



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 6 de Marzo de 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

ELIANA ANDREA MOSQUERA PÉREZ, con C.C. No. 1075270054

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado RESPUESTA DE UN SUELO OXISOL A LA DOSIFICACIÓN DE RIEGO CON EFLUENTE AGROINDUSTRIAL DE PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*)

presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de

INGENIERA AGRÍCOLA;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Elionor Andrea Mosquera P. EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Elionor A. Mosquera Pérez

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Respuesta de un Suelo Oxisol a la Dosificación de Riego con Efluente Agroindustrial de Palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mosquera Pérez	Eliana Andrea

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Agrícola

FACULTAD: Facultad de Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Programa de Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 108

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_ _ Fotografías_ _ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_ _ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_ _ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_ _

Vigilada mieducación



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Efluente Agroindustrial de palma	Farming industry effluent from Palma
2. Análisis Químico del Suelo	Chemical analysis of soil
3. Agua de Riego	Irrigation water
4. Recuperación de Suelos	Soil recovery

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Unipalma S.A es una de las empresas colombianas con la mayor producción de aceite de palma, alcanzando las 600 toneladas diarias de producto, sin embargo, enfrenta un desafío por la búsqueda del aprovechamiento de sus lodos ya que diariamente se genera 1 m³ de efluente por tonelada de producto procesado en la planta extractora de aceite. Con el propósito de dar un uso adecuado al efluente y a su vez evitar los efectos adversos al suelo como procesos de acidificación, desbalance nutricional, entre otros; se llevó a cabo un diseño experimental ex – situ bajo condiciones controladas de dosis de riego con dilución de efluente aplicado a un suelo oxisol en el municipio de Cumaral del departamento del Meta. El montaje se conformó en 3 bloques con aplicación inicial de relaciones efluente: agua (1:1, 1:3 y 1:5) con 5 tratamientos (% de dilución) y 4 réplicas cada uno para un total de 52 unidades experimentales y un tiempo experimental de 28 días. Cada 7 días se repuso el déficit hídrico, mediante aplicación de riego con un porcentaje volumétrico de efluente diluido como tratamiento (0, 20, 40, 60 y 80%) y se hizo el seguimiento a la evolución del suelo cada 7 días mediante el análisis de pH, conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe), bases de cambio (Na, Ca, Mg, K), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Se hizo un ANOVA para determinar las diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), y se observó que por bloques no existieron diferencias significativas, pero el análisis entre tratamientos arrojó diferencias significativas en la CEe, Al, Ca, Mg y K. Finalmente estos resultados muestran, que el efluente previamente debe ser neutralizado antes de su aplicación al campo para evitar procesos degradativos del suelo.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Unipalma SA is one of the Colombian companies with the highest production of palm oil, reaching 600 tons of product per day, however, it faces a challenge due to the search for the use of its sludge since 1 m³ of effluent per ton is generated daily of product processed in the oil extraction plant. With the purpose of giving an adequate use to the effluent and in turn avoiding the adverse effects to the soil such as acidification processes, nutritional imbalance, among others; an ex - situ experimental design was carried out under controlled irrigation dose conditions with dilution of effluent applied to an oxisol soil in the municipality of Cumaral, department of Meta. The assembly was formed in 3 blocks with initial application of effluent ratios: water (1: 1, 1: 3 and 1: 5) with 5 treatments (% dilution) and 4 replicates each for a total of 52 experimental units and a experimental time of 28 days. Every 7 days the water deficit was replenished, by applying irrigation with a volumetric percentage of diluted effluent as treatment (0, 20, 40, 60 and 80%) and the evolution of the soil was monitored every 7 days through the analysis of pH, electrical conductivity of saturated soil extract (CEe), change bases (Na, Ca, Mg, K), Aluminum (Al), Iron (Fe) and Cationic Exchange Capacity (CIC). An ANOVA was made to determine the significant differences between treatments ($p \leq 0.05$), and it was observed that there were no significant differences by blocks, but the analysis between treatments showed significant differences in CE, Al, Ca, Mg and K. Finally, these results show that the effluent must previously be neutralized before its application to the field to avoid soil degradation processes.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Armando Torrente Trujillo

Firma:

Nombre Jurado:

Adia Brigitte Sanabria Fender

Firma:

Nombre Jurado:

Marlío Bedoya Cardoso

Firma:

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

RESPUESTA DE UN SUELO OXISOL A LA DOSIFICACIÓN DE RIEGO CON
EFLUENTE AGROINDUSTRIAL DE PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*)

ELIANA ANDREA MOSQUERA PÉREZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA – HUILA
2018

RESPUESTA DE UN SUELO OXISOLA A LA DOSIFICACIÓN DE RIEGO CON
EFLUENTE AGROINDUSTRIAL DE PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*)

ELIANA ANDRA MOSQUERA PÉREZ

CÓD: 20121109495

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniera Agrícola

Director de Tesis

PhD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

Doctor en Ciencia Agrarias

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRICOLA
NEIVA – HUILA
2018

Nota de aceptación:

Firma del Director de Tesis

PhD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

Firma Jurado

PhD. MARLIO BEDOYA CARDOSO

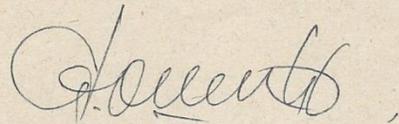
Firma Jurado

MSC. NADIA BRIGITTE SANABRIA MÉNDEZ

Neiva, _____ de _____ del _____

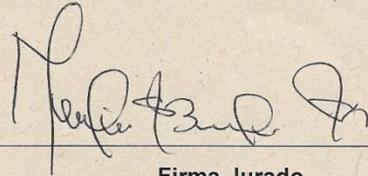
Nota de aceptación:

*El presente trabajo
de Grado ha sido
debidamente aprobado*



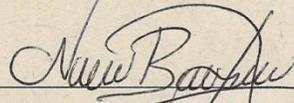
Firma del Director de Tesis

PhD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO



Firma Jurado

PhD. MARLIO BEDOYA CARDOSO



Firma Jurado

MSC. NADIA BRIGITTE SANABRIA MENDEZ

Neiva, (Día 06 , Mes Marzo , Año 2018)

Dedicatoria

“Eres lo que tu más profundo y vigoroso deseo es... Como es tu deseo, es tu voluntad. Como es tu voluntad, son tus actos. Como son tus actos, es tu destino”

...

Brihadaranyaka Upanishad IV. 4.5

Dedico esta tesis a mis padres por ser el pilar de todo lo que soy, por mi educación académica, y espiritual, por su apoyo incondicional, gracias a ellos y su acompañamiento todo esto fue posible. También agradezco de manera muy especial a mi novio quien estuvo en aquellos momentos que quise desfallecer, por sus palabras de aliento y por siempre estar en todo momento para mí. Finalmente, a mi director de tesis, quien sin él y sus conocimientos nada de esto hubiese sido posible

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como lo es la tesis de pregrado para optar tu primer título de muchos que vienen a futuro, es inevitable no agradecer a todas aquellas personas maravillosas e instituciones que estuvieron acompañando este proceso de formación profesional. Por ello aprovecho este espacio para expresar mis más sinceros agradecimientos.

Debo agradecer de manera muy especial al Doctor ARMANDO TORRENTE TRUJILLO, quien ha sido mi tutor durante mucho tiempo, quien me aceptó para realizar esta tesis, y quien ha compartido todo sus conocimientos y experiencias conmigo que fueron la clave de un excelente trabajo; gracias a él hoy puedo decir que soy una Ingeniera Agrícola con experiencia en el área de suelos y con un agrado hacia la investigación e innovación. Gracias profesor por su tiempo, por su paciencia, por haberme facilitado siempre los medios suficientes para desarrollar este sueño llamado grado. Por estos y muchos motivos más agradezco que usted haya sido mi maestro y mi guía.

Quiero también expresar mis más sinceros agradecimientos a mis padres HENRY MOSQUERA y ELSA LILIANA PERÈZ, quienes, con su apoyo, amor, y en especial mucha paciencia han estado en toda mi formación académica; ellos siempre me han motivado a que escale a otros horizontes, porque tengo todas las capacidades y lo más importante han confiado en mí siempre en que todo lo que me propongo. Es por esto y por muchos otros motivos que no tengo más palabras para expresar, y que me quedo corta para ello, pero lo que hoy puedo decir es gracias por todo lo brindado a lo largo de mi vida y que los quiero demasiado.

De igual modo agradecer a DANIEL FELIPTE TELLO TRUJILLO, mi novio, quien ha sido la persona que me ha acompañado en todo momento, me ha comprendido, y me ha dado palabras indicadas y de aliento para seguir siempre adelante. Con su amor, y paciencia ha sabido guiarme en nuestro camino, y hoy doy las gracias a él porque este triunfo no es solo mío. Gracias por siempre estar a mi lado y ser la persona que más ama y me acompaña en todo momento.

A la Empresa Unipalma S.A, quien fue la encargada de financiar el proyecto, para darles solución a sus problemas presentados.

Finalmente, a todos mis familiares y amigos quienes de alguno u otra manera han influenciado en mí para que esto fuera posible, a todos ellos gracias por su apoyo y compañía.

CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 JUSTIFICACIÓN.....	20
4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
5 MARCO DE REFERENCIA	24
5.1 SUELO OXISOL.....	24
5.2 LÍQUIDOS RESIDUALES (EFLUENTES)	24
5.3 DECRETO 1594 DE 1984 “NORMA DE VERTIMIENTOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS”.....	25
5.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
5.4.1 Análisis físico y químico del suelo	26
5.4.2 Análisis del efluente.....	29
6 METODOLOGÍA	30
6.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO	30
6.2 PARÁMETROS MEDIDOS EN LA INVESTIGACIÓN	31
6.2.1 Parámetros Físicos del Suelo.....	31
6.2.2 Parámetros Químicos del Suelo	31
6.3 APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS Y MEDICIONES.....	32
6.3.1 Montaje Experimental	32
6.3.2 Medición de la Humedad del Suelo y Condiciones Ambientales	35
6.3.3 Aplicación del Riego	37
7 RESULTADOS	40

