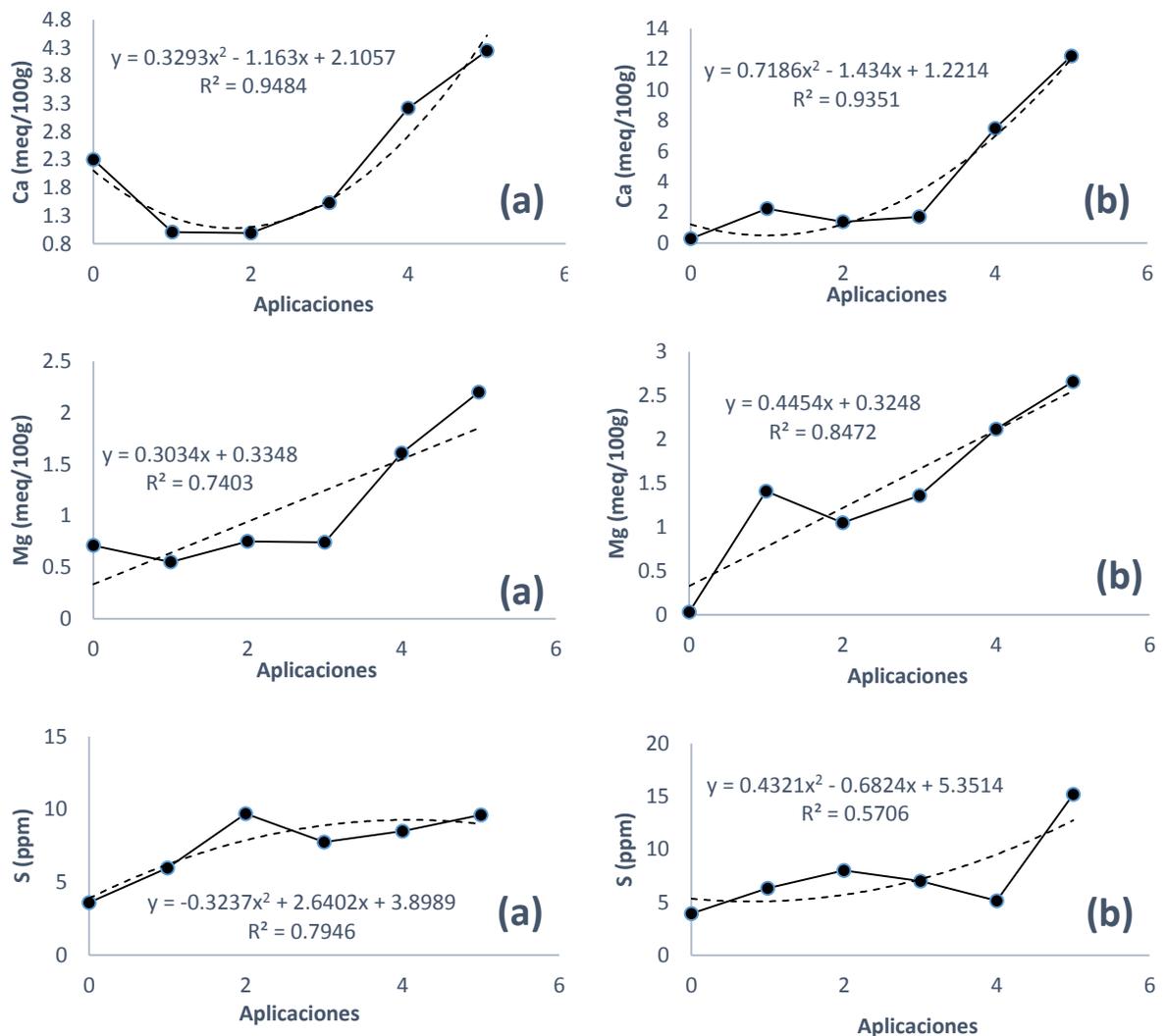
Los valores para P en el lote N°1 se mantuvieron muy altos antes y después de las aplicaciones, para el lote N°2 el comportamiento varió de muy bajo a muy alto después de la última aplicación.

Los valores de K en las muestras testigo correspondieron a niveles muy bajos, después de las aplicaciones, los resultados señalaron valores altos y muy altos respectivamente para cada uno de los lotes.