7.1	ANÁLISIS DEL SUELO, EFLUENTE Y AGUA DE RIEGO	40
7.1.1	Análisis Físico del Suelo.....	40
7.1.2	Análisis Químico del Suelo	40
7.1.3	Análisis Químico del Efluente	41
7.1.4	Análisis Químico del Agua de Riego.....	42
7.2	EVALUACION DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL TIEMPO	43
7.2.1	Condiciones Suelo – Ambiente.....	43
7.2.2	Humedad del Suelo	44
7.3	ANÁLISIS QUÍMICO Y ESTADÍSTICO DEL SUELO CON APORTE DEL EFLUENTE DILUIDO.....	45
7.3.1	pH del Suelo	46
7.3.2	Conductividad Eléctrica (CE _e).....	48
7.3.3	Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	49
7.3.4	Aluminio (Al)	51
7.3.5	Hierro (Fe)	53
7.3.6	Calcio (Ca).....	54
7.3.7	Magnesio (Mg).....	56
7.3.8	Potasio (K).....	57
7.3.9	Sodio (Na)	58
7.3.10	Bases Totales del Suelo.....	59
7.4	CONDICIONES SUPERFICIALES DEL SUELO EN LOS DISTINTOS TRTAMIENTOS	60
8	CONCLUSIONES	63
9	RECOMENDACIONES.....	64
10	BIBLIOGRAFÍA.....	65
11	ANEXOS.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de mayor importancia en la evaluación de vertimientos. Decreto 1594 de 1984.....	23
Tabla 2. Parámetros medidos bajo decreto 1594 de 1984	25
Tabla 3. Parámetros a monitorear en los vertimientos para cada generador según la actividad industrial, comercial o de servicios que desarrolla	25
Tabla 4. Valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y no domésticas a cuerpos de agua continentales superficiales	26
Tabla 5. Análisis físico del suelo en las haciendas de la empresa Unipalma S.A.	27
Tabla 6. Análisis químico del suelo en las haciendas de la empresa Unipalma S.A	28
Tabla 7. Dosificación del efluente diluido en agua de riego	33
Tabla 8. Dosis inicial del efluente diluido	37
Tabla 9. Dosificación del riego en volumen (ml) por unidad experimental	37
Tabla 10. Análisis físico del suelo	40
Tabla 11. Análisis químico del suelo	41
Tabla 12. Análisis químico del efluente.....	41
Tabla 13. Análisis químico del agua de riego.....	43

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1. Temperatura ambiente, humedad relativa del aire y lámina evaporada del aire	44
Grafica 2. Humedad del suelo para tratamientos experimentales	45
Grafica 3. Cambios de pH en el suelo	47
Grafica 4. Cambio de la conductividad eléctrica en el suelo	49
Grafica 5. Comportamiento de la C.I.C en el suelo	50
Grafica 6. Comportamiento del Al en el suelo	52
Grafica 7. Comportamiento del Fe en el suelo	54
Grafica 8. Tendencia del Ca en el suelo.....	55
Grafica 9. Tendencia del Mg en el suelo	56
Grafica 10. Comportamiento del K en el suelo	58
Grafica 11. Tendencia del Na en el tiempo.....	59
Grafica 12. Tendencia de las bases totales en el suelo	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Unipalma S.A. en el Meta y Neiva	30
Figura 2. Distribución Experimental.....	34
Figura 3. Montaje a los 14 días	34
Figura 4. Montaje a los 21 días	34
Figura 5. Montaje a los 28 días	35
Figura 6. Equipo Multiparamétrico ProCheck y medición de humedades en el suelo.....	35
Figura 7. Medición de Tanque Evaporímetro.....	36
Figura 8. Determinación de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.....	36
Figura 9. Higrómetro y Termómetro	36
Figura 10. Efluente y agua de riego refrigerado	38
Figura 11. Dosificación de agua y efluente.....	38
Figura 12. Aplicación de riego a unidades experimentales	39
Figura 13. Suelos de bloque 1:1 para los tratamientos 1, 2 y 4.....	61
Figura 14. Suelos de bloque 1:3 para los tratamientos 1,2 ,3 y 4.....	61
Figura 15. Suelos de bloque 1:5 para los tratamientos 1, 2, 3 y 4.....	62
Figura 16. Suelo Testigo.....	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados emitidos por el Laboratorio AGRILAB con respecto al efluente (estudios previos)	69
Anexo 2. Análisis químico completo del suelo. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	70
Anexo 3. Análisis físico del suelo. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	71
Anexo 4. Análisis de la calidad del agua de riego. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	72
Anexo 5. Análisis químico del efluente. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	73
Anexo 6. Registro de Humedades Diarias del Suelo	74
Anexo 7. Análisis químico de la investigación 7 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	75
Anexo 8. Análisis químico de la investigación 14 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	75
Anexo 9. Análisis químico de la investigación 21 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	76
Anexo 10. Análisis químico de la investigación 28 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA	76
Anexo 11. Análisis estadístico descriptivo del pH.....	77

Anexo 12. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable pH, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	78
Anexo 13. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2,T3,T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable pH, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	79
Anexo 14. Análisis estadístico descriptivo del CE _e	80
Anexo 15. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CE _e , para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	81
Anexo 16. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CE _e , para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	82
Anexo 17. Análisis estadístico descriptivo del C.I.C	83
Anexo 18. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CIC, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	84
Anexo 19. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CIC, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	85
Anexo 20. Análisis estadístico descriptivo del AI.....	86
Anexo 21. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable AI, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	87

Anexo 22. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Al, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	88
Anexo 23. Análisis estadístico descriptivo del Fe	89
Anexo 24. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Fe, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	90
Anexo 25. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Fe, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	91
Anexo 26. Análisis estadístico descriptivo del Ca.....	92
Anexo 27. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Ca, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	93
Anexo 28. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Ca, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	94
Anexo 29. Análisis estadístico descriptivo del Mg	95
Anexo 30. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Mg, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	96
Anexo 31. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Mg, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	97

Anexo 32. Análisis estadístico descriptivo del K.....	98
Anexo 33. Tabla 35. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable K, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	99
Anexo 34. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable K, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	100
Anexo 35. Análisis estadístico descriptivo del Na.....	101
Anexo 36. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Na, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	102
Anexo 37. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2,T3,T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Na, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	103
Anexo 38. Análisis estadístico descriptivo de las Bases Totales del Suelo	104
Anexo 39. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Bases, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A	105
Anexo 40. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Bases, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A.....	106
Anexo 41. Socialización de la Investigación en la empresa Unipalma S.A	107
Anexo 42. Grupo de Ingenieros e investigadores Unipalma S.A y Universidad Surcolombiana	107

RESUMEN

Unipalma S.A es una de las empresas colombianas con la mayor producción de aceite de palma, alcanzando las 600 toneladas diarias de producto, sin embargo, enfrenta un desafío por la búsqueda del aprovechamiento de sus lodos ya que diariamente se genera 1 m³ de efluente por tonelada de producto procesado en la planta extractora de aceite. Con el propósito de dar un uso adecuado al efluente y a su vez evitar los efectos adversos al suelo como procesos de acidificación, desbalance nutricional, entre otros; se llevó a cabo un diseño experimental *ex – situ* bajo condiciones controladas de dosis de riego con dilución de efluente aplicado a un suelo oxisol en el municipio de Cumaral del departamento del Meta. El montaje se conformó en 3 bloques con aplicación inicial de relaciones efluente: agua (1:1, 1:3 y 1:5) con 5 tratamientos (% de dilución) y 4 réplicas cada uno para un total de 52 unidades experimentales y un tiempo experimental de 28 días. Cada 7 días se repuso el déficit hídrico, mediante aplicación de riego con un porcentaje volumétrico de efluente diluido como tratamiento (0, 20, 40, 60 y 80%) y se hizo el seguimiento a la evolución del suelo cada 7 días mediante el análisis de pH, conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CE_e), bases de cambio (Na, Ca, Mg, K), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Se hizo un ANOVA para determinar las diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), y se observó que por bloques no existieron diferencias significativas, pero el análisis entre tratamientos arrojó diferencias significativas en la CE_e, Al, Ca, Mg y K. Finalmente estos resultados muestran, que el efluente previamente debe ser neutralizado antes de su aplicación al campo para evitar procesos degradativos del suelo.

Palabras Claves: Efluente Agroindustrial de Palma, análisis químico del suelo, agua de riego, recuperación de suelos.

ABSTRACT

Unipalma SA is one of the Colombian companies with the highest production of palm oil, reaching 600 tons of product per day, however, it faces a challenge due to the search for the use of its sludge since 1 m³ of effluent per ton is generated daily of product processed in the oil extraction plant. With the purpose of giving an adequate use to the effluent and in turn avoiding the adverse effects to the soil such as acidification processes, nutritional imbalance, among others; an ex - situ experimental design was carried out under controlled irrigation dose conditions with dilution of effluent applied to an oxisol soil in the municipality of Cumaral, department of Meta. The assembly was formed in 3 blocks with initial application of effluent ratios: water (1: 1, 1: 3 and 1: 5) with 5 treatments (% dilution) and 4 replicates each for a total of 52 experimental units and a experimental time of 28 days. Every 7 days the water deficit was replenished, by applying irrigation with a volumetric percentage of diluted effluent as treatment (0, 20, 40, 60 and 80%) and the evolution of the soil was monitored every 7 days through the analysis of pH, electrical conductivity of saturated soil extract (CEe), change bases (Na, Ca, Mg, K), Aluminum (Al), Iron (Fe) and Cationic Exchange Capacity (CIC). An ANOVA was made to determine the significant differences between treatments ($p \leq 0.05$), and it was observed that there were no significant differences by blocks, but the analysis between treatments showed significant differences in CE, Al, Ca, Mg and K. Finally, these results show that the effluent must previously be neutralized before its application to the field to avoid soil degradation processes.

Keywords: farming industry effluent from Palma, chemical analysis of soil, irrigation water, soil recovery.

1 INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo industrial en los mercados nacionales e internacionales y el efecto de la globalización a nivel mundial, ha llevado a incrementar la generación de desechos y residuos en los diversos procesos del sector agroindustrial, lo cual se ha convertido en una amenaza muy seria para el medio ambiente (Avendaño y Martínez, 2015); particularmente se resalta que la producción mundial de aceite de palma ha ido en aumento y para el año 2000 se estima que la producción exceda los 22 millones de toneladas lo que es equivalente al 21% de la producción mundial de grasas y aceites; donde el 90% de la producción está dedicada al uso alimenticio y el 10% restante a otras aplicaciones (Garcés y Cuellar, 1997).

Actualmente, Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América, teniendo 483.733 hectáreas sembradas distribuidas en 124 municipios de 20 departamentos del país según estudio realizado por (FedePalma, 2016). A pesar de tener hectáreas de producción, 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 a 1 m³ 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 (Buitrago, 2016), de este modo (Peláez, 2004) afirma que los residuos orgánicos de tipo agrícola correspondan a un porcentaje superior al 85%, generándose cargas contaminantes altas las cuales son perjudiciales para el medio ambiente, especialmente en las fuentes hídricas.

Es por ello que el sector agroindustrial del aceite de palma tiene como meta, buscar soluciones de recuperación de sus residuos productivos procedentes de las lagunas de oxidación, haciendo el rehúso de los efluentes para promover una agricultura sostenible, y con ello preservar las fuentes de agua y mantener la

calidad ambiental (Álvarez, Contreras, y Poggi, 2002), debido a que si se descargan cantidades considerables de efluentes a los ríos estos en el tiempo se vuelven sépticos y destruye la vida acuática (Azniidris y Aukay, 1995).

Para Unipalma S.A el reúso es una alternativa viable tanto económica como ambientalmente sostenible, debido a que diariamente se generan entre 500 y 600 m³ de efluente (Unipalma S.A, 2016), el cual puede ser utilizado como materia orgánica para el aporte de nutrientes al suelo y a la planta (Ordoñez, González, Giráldez, y García, 1999); ya que es importante resaltar que el grupo taxonómico de suelos para esta región del país (Cumaral –Meta) corresponden al orden de los Oxisoles, los cuales poseen limitaciones en su parte química como son la baja capacidad de intercambio catiónico y bajos niveles de disponibilidad de nutrientes principalmente N, K, Mg, B y P (Munevar, 1998).

Finalmente se busca establecer a través de un diseño experimental *ex – situ* bajo condiciones controladas, la mejor concentración y dosificación de riego diluido con efluente evaluando las propiedades químicas del suelo como: Al, Fe, capacidad de intercambio catiónico, pH, C_{Ee}, y bases intercambiales (Na, K, Mg, Ca), para así determinar los cambios que estas poseen en el tiempo en el suelo y que no se generen daños en su química; ya que lo que busca la empresa es poder usar sus efluentes como fertirriego en época de verano, la cual corresponde a cuatro meses aproximadamente, y en época de invierno como fertilizantes, debido a que poseen ocho meses de lluvia con aproximadamente una lámina de 2878 mm.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar con diferentes dosis de riego, el efluente agroindustrial de palma de aceite (*Elaeis Guineensis*) en un suelo oxisol de los llanos orientales de Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Interpretar los cambios en el tiempo de los índices químicos del suelo: pH, CE_e , bases intercambiables (Na, Mg, K, Ca), hierro (Fe) y aluminio (Al).

Establecer la mejor dosis de aplicación de efluente, teniendo en cuenta los niveles de respuesta evaluados en el suelo.

Hacer las recomendaciones para el uso y aprovechamiento del efluente agroindustrial en la aplicación al suelo.

3 JUSTIFICACIÓN

La palma de aceite (*elaeis guineensis*) es una planta oleaginosa, que puede producir racimos de frutos que pueden llegar a pesar entre los 10 y 40 kg; de igual modo esta especie tiene una producción de aceite entre seis y diez veces más que otro tipo de plantas, es por ello que este tipo de cultivo se hace más rentable para las empresas extractoras de aceite de origen vegetal. Cabe resaltar que de la palma no solamente se aprovecha su aceite para la elaboración de aceites de mesa, jabones, mantecas, margarinas entre otros, sino que también se hace el aprovechamiento de sus subproductos como lo son la torta de palmiste (la cual se utiliza para la elaboración de concentrados y suplemento para la alimentación animal), los frutos, fibras de las hojas y racimos vacíos (se utilizan para la elaboración de compostajes).

Debido a que los frutos de los racimos se deben someter a la extracción del material pasan por procesos de esterilización, desgranado, macerado, extracción de la pulpa, clarificado donde luego al aceite se le realiza un proceso de blanqueamiento y refinamiento para obtener un producto libre de imperfecciones, en todo este proceso se generan altos volúmenes de producción pero deficiente disposición de sus respectivos residuos y el escaso aprovechamiento de los desechos que se generan diariamente; tal es el caso de la empresa agroindustrial Unipalma S.A , donde se generan diariamente 600 m³ de lodos los cuales son una amenaza a la contaminación ambiental de los recursos suelo, agua y aire.

Debido a esta situación se propicia la necesidad de realizar investigación que pretenda sustentar alternativas ambientales para implementar un sistema de producción más limpia y aprovechar los residuos generados en las mismas actividades productivas agrícolas.

Lo anterior hace referencia a la necesidad de buscar soluciones que permitan aumentar la eficiencia en los cultivos de palma africana, reducir los riesgos de

contaminación al medio ambiente y la posible afectación a salud por el incremento de la contaminación causada por una deficiente disposición y manejo de los residuos. Así mismo, se busca que esta investigación resulte atractiva para la agroindustria de aceite de palma, debido a la generación de beneficios, como son la reducción de costos en los planes de recuperación de suelos al aplicar el efluente como enmienda, y en los planes anuales de fertilización.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos agroindustriales de palma de aceite en Unipalma S.A. se tratan en biodigestores con microorganismos facultativos, en los cuales los contaminantes orgánicos son degradados obrando sobre la superficie procesos de biodegradabilidad aeróbica y en el fondo de las mismas biodregadabilidad anaeróbica y sedimentación; finalizado este procedimiento se pasan a lagunas de estabilización donde los residuos líquidos son mezclados con floculos de microorganismos aerobios, y se realizan procesos de oxigenación para estabilizar el pH y la carga orgánica buscando su aptitud para la aplicación, llamándole a estos efluentes: lodos activados (Unidad de Residuos de la CONAMA RM, 1998).

La Empresa genera altos volúmenes diarios de lodos, los cuales no pueden ser vertidos a las fuentes hídricas según la normatividad del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), “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”, la anterior modifica las normas de vertimientos establecidas en el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984. Según Cenipalma (2011) “en las modificaciones del decreto 1594 de 1984, se destacan los límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y no domésticas a cuerpos de agua continentales superficiales, en el cual el cultivo de palma de aceite se puede clasificar dentro de la clase 0115 - producción especializada de cereales y oleaginosas, o 1522 - elaboración de grasas y aceites de origen vegetal y animal”, siendo los parámetros exigidos los mostrados en la tabla 1.

Es de cumplimiento obligatorio el decreto mencionado y no es posible realizar vertimientos a cuerpos de agua, ya que se estaría incurriendo en contaminación, con respecto a esto Unipalma supera los valores de los cloruros.

Tabla 1. Parámetros de mayor importancia en la evaluación de vertimientos.
Decreto 1594 de 1984

Parámetro	Unidad	Instalaciones Existentes
pH	--	6,0 - 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.
Cloruros	mg/l	500
Sulfatos	mg/l	300

Además de esta problemática, la distribución unimodal de precipitación en el área de producción de Unipalma S.A. presenta dos periodos definidos, uno de lluvias con duración de ocho meses con un promedio de 2878 mm, y un periodo seco de cuatro meses (abril a julio). Frente a esto, la Empresa busca alternativas amigables con el ambiente y económicamente sustentable, buscando que sus efluentes sean utilizados como fertilizantes (periodo de lluvia) y como fertirriego (periodo seco); ya que los lodos poseen una alta carga orgánica que pueden actuar como complemento de la nutrición. Es por ello que se plantea como hipótesis alterna evaluar la respuesta del suelo a la aplicación de diferentes dosificaciones de riego con diluciones de efluentes, y con esto diferenciar el tratamiento de mejor respuesta en el suelo para validar estos resultados en el área de plantación, y darle utilidad al alto volumen de lodos y efluentes agroindustriales; y como hipótesis nula se plantea que durante la experimentación no se genere ningún resultado de la aplicación de lodos en el suelo.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 SUELO OXISOL

Según Quizhpi, Rogel, Romero, Salinas, y Ramírez (2016) “los oxisoles son suelos que se encuentran casi exclusivamente en regiones tropicales, cubriendo extensas áreas de tierras planas y generalmente bien drenadas. Son suelos muy antiguos o formados a partir de sedimentos previamente meteorizados. Se caracterizan por un grado de meteorización extrema, por lo cual presentan una fuerte acidez y han perdido casi toda la capacidad para suplir nutrimentos a las plantas. En los oxisoles se encuentran minerales desgastados tales como los óxidos de hierro y aluminio. Debido a la presencia de óxidos de hierro, estos suelen presentar un color rojizo”. Este tipo de suelos presenta las características definidas a continuación por Knox (1971):

- Su saturación de bases es menor del 35% en el horizonte óxico.
- Carecen de materia orgánica, debido a la rápida degradación a la cual está sometido el material presente en este tipo de suelos.
- La mayoría de estos suelos altamente oxidados tienen una fertilidad extremadamente baja lo cual resulta en una baja reserva nutrientes, una alta fijación de fósforo por los óxidos y una baja capacidad de intercambio catiónico (Quizhpi *et al.*, 2016, p.1).

5.2 LÍQUIDOS RESIDUALES (EFLUENTES)

Según Spinelli (2017) “este término es empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias. Los productos tóxicos presentes en los efluentes son muy variados, tanto en tipo como en cantidad, y su composición depende de la clase de efluente que los genera. Los desechos que contienen los efluentes pueden ser de naturaleza química y/o biológica”.

5.3 DECRETO 1594 DE 1984 “NORMA DE VERTIMIENTOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS”

El estado Colombiano por medio de la constitución y sus respectivos decretos busca la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. A través de este decreto rige el vertimiento de residuos líquidos a cuerpos de aguas continentales y alcantarillado, específicamente en el artículo 72 (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros medidos bajo decreto 1594 de 1984

Parámetro	Referencia
pH	5-9
Temperatura	< 40°C
Materia Flotante	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción > 80% en carga
Sólidos Suspendidos doméstico o industriales	Remoción > 50% en carga
Demanda Bioquímica de Oxígeno (desechos domésticos)	Remoción > 30% en carga
Demanda Bioquímica de Oxígeno (desechos industriales)	Remoción > 20% en carga

De igual modo se resaltan las modificaciones al mismo decreto, especificando la inclusión de nuevos parámetros y los límites máximos permisibles por parámetro basados en concentración de contaminantes y no en porcentaje de remoción, siendo de este modo más estrictos para las empresas. En la tabla 3 y 4 se muestran los respectivos parámetros tanto para instalaciones nuevas, como las ya existentes.

Tabla 3. Parámetros a monitorear en los vertimientos para 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 y 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).

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 a 8	
Temperatura	°C	No podrá tener una variación mayor de 3°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
Fosforo 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

5.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

5.4.1 Análisis físico y químico del suelo

En estudios previos de Unipalma S.A. se dieron a conocer las características físicas y químicas del suelo de las tres principales haciendas de la empresa (Santa Bárbara, el Tusero y la Planta). El estudio comprende diferentes profundidades en sitios representativos de cada hacienda.

Con respecto a la física del suelo, las texturas son francas, franco-limosas, franco-arcillosas y arcillosas, teniendo la fracción arcillosa el mayor dominio en este tipo de suelos; de igual modo la porosidad y densidad aparente son muy variables con rangos de 29 a 69% y 1,36 a 1,71 g/cm³ respectivamente. La densidad real

corresponde a la densidad de suelos minerales (2,48 a 2,54 g/cm³). En la tabla 5 se aprecian los resultados proporcionados por la Empresa.