### 6.5. RESPUESTA A LOS NUTRIENTES SECUNDARIOS.

Teniendo en cuenta las tendencias en los resultados de los macronutrientes, el comportamiento de los nutrientes secundarios al finalizar las aplicaciones fue muy similar. Los aumentos se pueden observar en la gráfica 10.

**Gráfica 7.** Tendencias de los micronutrientes para los lotes 1 y 2



Fuente: Autor July Buitrago

Los valores iniciales de Ca para las muestras testigo, se encuentran en el rango bajo, una vez finalizadas las aplicaciones, los valores reportados corresponden a un rango medio para el lote N°1 y un rango óptimo para el lote N°2.

En las muestras testigo, el rango correspondiente a Mg se encuentra en un nivel bajo para los dos lotes, después de las aplicaciones el valor final corresponde a un nivel medio para los mismos.

El dato reportado para S se mantuvo bajo antes y después de la aplicación en el lote N°1, para el lote N°2 este rango varió de bajo a medio.

#### 6.6. RESPUESTA A LOS MICRONUTRIENTES.

Durante las diferentes aplicaciones las variaciones se hicieron evidentes en todos los elementos, las proporciones iniciales Vs las finales siempre tendieron al aumento. El número de la aplicación con respecto al valor registrado se encuentra reportado en la tabla 11.

**Tabla 11.** Valores registrados para los micronutrientes bajo las diferentes aplicaciones en cada uno de los lotes.

N° Aplicación	Elemento (ppm)									
	B		Fe		Mn		Cu		Zn	
	Lotes									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0,13	0,15	2,28	80,7	0,32	0,06	0,27	0,25	0,82	0,14
1	0,21	0,5	0,04	0,04	0,16	0,32	0,19	0,23	0,37	0,73
2	0,42	0,47	0,04	0,04	0,32	0,34	0,21	0,33	0,49	0,53
3	0,42	0,43	2,88	26,6	0,3	0,18	0,29	0,32	0,65	0,85
4	0,96	0,77	9,56	6,44	0,78	0,76	0,34	0,27	0,56	1
5	1	1,22	15,3	5,48	0,82	3,32	0,47	0,64	1,06	1,4

Fuente: Autor July Buitrago – conglomerado resultados de laboratorio.

El B en las muestras testigo se reporta como un valor bajo para cada uno de los lotes, al finalizar la aplicación el lote N°1 muestra un rango óptimo, mientras el N°2 un rango alto.

El rango inicial de Fe en el lote N°1 corresponde a un nivel bajo y para el lote N°2 alto, luego de la última aplicación la variación se da: para el 1 como un rango óptimo mientras que el 2 un rango medio.

Los valores de Mn a pesar de presentar una variación, se mantuvieron en su nivel bajo antes y después de las aplicaciones.

Cu para el lote N°1 se mantiene en su rango bajo antes y después de las aplicaciones a pesar de las variaciones reportadas, el lote N°2 inicia con un rango bajo en la muestra testigo y varía a un rango medio después de las aplicaciones. A pesar de las variaciones observadas en el Zn su nivel se mantuvo bajo antes y después de las aplicaciones.

#### 6.7. RESPUESTA A LOS METALES PESADOS.

Dentro de los metales pesados medidos se determinaron Cd y Pb, los mismos presentaron un valor constante antes y después de las aplicaciones para los lotes N° 1 y 2, encontrándose por debajo de los límites de detección medidos en el laboratorio; de igual forma en la caracterización de vertimientos, se evidencian los mismos rangos bajos de detección a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas residuales en un rango menor en proporción al medido en el suelo.

Las aplicaciones se realizaron en los meses de septiembre, octubre y noviembre, en los cuales la precipitación presentada en la zona se encontraba sobre los niveles de evapotranspiración para los cultivos de palma sobre los que se realizaron los ensayos; sin embargo, las cantidades aplicadas siempre obedecieron a la demanda diaria del cultivo de palma, por ello las variaciones en el comportamiento de algunos de sus elementos.

## 7. CONCLUSIONES

Desde el inicio del estudio se plantea como hipótesis un comportamiento diferente entre los lotes teniendo en cuenta su consistencia textural, de esta forma, las variables de respuesta en relación a las aplicaciones tuvo el comportamiento esperado mostrando mayor retención de nutrientes y sales en el lote 1 con respecto al 2.