Tabla 5. Análisis físico del suelo en las haciendas de la empresa Unipalma S.A

Unidad	Profundidad (cm)	Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Humedad Aprovechable (%)	Clase Textural
		Aparente	Real			
La Planta Sector 1	0-16	1,36	2,45	44,54	10,65	FL
	16-35	1,60	2,52	36,55	6,32	FARL
	35-61	1,67	2,53	33,74	4,88	Ar
	61-95	-	-	-	-	ArL
	95-150	-	-	-	-	FARL
La Planta Sector 2	0-13	0,47	ND	-	5,77	F
	13-30	1,52	2,51	39,44	4,30	F
	13-60	1,55	2,54	38,98	21,22	FAR
	60-110	-	-	-	-	Ar
Santa Bárbara Sector 1	0-12	1,58	2,54	37,96	7,22	FL
	12-40	1,70	2,54	32,99	5,54	FL
	40-62	1,75	2,54	31,09	2,22	ArL
	62-88	-	-	-	-	ArL
	88-160	-	-	-	-	ArL
Santa Bárbara Sector 2	0-17	1,18	2,52	53,30	5,73	FARL
	17-36	1,63	2,53	35,51	9,51	FARL
	36-75	1,70	2,54	33,07	4,92	FARL
	75-93	-	-	-	-	ArL
	93-120	-	-	-	-	ArL
Santa Bárbara Sector Casa de lata	0-15	1,67	2,53	33,98	5,63	F
	15-38	1,80	2,53	28,91	4,62	F
	38-52	1,52	2,57	40,67	3,04	FAR
El Tusero	0-16	1,36	2,48	45,38	20,41	FAR
	16-36	1,71	2,51	31,77	7,77	Ar
	36-55	-	-	-	6,48	F

Fuente: Unipalma S.A

Los suelos en general muestran las siguientes características químicas: suelos ácidos y extremadamente ácidos (pH de 3,96 - 4,78), baja fertilidad (CIC 4,43-7,96 meq/100g), bajo contenido de materia orgánica (MO 0,60 – 2,84%), concentración baja de bases totales (BT 0,88 - 2,59 meq/100g), mostrando una fertilidad limitada del suelo. En los elementos menores se destaca la alta concentración de óxidos de hierro (95,6 - 448 ppm), y aluminio intercambiable característica de los oxisoles. Loly Figueroa (2012), menciona que el pH del suelo para el cultivo de Palma de aceite debe estar comprendido entre 4,5 y 7,5, pero se adapta desde 3 a 8,2, aunque bajo condiciones de acidez en general, se

presentan deficiencias de elementos nutritivos tales como N, P, K, Mg y B, que obligan a un manejo adecuado de la fertilización e imponen la aplicación de enmiendas. Cuando hay una alta acidez en el subsuelo, se limita la profundización de las raíces; es importante resaltar que la hacienda Santa Bárbara es la que mejores características químicas posee dentro de la plantación de Unipalma S.A. En la tabla 6 se aprecian los resultados proporcionados por la Empresa.

Tabla 6. Análisis químico del suelo en las haciendas de la empresa Unipalma S.A

Unidad	Profundidad (cm)	pH	Aluminio (cmol/kg)	C.I.C (cmol/kg)	Suma de Bases (cmol/kg)	Hierro (ppm)	Materia Orgánica (%)
La Planta Sector 1	0-16	4,22	1,03	6,52	1,81	128,00	3,07
	16-35	4,19	1,82	4,43	0,31	15,80	1,31
	35-61	4,25	2,48	5,51	0,38	5,78	1,05
	61-95	4,31	2,31	5,09	0,32	ND	0,97
	95-150	4,32	2,62	5,20	0,27	ND	0,88
La Planta Sector 2	0-13	4,75	0,05	16,10	8,51	61,30	11,12
	13-30	5,81	ND	5,86	4,19	448,00	2,22
	13-60	4,78	1,19	3,07	1,25	28,50	1,10
	60-110	5,03	0,69	5,32	2,65	ND	1,02
Santa Bárbara Sector 1	0-12	4,25	2,26	6,17	0,70	126,00	1,74
	12-40	3,94	3,20	6,21	0,43	28,90	0,84
	40-62	3,81	3,81	6,13	0,53	8,64	0,60
	62-88	3,76	4,90	6,91	0,41	8,85	0,55
	88-160	3,47	3,82	6,48	0,32	ND	0,59
Santa Bárbara Sector 2	0-17	4,39	1,77	7,96	0,98	107,00	2,84
	17-36	4,06	2,37	5,63	0,31	18,60	1,62
	36-75	4,31	1,74	4,81	0,88	10,90	1,29
	75-93	4,17	2,14	5,63	0,49	ND	1,05
	93-120	4,18	2,36	5,55	0,44	ND	0,81
Santa Bárbara Sector casa de lata	0-15	4,45	1,31	3,73	0,62	130,00	2,03
	15-38	4,31	2,05	4,97	0,30	22,20	1,47
	38-52	4,32	2,10	5,71	0,51	11,48	1,45
El Tusero	0-16	4,57	1,69	12,00	2,59	95,60	7,41
	16-36	4,02	2,25	2,76	0,26	11,58	1,12
	36-55	3,96	2,05	2,80	0,17	14,58	0,52

Fuente: Unipalma S.A

5.4.2 Análisis del efluente

El efluente agroindustrial es alcalino (pH de 8,0), con concentración alta de sales (CE de 10 dS/m) y una importante concentración de potasio (2300 ppm), siendo este último benéfico para el cultivo de palma de aceite, ya que complementa la nutrición y desarrollo, se resalta como limitante la alta cantidad de cloruros (Cl⁻ de 412 ppm), siendo nocivo para el vertimiento en fuentes hídricas y con esta concentración al suelo. (Anexo 1, resultados emitidos por Agrilab).

6 METODOLOGÍA

6.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El suelo experimental es procedente de La hacienda Unipalma S.A, localizada en el Municipio de Cumaral (Veracruz), en el Departamento del Meta, el cual se incubó bajo condiciones ambientales de la ciudad de Neiva. El uso actual del suelo es agrícola, siembra de palma *Elaeis guineensis* (figura 1).

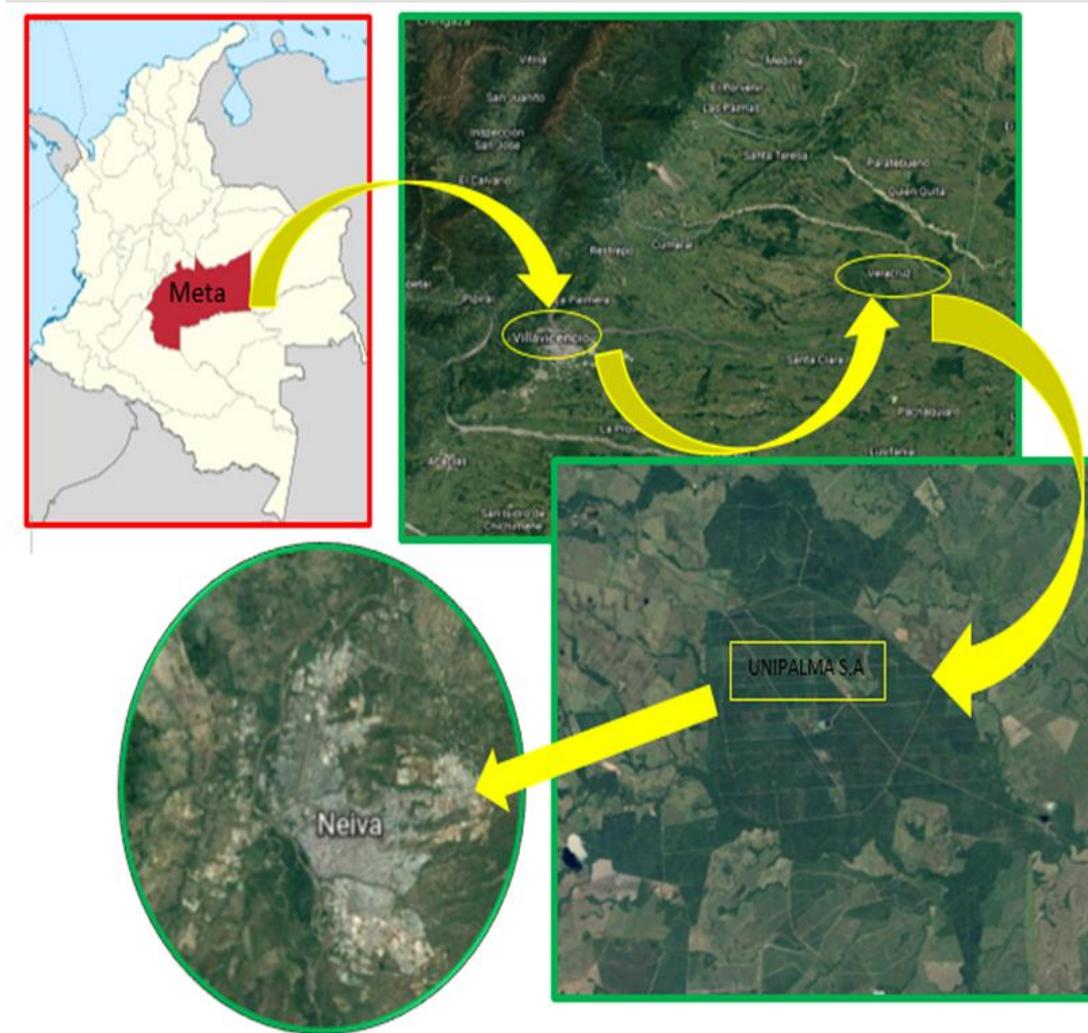


Figura 1. Localización de Unipalma S.A. en el Meta y Neiva

Fuente: Google Earth

6.2 PARÁMETROS MEDIDOS EN LA INVESTIGACIÓN

6.2.1 Parámetros Físicos del Suelo

Los parámetros mencionados a continuación se midieron solamente para la identificación y caracterización inicial del suelo. El parámetro de mayor importancia fue la retención de humedad expresada por la capacidad de campo (C.C.) y el punto de marchitez permanente (P.M.P), ya que estos indicaban las pautas de riego. Las metodologías utilizadas son:

- **Textura:** Bouyoucos (IGAC, 2006).
- **Densidad Real:** Picnómetro (IGAC, 2006).
- **Densidad Aparente:** Cilindro de Volumen conocido (Flores y Alcala, 2010).
- **Capacidad de Campo:** Retención de Humedad (IGAC, 2006).
- **Punto de Marchitez Permanente:** Membrana de presión (IGAC, 2006).

6.2.2 Parámetros Químicos del Suelo

Se llevó a cabo en la etapa inicial, un análisis químico completo del suelo para determinar sus respectivas características y se evaluaron los parámetros de: carbono Orgánico, bases intercambiables (Na, Ca, Mg, K), elementos menores (Mn, Fe, Zn, Cu), fósforo disponible, azufre, boro, capacidad de intercambio catiónico, pH, y CE_e . Para efecto de los análisis en el tiempo, solamente se analizaron los parámetros de: Bases intercambiables (Na, Ca, Mg, K), CIC, pH, CE_e , Aluminio (Al) y Hierro (Fe).

- **Carbono Orgánico (C.O):** Digestión vía Humedad (Walkley-Black) (IGAC, 2006).
- **Fósforo Disponible (P):** Extracción con solución Bray II – y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible (NTC - 5350, 2005).
- **Boro:** Extracción con agua caliente y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible con Azometina H (NTC - 5404, 2006).
- **Azufre Disponible (S):** Extracción con fosfato monocalcico ($(H_2PO_4)_2H_2O$) en concentración 0.008M y cuantificación turbidimétrica (NTC- 5402, 2006).

- **Bases Intercambiables (Na, Ca, K, Mg):** Acetato de amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción-emisión atómica (NTC - 5349, 2008).
- **Elementos Menores (Mn, Fe, Zn, Cu):** DTPA y cuantificación por Absorción Atómica (NTC - 5526, 2007).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Acetato de amonio 1M pH 7 y cuantificación por titulación volumétrica (NTC- 5268, 2004).
- **Acidez Intercambiable y Aluminio (Al):** Cloruro de potasio 1M y cuantificación por titulación volumétrica (IGAC, 2006).
- **Concentración de iones de hidrogeno en el suelo (pH):** Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1. (NTC - 5264, 2008).
- **Conductividad Eléctrica (CE_e):** Potenciométrico, metodología del manual de procedimientos analíticos de la Universidad del Magdalena, 2013.

6.3 APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS Y MEDICIONES

En el tiempo cero se realizó un análisis físico y químico completo al suelo, un análisis químico al agua de riego y al efluente, para conocer las características que presentan estos.

6.3.1 Montaje Experimental

El diseño experimental en su ejecución fue de 28 días; este tiempo fue tomado teniendo como referencia procesos de incubación de Castro y Munevar 2013, quienes para el mejoramiento químico de suelos ácidos aplicaron encalantes el suelo tratado durante 45 días a una temperatura de 25°C y a capacidad de campo; Gómez y Narvaez, 1999, incorporaron enmiendas orgánicas y de cal a un suelo ácido con incubación por periodos de 2, 14 y 54 días, teniendo los suelos a capacidad de campo, Gomez y Mantilla, 2014, implementaron incubación para encalamiento de suelos ácidos durante 28 días en laboratorio bajo una temperatura controlada de aproximadamente 25°C y adicionan agua para mantener la humedad establecida. Con relación a lo mencionado, se estableció como criterio un tiempo de incubación no superior a 45 días, ya que con las

enmiendas de tipo orgánico y químico aplicadas por los investigadores se busca observar la respuesta química del suelo bajo condiciones controladas y posteriormente realizar pruebas en campo para correlacionar los resultados.

En las unidades experimentales utilizadas en la presente investigación, se usaron recipientes plásticos de 240 cm³ de volumen, los cuales fueron rotulados con los respectivos tratamientos y replicas, se tomó un peso 250 g de suelo según la relación de los pesos requeridos en las pruebas químicas. El suelo es originario de la hacienda Santa Bárbara, finca 60, en Unipalma S. A. localizada en el municipio de Cumaral – Meta, colectado en los primeros 30 cm de profundidad.

Se estructuró un diseño experimental completamente aleatorio con 3 bloques correspondientes a las concentraciones 1:1, 1:3 y 1:5 (efluente: agua), con 4 tratamientos (T1, T2, T3, T4) y cada tratamiento con 4 réplicas, además de 4 testigos (T0); para un total de 52 unidades experimentales. En la tabla 7 se presenta la descripción de los tratamientos y en la figura 2 se aprecia la distribución experimental.

Tabla 7. Dosificación del efluente diluido en agua de riego

Tratamiento	Agua (%)	Efluente (%)
Testigo	100	0
1	80	20
2	60	40
3	40	60
4	20	80

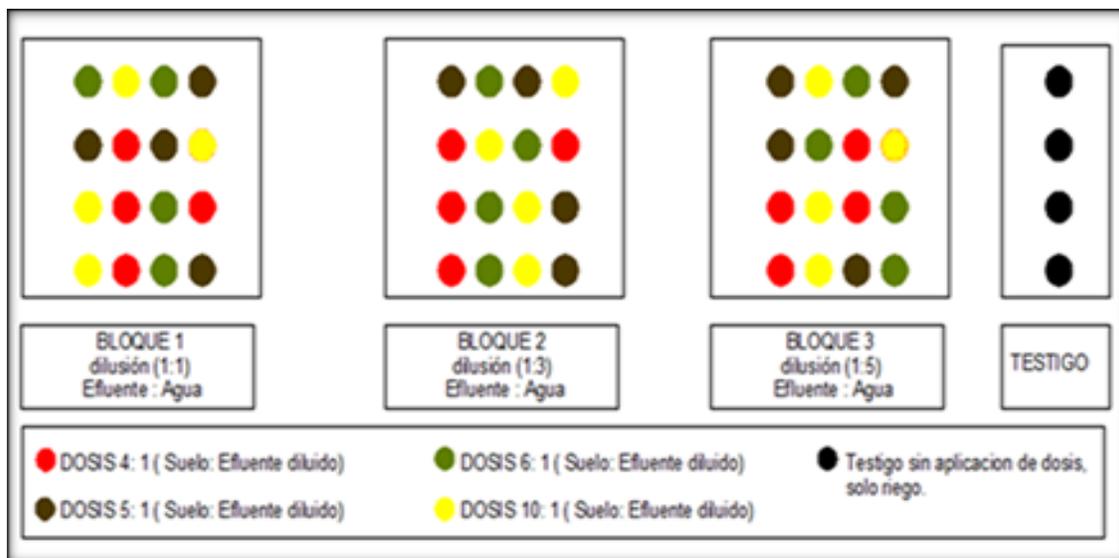


Figura 2. Distribución Experimental

Luego del montaje, se seleccionaron aleatoriamente de cada bloque y de cada tratamiento una réplica para los respectivos análisis químicos: pH, CEE, Bases de cambio (Na, K, Mg, Ca), Al, Fe, CIC; para un total de 13 unidades experimentales extraídas; este procedimiento se realizó a los 7, 14, 21 y 28 días. En las figuras 3, 4 y 5 se muestra el montaje semana a semana.



Figura 3. Montaje a los 14 días



Figura 4. Montaje a los 21 días



Figura 5. Montaje a los 28 días

6.3.2 Medición de la Humedad del Suelo y Condiciones Ambientales

Para la medición de la humedad en el suelo se utilizó un equipo multiparamétrico marca ProCheck; a cada unidad experimental y se tomó la humedad diaria hasta alcanzar el punto máximo de agotamiento tomando como criterio el punto de marchitez permanente en la prueba de retención de humedad, éste parámetro indicó el tiempo en reponer el riego. Se implementó un recipiente evaporímetro no convencional para el seguimiento gravimétrico de la pérdida de agua por evaporación, consistente en un recipiente plástico de área superficial de 27,34 cm² expuesto al ambiente con un contenido de agua bajo control diario; estas variables marcaron los tiempos de riego. En las figuras 6, 7 y 8 se aprecian las mediciones de humedad del suelo, el tanque evaporímetro y las ollas de retención de humedad respectivamente.



Figura 6. Equipo Multiparamétrico ProCheck y medición de humedades en el suelo



Figura 7. Medición de Tanque Evaporímetro



Figura 8. Determinación de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente

Se hizo el seguimiento diario a las condiciones de humedad y temperatura ambiente con un higrómetro y un termómetro respectivamente (figura 9).



Figura 9. Higrómetro y Termómetro

6.3.3 Aplicación del Riego

Se aplicó un total de 5 riegos a lo largo de la investigación, siendo el primero con relación a las concentraciones 1:1, 1:3 y 1:5 aplicando 20 ml como dosis inicial. En los siguientes riegos, se asumieron los tratamientos mostrados en la tabla 7. En las tablas 8 y 9, se observan la primera dosificación y los riegos aplicados en el tiempo.

Es importante resaltar que para la primera aplicación del riego por concentraciones se tuvo en cuenta el rango de agua aprovechable para el suelo oxisol evaluado a través de la retención de humedad realizada al inicio del estudio, además se llevaron a cabo pruebas previas para la dosificación del primer riego y que este quedara a saturación; para los siguientes riegos se tomó como criterio que la humedad del suelo estuviese en su punto máximo de agotamiento, en este punto se pesó el tanque evaporímetro y por diferencia de pesos al inicio (riego realizado) y al final (evaporación del agua a través del tiempo) se repuso la cantidad de agua evaporada a cada unidad experimental, quedando a saturación.

Tabla 8. Dosis inicial del efluente diluido

Relación	1 : 1	1 : 3	1 : 5
Efluente (ml)	10	5	3.3
Agua (ml)	10	15	16.7
Dosis total (ml)	20	20	20

Tabla 9. Dosificación del riego en volumen (ml) por unidad experimental

Tratamiento	Dosis agua (%)	1er Riego			2o Riego			3er Riego			4o Riego		
		Agua	Efluente	Total	Agua	Efluente	Total	Agua	Efluente	Total	Agua	Efluente	Total
Testigo	100	19.0	-	19	33.40	-	33.4	41.6	-	41.6	30	-	30
T1	80	15.2	3.8	19	26.72	6.70	33.4	33.28	8.32	41.6	24	6	30
T2	60	11.4	7.6	19	20.04	13.36	33.4	24.96	16.64	41.6	18	12	30
T3	40	7.6	11.4	19	13.36	20.04	33.4	16.64	24.96	41.6	12	18	30
T4	20	3.8	15.2	19	6.70	26.72	33.4	8.32	33.28	41.6	6	24	30

Por otro lado, el efluente y el agua de riego se mantuvieron bajo refrigeración a temperatura de 4°C para su conservación, y al momento del riego se dejaban a libre exposición hasta alcanzar la temperatura ambiente. La dosificación para el

riego se hizo con probetas y beakers para obtener la medida exacta. En la figura 10 y 11 se observan los implementos refrigerados y la medición de los mismos respectivamente.



Figura 10. Efluente y agua de riego refrigerado



Figura 11. Dosificación de agua y efluente

Finalmente se simuló un sistema de riego (goteo) con vasos desechables con el objetivo de alcanzar distribución uniforme en la matriz de suelo. Antes de cada riego, se homogenizó el suelo para alcanzar una humedad uniforme. En la figura 12 se aprecia el procedimiento para la aplicación de riego.