Con las distintas aplicaciones, el comportamiento de los diferentes parámetros evaluados tendió al aumento para cada uno de los dos lotes, de acuerdo a su textura inicial, el lote que presentó mejor respuesta de estabilización a dichos parámetros fue el lote N°1 con respecto al N°2, esto estuvo precedido por los porcentajes elevados de arena (superior al 90% para el lote N°2) lo que dificultó la retención de nutrientes.

En la mayoría de las aplicaciones las variables de respuesta fueron más favorables para el lote 1 con respecto al 2. El evento se puede evidenciar con los  $R^2$  mayores respectivamente entre los lotes; de igual forma las funciones lineales dieron las mejores respuestas, seguidas por las logarítmicas, polinómicas de orden 2 y la exponencial para el caso de los grandes márgenes registrados para el Nitrógeno por su dinámica natural.

La solubilidad de las sales y la precipitación presente en la zona, evitará la salinización de los suelos (en los primeros centímetros de la superficie) y la posible contaminación del mismo por la acumulación de nutrientes.

Los bajos rangos iniciales evaluados para los nutrientes tendieron al aumento con un rango que varió entre bajo, medio, óptimo y alto; de acuerdo a las respuestas evaluadas dichos rangos se pueden llevar al nivel óptimo necesario con mayores aplicaciones del vertimiento y la regulación de la dosificación teniendo en cuenta los parámetros climatológicos de la zona.

No existe una certeza absoluta de los datos debido a las variabilidades presentadas en el comportamiento de los suelos por factores externos como la climatología, los cuales por su condición ambiental no pudieron ser controlados.

Los datos obtenidos para los metales Cd, Pb Cu y Zn, se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Unión Europea y las máximas concentraciones para un vertimiento industrial en suelos de uso agrícola.

## **8. RECOMENDACIONES**

Procurar por establecer una dosificación óptima en las aplicaciones a fin de mantener de manera más estable las variaciones en el pH.

Realizar posteriores estudios de movilidad de solutos en el suelo, a fuentes de agua subterráneas y superficiales cercanas.

Favorecer a dilución del vertimiento para evitar posible contaminación por el alto valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Promover la aplicación de estos vertimientos en los meses de enero, febrero, junio, julio y diciembre; con posibilidades en los meses de marzo y agosto, teniendo en cuenta el conglomerado de lluvias de la zona.

Realizar las aplicaciones del vertimiento solo en temporada de sol, debido a las altas precipitaciones de la zona.

Las variables de respuesta de los nutrientes solo fueron evaluadas para los tipos de textura en los suelos descritos para el estudio; aún falta verificar el comportamiento de los mismos en los otros tipos de texturas restantes.

Establecer una dosificación óptima en las aplicaciones a fin de mantener de manera más estable las variaciones en el pH, evitando cambios significativos en el suelo.

Realizar estudios posteriores sobre el cambio de pH y su comportamiento en el suelo a partir del uso intensivo de los efluentes de palma.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALMOROX, A.; LÓPEZ, F. y RAFAELLI, S. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. 2010. Recuperado el 09 de julio de 2015 de [https://books.google.com.co/books?id=bSpiNY\\_nwOIC&pg=PA153&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc\\_4JdLfggT7qq\\_QCA&ved=0CEYQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=bSpiNY_nwOIC&pg=PA153&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc_4JdLfggT7qq_QCA&ved=0CEYQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false)
2. Andina Ingeniería Ltda. Plan de Manejo Ambiental. 2005. Extractora Central S.A.
3. DE LA ROSA, Diego. Evaluación agro - ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. 2008. Recuperado el 09 de julio de 2015 de [https://books.google.com.co/books?id=M-ED1W3t2BEC&pg=PA241&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc\\_4JdLfggT7qq\\_QCA&ved=0CDAQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=M-ED1W3t2BEC&pg=PA241&dq=modelos+de+simulacion+de+contaminantes+en+suelo&hl=es&sa=X&ei=6ACTVc_4JdLfggT7qq_QCA&ved=0CDAQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false)
4. HUDSON, Norman. Conservación del suelo. (Ilustrada ed.). Barcelona, España: Reverté S.A. 1982. 2006. Recuperado el 20 de enero de 2016 de [https://books.google.com.co/books?id=u137pQPxYGAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=u137pQPxYGAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
5. Lluvias. Informe diario de producción. 2015. Departamento de Gestión Ambiental. Extractora Central.
6. OWEN, Eric. Fertilización de la palma africana (*Elaeis Guineensis* Jacq.) en Colombia. 1992. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/344/344>
7. PABON, Hernando. Sistemas de riego en palma africana : eficiencia y costos. 1985. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/81>
8. THOMPSON, Louis., & TROEH, Frederick. Los suelos y su fertilidad. (Cuarta ed.). Barcelona: Reverte, 1988. 2002. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA368&dq=sodio+importancia+en+el+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjRpe2KoL7KAhXKuB4KHUEEBhwQ6AEIHzAB#v=onepage&q&f=false>
9. SARMIENTO, Luz. Resolución 1207 de 2014. 2014. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=59135>
10. SEPULVEDA, T.; TREJO, J. & DE LA ROSA, D. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestro y alternativas para su remediación. (Ilustrada ed.). México. 2005. Recuperado el 15 de enero de 2016, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología: <https://books.google.com.co/books?id=A50ITx37ScsC>
11. Soluciones Empresariales para la pobreza Rural. Manual Técnico de Palma Africana. 2009. Recuperado el 09 de julio de 2015 de <http://www.coapalmaecara.com/files/05%20Control%20Fitosanitario.pdf>

12. Zapata Hernández, R. D. Química de la acidez del suelo. Universidad Nacional de Colombia -sede Medellín. 2004. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de Biblioteca Digital: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Imagen de la toma de muestra de los testigos.



Fuente: Autor July Buitrago

**Anexo 2.** Imagen de la toma de muestras después de aplicaciones



Fuente: Autor July Buitrago

### Anexo 3. Imagen resultados conglomerados obtenidos

Lote	Aplicación	Repeticiones	pH	%C	P	Ca	Mg	Na	K	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CE	N	Pb	Cd
Testigo	Sin aplicación	T1R1	6,20	0,79	39,40	2,30	0,71	0,02	0,05	0,13	2,28	0,32	0,27	0,82	3,61	0,04	0,33	<6,58	<3,73
		T1R2	4,60	0,75	3,06	0,29	0,03	0,01	0,01	0,15	80,70	0,06	0,25	0,14	3,95	0,04	0,55	<6,58	<3,73
Lote1	Aplica1	A1R1	6,40	0,36	10,10	1,01	0,55	0,05	0,55	0,21	0,04	0,16	0,19	0,37	5,98	0,19	0,32	<6,58	<3,73
		A1R2	8,50	0,38	16,10	0,99	0,75	0,08	0,94	0,42	0,04	0,32	0,21	0,49	9,70	0,03	0,32	<6,58	<3,73
	Aplica2	A2R1	7,20	0,32	39,80	1,53	0,74	0,05	0,62	0,42	2,88	0,30	0,29	0,65	7,76	0,19	0,70	<6,58	<3,73
		A2R2	8,20	0,61	160,00	3,22	1,61	0,07	1,04	0,96	9,56	0,78	0,34	0,56	8,51	0,26	0,69	<6,58	<3,73
	Aplica3	A3R1	8,20	1,19	189,00	4,25	2,20	0,09	1,28	1,00	15,30	0,82	0,47	1,06	9,63	0,24	0,51	<6,58	<3,73
		A3R2	8,70	0,38	52,70	1,68	0,93	0,13	1,08	0,70	3,04	0,83	0,37	0,52	14,90	0,31	0,55	<6,58	<3,73
Lote2	Aplica1	A1R1	7,00	0,68	18,40	2,25	1,41	0,10	0,79	0,50	0,04	0,32	0,23	0,73	6,32	0,18	0,39	<6,58	<3,73
		A1R2	8,20	0,51	19,00	1,40	1,05	0,06	0,93	0,47	0,04	0,34	0,33	0,53	8,01	0,03	0,74	<6,58	<3,73
	Aplica2	A2R1	7,40	0,62	82,80	1,72	1,36	0,07	0,96	0,43	26,60	0,18	0,32	0,85	7,01	0,19	0,53	<6,58	<3,73
		A2R2	8,40	0,72	334,00	7,48	2,12	0,05	0,68	0,77	6,44	0,76	0,27	1,00	5,15	0,21	0,67	<6,58	<3,73
	Aplica3	A3R1	8,50	1,11	455,00	12,20	2,66	0,11	1,72	1,22	5,48	3,32	0,64	1,40	15,20	0,45	0,70	<6,58	<3,73
		A3R2	8,20	1,15	91,10	1,92	1,80	0,09	1,52	0,71	34,90	0,19	0,32	0,73	8,51	0,27	0,60	<6,58	<3,73

Fuente: Autor July Buitrago