Figura 12. Aplicación de riego a unidades experimentales

7 RESULTADOS

7.1 ANALISIS DEL SUELO, EFLUENTE Y AGUA DE RIEGO

7.1.1 Análisis Físico del Suelo

El suelo es de textura franca con proximidad a franco arenoso, cuya densidad aparente se identifica con el grupo textural grueso y densidad real de un suelo mineral. La retención de humedad es alta y el agua aprovechable es del 13,98%, siendo estos valores de suma importancia para la programación de la frecuencia de riego. Los parámetros obtenidos concuerdan con lo expuesto por Loli Figueroa (2012), quien recomienda para el cultivo de la palma aceitera, suelos profundos, con buen drenaje, de textura ligeramente arcillosa, con buen contenido en materia orgánica, una topografía de plana a ligeramente ondulada con pendientes inferiores al 2% y con un nivel de fertilidad de medio a alto (Tabla 10)

Tabla 10. Análisis físico del suelo

Densidad aparente	Densidad real	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Porosidad total	Arena	Limo	Arcilla	Textura
g.cm ⁻³		% gravimétrico		%				
1.52	2.62	32.78	18.80	42.0	44.95	34.26	20.79	Franco

7.1.2 Análisis Químico del Suelo

El suelo es ligeramente ácido con bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico y baja concentración de K, Ca y Mg, con deficiencias de cobre y zinc. Estas características definen al suelo con importantes limitaciones para una agricultura de alto rendimiento, lo que induce a recomendar un plan de fertilización basado en la dosificación de abonos orgánico – minerales que suplan los déficits en el suelo y los requerimientos nutricionales de la Palma de aceite. Es de resaltar que el suelo ha tenido a lo largo del tiempo aplicación de enmiendas orgánicas y minerales (Tabla 11)

Tabla 11. Análisis químico del suelo

pH	C.E.	CIC	Ca	Mg	K	Na	MO	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	meq.100 g ⁻¹					%			ppm				
6.15	165	8.28	1.23	0.15	0.62	0.07	0.90	78.97	19.79	285.47	15.89	1.74	1.89	0.59

7.1.3 Análisis Químico del Efluente

El efluente agroindustrial de Unipalma es una solución parcialmente sedimentable con alta concentración de sólidos totales disueltos, moderadamente alcalino, de salinidad media (2.5 – 7.5 dS/m), con alta concentración de cloruros, siendo éste último un factor limitante para la aplicación directa al suelo, ya que afecta el normal desarrollo de las palmas por su toxicidad; posee alta concentración de potasio, nitratos, fósforo y especialmente bicarbonatos, características favorables para la plantación de Palma de aceite, ya que estos participan en los procesos nutricionales de mayor demanda por el cultivo (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis químico del efluente

Cl	H ₂ PO ₄	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Mn	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄	K	B	CO ₃	HCO ₃	Fe
mg.l ⁻¹															
399	82.3	130.6	87.1	13.5	0.35	5.25	28.9	360.0	122.0	32.5	891	2.25	0	1758	21,56

pH	CE	SDT
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	g.l ⁻¹
8.08	6480	3.968

No se recomienda la aplicación directa del efluente al suelo por la alta concentración de cloruros, por otro lado, la alta concentración de potasio en el efluente es positiva por su acción benéfica como elemento esencial de gran demanda en el cultivo, siendo favorable para los procesos nutricionales de la palma, así mismo se reconoce la importancia de los nitratos, los fosfatos y los bicarbonatos en la condición química del suelo.

La alta concentración de sulfatos y bicarbonatos en el efluente induce a la formación de sulfatos y bicarbonatos de potasio, calcio y magnesio que son solubles y aportan beneficios nutricionales al cultivo. El bicarbonato pasa a la forma de carbonato de calcio y actúa como neutralizantes de la acidez del suelo. El efluente orgánico aporta nitrógeno en la forma nítrica y amoniacal, los cuales suplen necesidades nutricionales de la plantación de palma de aceite. Otra de las bondades de este efluente es el aporte de fósforo parcialmente disponible para la nutrición, y cuya concentración es alta. Un alto porcentaje del fósforo (P) se fija al suelo en forma de fosfatos de calcio y fosfatos de aluminio, no siendo disponible para la plantación.

El ión calcio (Ca^{++}) forma sales generalmente poco solubles y en algunos casos de solubilidad muy moderada, pero la mayoría son muy insolubles. El Ca precipita fácilmente como carbonato cálcico y es el principal componente de la dureza del efluente y causante de incrustaciones. El ión magnesio (Mg^{++}), tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. Las concentraciones de estos iones son normales en el efluente y participan en su aporte al suelo. Es de resaltar la alta concentración del ión potasio (K^+), macroelemento esencial de gran demanda en la nutrición de Palma de aceite, esta sal es de muy alta solubilidad y difícil de precipitar, siendo aprovechada por la plantación.

7.1.4 Análisis Químico del Agua de Riego

El agua de riego se clasifica de ligeramente ácida a neutra, con un contenido normal de sales que la definen como un agua normal para su aplicación, sin restricción alguna para el beneficio en el cultivo de Palma de aceite. De este modo se afirma, que no existe riesgo de salinización, ni de sodificación en el suelo, siendo el agua apta para el riego de cualquier cultivo agrícola (tabla 13). Su clasificación según U.S Soils Salinity Laboratory es C1S1, especificado de la siguiente forma:

C1: Agua de baja salinidad apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solo en suelos de muy baja permeabilidad

S1: Agua con un bajo contenido en sodio apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

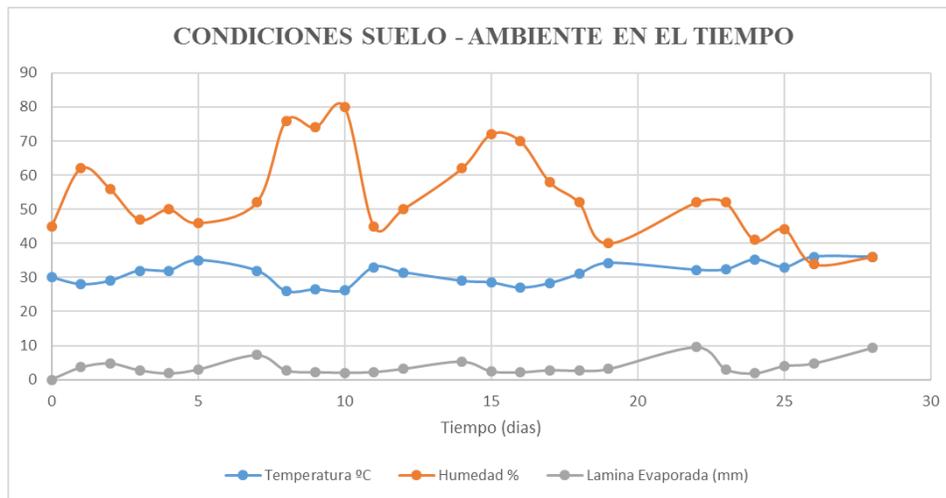
Tabla 13. Análisis químico del agua de riego

pH	CE	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Na	Ca	Mg	K	RAS
	μs/cm	meq.l ⁻¹								
6.58	46.1	0.026	0.042	0.00	0.38	0.0144	0.20	0.22	0.03	0.03

7.2 EVALUACION DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL TIEMPO

7.2.1 Condiciones Suelo – Ambiente

A continuación, se aprecia la tendencia en el tiempo de las variables mencionadas (Grafica 1). El estudio trató de simular las condiciones de campo. Con respecto a las lecturas de la temperatura, esta osciló entre 26 y 36°C, con una humedad entre el 76 y 34% respectivamente, observando que la temperatura es inversa a la humedad ambiente, siendo el experimento realizado en clima cálido - seco. Loli Figueroa, 2012, afirma que la temperatura media anual apta para palma de aceite puede oscilar entre 20 y 35°C, verificando las condiciones de trabajo cumplen, además en Cumaral - Meta se presentan rangos de temperatura entre los 26 y 37°C.



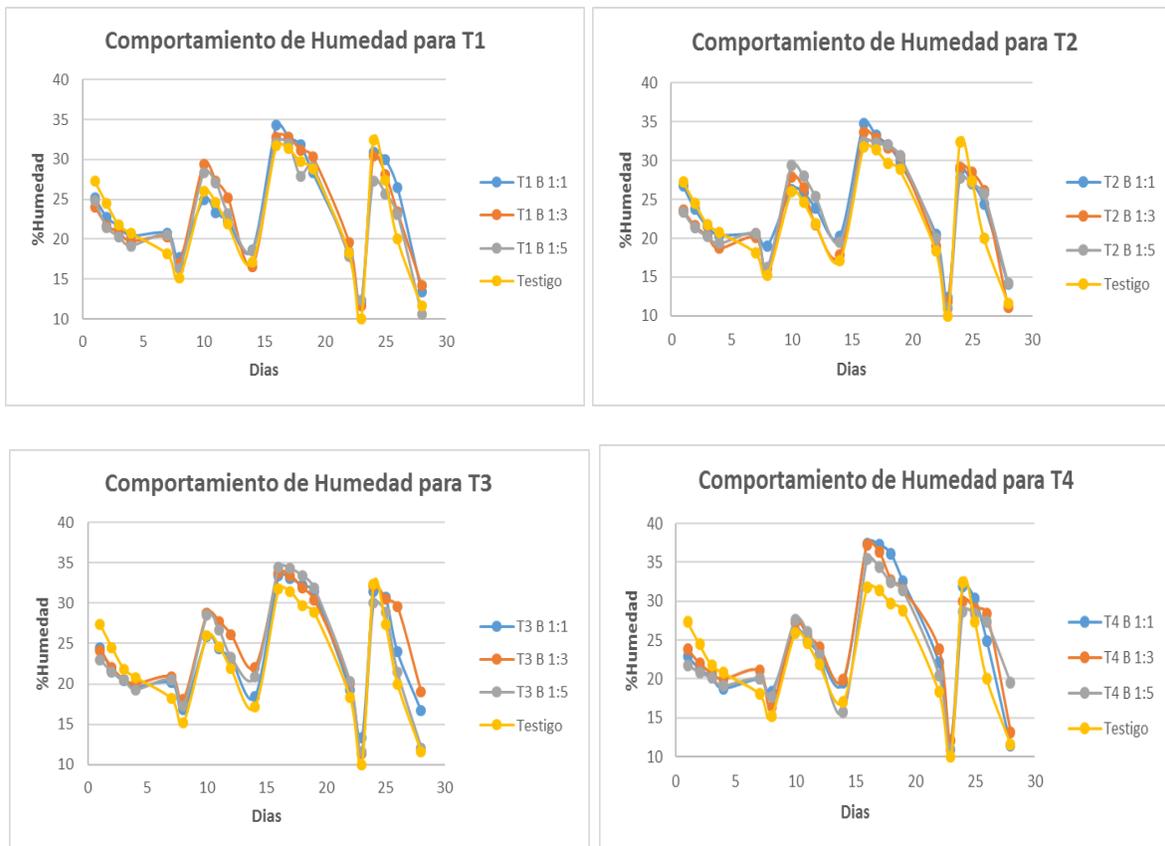
Grafica 1. Temperatura ambiente, humedad relativa del aire y lámina evaporada del aire

La evaporación diaria varió entre 1.87 y 4.83 mm/día como respuesta a los cambios del clima ambiente del sitio experimental; la evaporación media diaria fue de 3.1 mm durante el periodo experimental.

El objetivo de mostrar las tres graficas es el de determinar la variabilidad del suelo con relación al medio de incubación, observando que los picos más altos se asocian a la mayor lámina de evaporación en el suelo, coincidiendo con temperaturas que oscilaron entre 30 y 33°C, y con pérdidas de humedad mayores.

7.2.2 Humedad del Suelo

En la gráfica 2, se aprecia la tendencia que tuvo la humedad del suelo durante los 28 días de incubación, donde los picos más altos representan los riegos realizados, y los picos más bajos el nivel máximo de agotamiento al cual se dejó llegar el suelo. De igual modo se resalta que todos los tratamientos presentaron el mismo comportamiento en el tiempo.



Grafica 2. Humedad del suelo para tratamientos experimentales

7.3 ANÁLISIS QUÍMICO Y ESTADÍSTICO DEL SUELO CON APOORTE DEL EFLUENTE DILUIDO

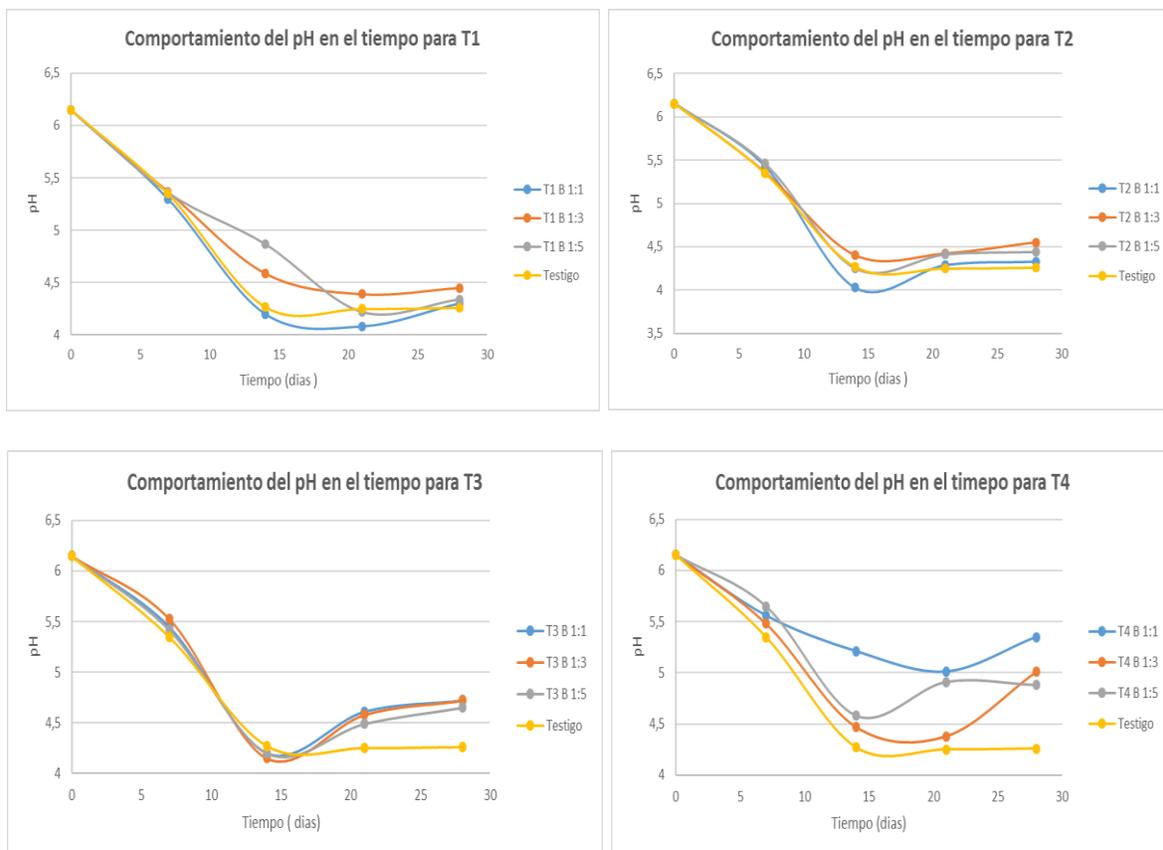
En las gráficas 3 a la 12 se muestran los resultados de los parámetros químicos evaluados en el suelo para 7, 14, 21 y 28 días de exposición a las condiciones experimentales de riego con dilución de efluente según el arreglo a que fueron sometidos cada uno de los tratamientos. Es de importancia resaltar que la 1a aplicación de riego fue siguiendo la concentración por bloque, 1:1, 1:3 y 1:5 (efluente: agua), es decir que para el primer análisis (7 días), se dio la respuesta del suelo frente a esta concentración; luego los siguientes riegos se llevaron a cabo con porcentajes efluente - agua como se describe en la metodología, teniendo así respuestas a los 14, 21 y 28 días seguidas de la dosis inicial.

Se hizo un análisis estadístico a través del programa S.P.S.S para determinar diferencias significativas entre bloques y entre los tratamientos aplicados.

7.3.1 pH del Suelo

A pesar de no encontrarse diferencias significativas entre bloques y entre tratamientos, se observó una disminución del pH a valores inferiores a 6, tanto en los tratamientos como en el testigo, y a partir de los 21 días la tendencia es a estabilización (Grafica 3). Estos resultados no son explicados por la aplicación de las diluciones de efluente en el agua de riego, ya que tanto los testigos como los tratamientos en su conjunto, presentaron igual tendencia. Se explica que el aluminio intercambiable se mide a partir de los 8 días por el $\text{pH} < 5.5$ en el suelo como rutina de laboratorio, es decir que la presencia de aluminio intercambiable en el suelo después del riego, solo se explica por la liberación de este elemento a partir de los aluminosilicatos que constituyen los complejos arcillosos del suelo como una reacción a la aplicación de riego, y éste es el responsable de la acidez intercambiable disminuyendo el pH; sin embargo, se considera que el suelo analizado haya sido sometido previamente a la aplicación de enmiendas para su recuperación, expresando su grado de acidez cuando es sometido al riego.

En el anexo 11 se presentan la estadística descriptiva para el parámetro de pH, se muestra la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de intervalos de confianza de la media, y valores máximos y mínimos obtenidos. Por otro lado, en las comparaciones por bloques de las diferentes concentraciones no se encontraron diferencias significativas (anexo 12), como tampoco entre tratamientos (anexo 13).



Grafica 3. Cambios de pH en el suelo

Por otra parte, se resalta que el tratamiento 1 para los diferentes bloques fue el que presentó disminución de pH en el tiempo menos drástico con relación a los demás tratamientos, obteniendo a los 21 días el valor mínimo (4,03 – 5,01), corroborando esta información con la estadística descriptiva (anexo 11), también se trae a alusión que entre el tiempo cero y el tiempo correspondiente a los 28 días hubo una disminución del 30% del pH en todos los bloques. Con respecto al tratamiento 2 la disminución más representativa ocurrió a los 14 días en todos los bloques (4,03 - 4,4), de igual modo hubo una disminución total en el pH para el bloque 1:1 del 70%, 1:3 del 74% y del bloque 1:5 del 32%. Para el tratamiento 3 los valores mínimos registrados al igual que el tratamiento 2 fueron a los 14 días en todos los bloques (4,2-4,15) obteniendo disminuciones en todos los bloques del

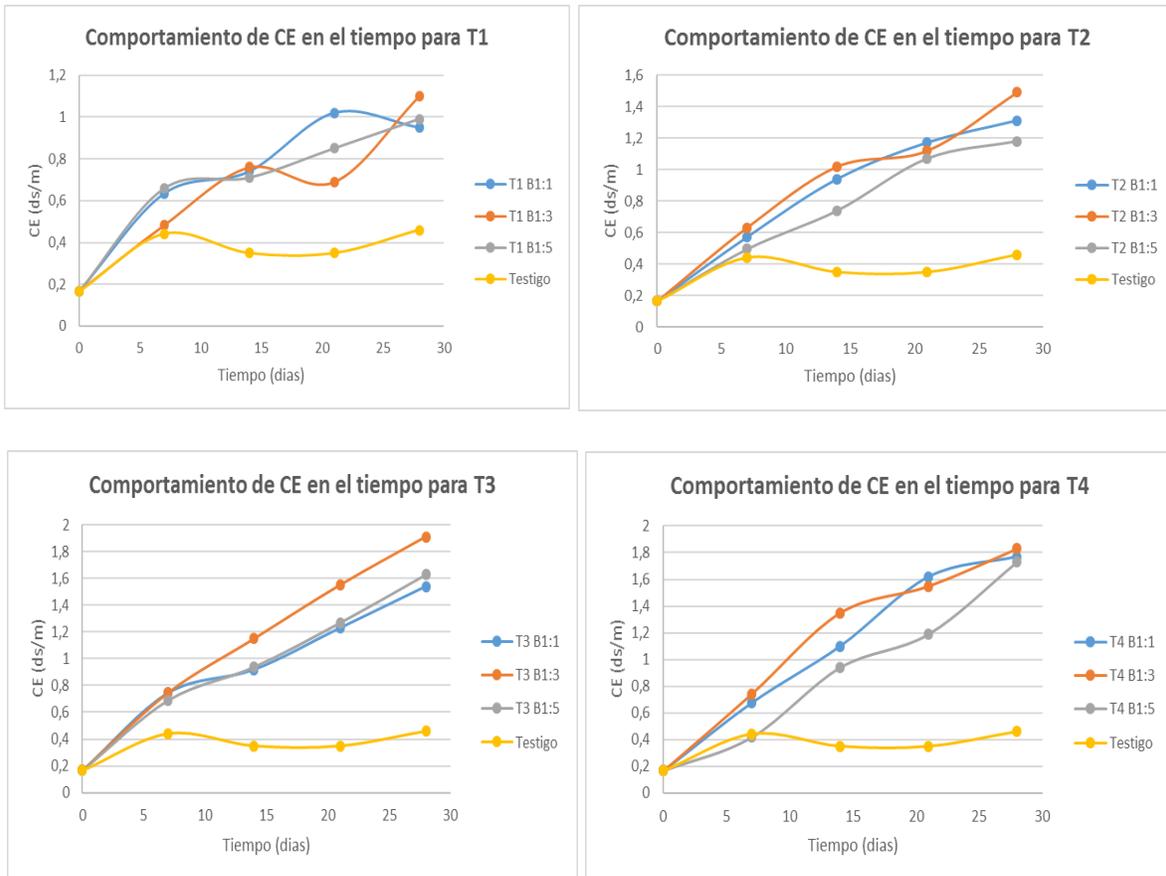
37%. Para el tratamiento 4 el comportamiento entre bloques es distinto, pero a pesar de ser el tratamiento con mayor concentración de efluente, los cambios en el pH no fueron drásticos, para el bloque 1:1 y 1:3 pasaron de un valor de 6,15 a 5,01, diferenciándose del bloque 1:5 cuyos valores disminuyeron hasta 4,88; con esto se puede afirmar que para el bloque 1:1 su disminución fue del 24%, para 1:3 del 21% y para 1:5 del 39%. También se aprecia que el testigo presenta acidificación gradual en el tiempo con los valores más bajos, correspondiendo al 49% de disminución en su pH.

Finalmente, Munevar, 2001, afirma que el pH de un suelo apto para el cultivo de palma debe corresponder en un valor intermedio de 4,4 a 5,0, aunque la palma de aceite tolera rangos inferiores a 4,4 pero se le deben aplicar enmiendas al suelo; con ello se afirma que los valores que se generan en el suelo con la aplicación de efluente diluido, siguen siendo aptos para este tipo de cultivo, con la recomendación de no aplicar el efluente de manera directa.

7.3.2 Conductividad Eléctrica (CE_e)

La conductividad eléctrica es indicativa de la concentración de sales en el suelo; no se presentan diferencias significativas entre bloques, pero se evidencia incremento representativo en el tiempo, alcanzando los mayores valores a los 28 días (Grafica 4), se resalta que se obtuvo máximos de 0,99 - 1,91 dS/m, siendo el testigo el de menor concentración (anexo 14).

La mayor concentración ocurrió en el tratamiento 3, relación inicial de mezcla 1:3. El tratamiento 4 para las tres dosis, presentó regularmente altas CE_e, es de aclarar que el tratamiento T4, fue el de mayor incorporación total de efluente al suelo. Con esto se puede afirmar, que la concentración de cloruros en el efluente, altera de manera directa las características químicas del suelo, entrando a formar interacciones solubles con aportación de sales e incrementando la CE en los distintos tratamientos, debido a que como se resaltó en el análisis estadístico, el testigo fue el que tuvo las menores concentraciones de sales ya que se trataba solo con agua de riego.



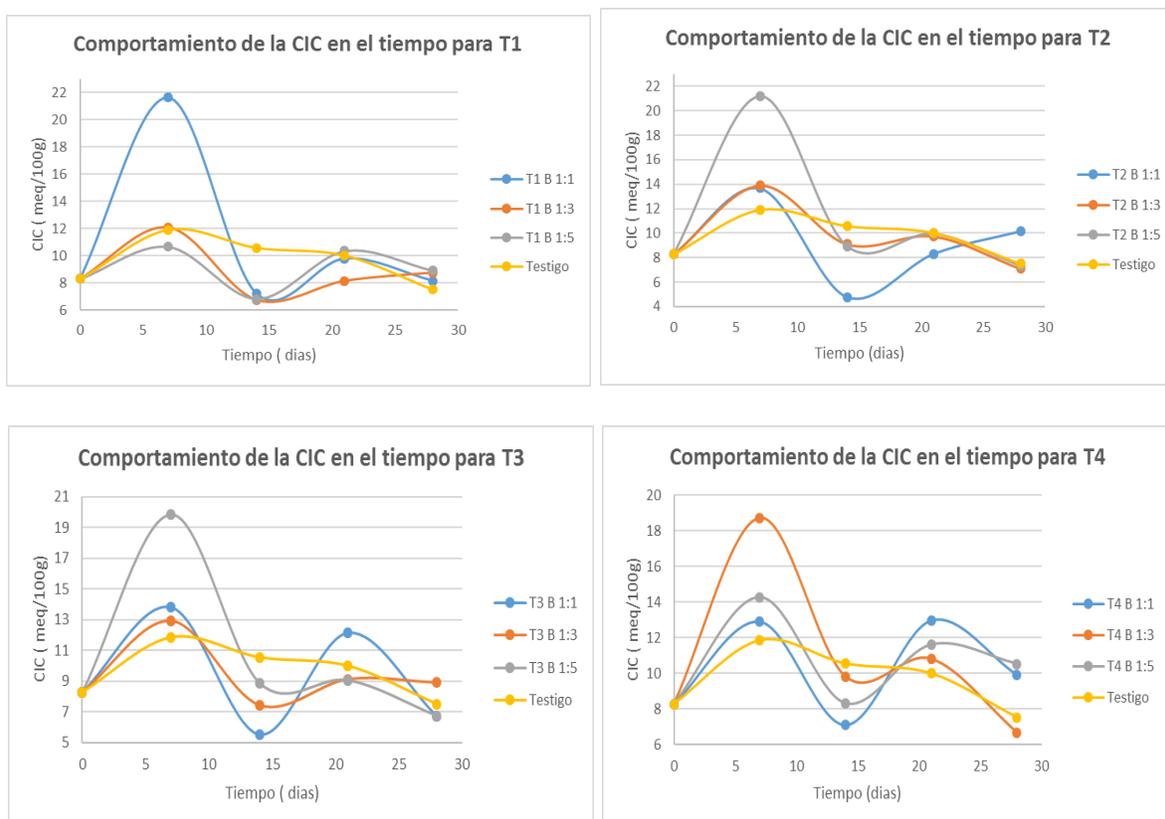
Grafica 4. Cambio de la conductividad eléctrica en el suelo

En el anexo 14 se presenta la estadística descriptiva para el parámetro de CE_e como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de intervalos de confianza de la media, y valores máximos y mínimos obtenidos. Se llevó a cabo las comparaciones por bloques y no se encontró diferencias significativas para cada uno de los bloques (anexo 15); mientras que en la comparación por tratamientos el testigo se diferencia significativamente de los tratamientos 2, 3 y 4 (anexo 16).

7.3.3 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)

No se encontró diferencias significativas en la CIC, sin embargo, se hizo una interpretación con respecto a los resultados. La CIC es de suma importancia, debido a que determina la capacidad de taponización del suelo y la retención de cationes reduciendo la lixiviación de ellos, es por ello que, a mayor contenido de

materia orgánica, habrá más capacidad de intercambio catiónico, (Owen,1995). Para los distintos tratamientos en los primeros 7 días, hay un aumento considerable en la CIC (gráfica 5), existiendo un aporte de materia orgánica del efluente aplicado, pero que a través del tiempo no se mantiene estable, al final para algunos tratamientos disminuye significativamente con relación al inicial, mientras otros como los tratamientos 1 de cada bloque, el tratamiento 2 del bloque 1:1, el tratamiento 3 del bloque 1:3 y el tratamiento 4 del bloque 1:1 y 1:5, aumentan con relación al inicial, mostrando que efectivamente hay un aporte de tipo positivo.



Gráfica 5. Comportamiento de la C.I.C en el suelo

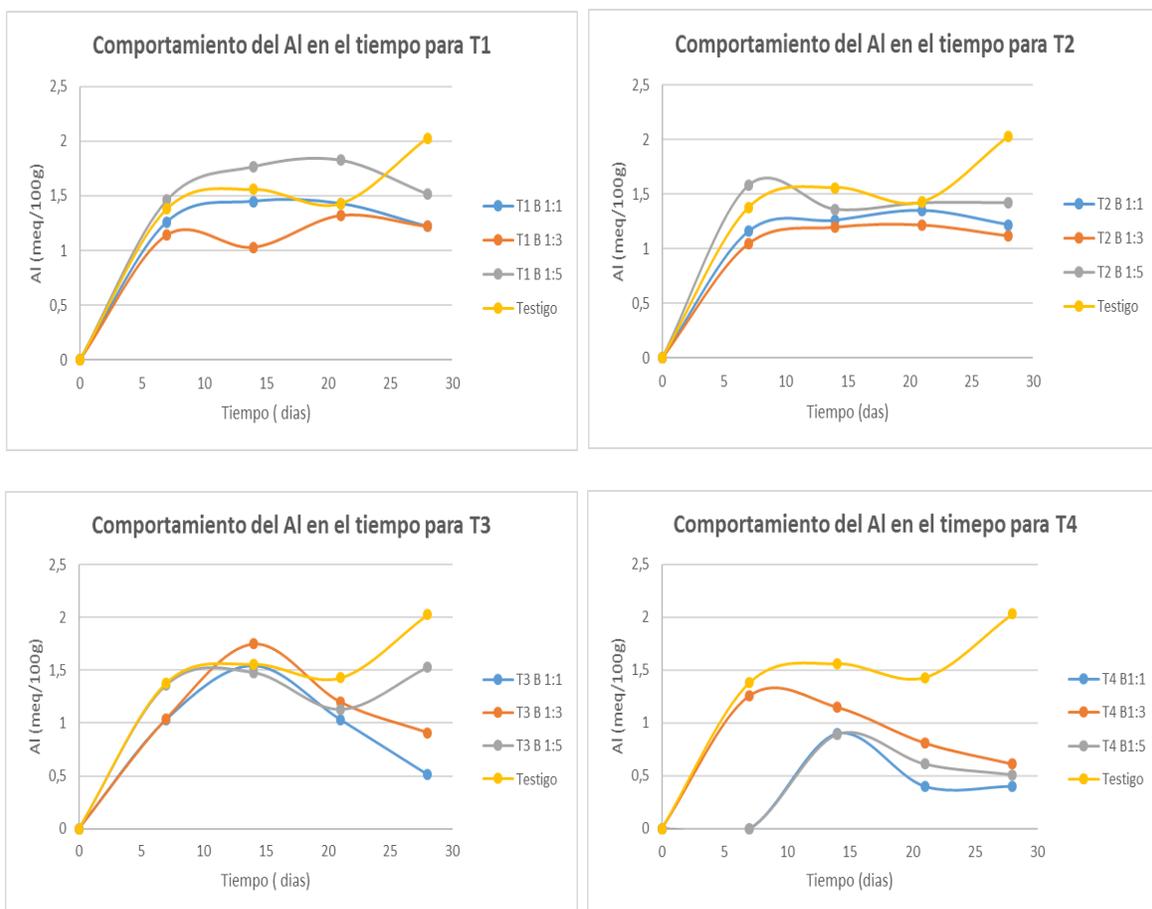
De igual modo se especifican los resultados al inicio y al final por tratamiento y por bloque: para el tratamiento 1, el bloque 1:1 disminuyó un 2%, por el contrario para

el bloque 1:3 y 1:5 hubo un aumento del 6 y 7% respectivamente; para el tratamiento 2, con respecto al bloque 1:3 y 1:5 hubo disminución del 36 y 38% respectivamente, pero por el contrario para el bloque 1:1 ocurrió aumento del 23%; con respecto al tratamiento 3, en los bloques 1:1 y 1:5 hubo una disminución del 31%, pero para el bloque 1:3 presentó un aumento del 7%; de manera semejante para el tratamiento 4, los bloques 1:1 y 1:5 presentaron aumento del 20 y 27% respectivamente, pero para el bloque 1:3 mostró disminución del 30%; finalmente el testigo evidencia una disminución del 9%, ya que solo se trató con agua de riego, y los aportes nutricionales o enmiendas que se realizaron con anterioridad fueron lavadas.

Finalmente, en el anexo 17 se presenta la estadística descriptiva para la C.I.C, como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de intervalos de confianza de la media, y valores máximos y mínimos. En las comparaciones por bloques, no se encontraron diferencias significativas para cada uno de los tratamientos (anexo 18), como tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos (anexo 19).

7.3.4 Aluminio (Al)

Álvarez, Sam y Reynaldo (2005) afirman que el aluminio hace parte de los complejos aluminio-silicato que liberan fácilmente el ion Al^{3+} a la solución del suelo; según el pH, el aluminio puede estar de forma soluble, intercambiable y tóxica para las plantas (Al^{3+}), o de forma polimerizada. En el caso de la investigación, se presentó aluminio intercambiable en el suelo con la adición de solo riego y dilución con efluente siendo sus reacciones las responsables de la acidificación en el suelo; con esto la estadística descriptiva (anexo 20) muestra que los valores mínimos correspondieron a cero (inexistencia), debido a que el suelo en su estado inicial no presentaba Al, y en el tiempo los valores aumentaron hasta un máximo 1,83 meq/100gr (gráfica 6).



Gráfica 6. Comportamiento del Al en el suelo

El testigo con solo agua de riego mostró mayor concentración de Al, observándose que, a pesar de las enmiendas aplicadas al suelo, lo que ocurrió fue un lavado. Los tratamientos 1 y 2 al final tendieron hacia su estabilidad, con el tratamiento 3 se dieron oscilaciones para los bloques 1:1 y 1:3 con tendencia a la disminución, mientras que para el bloque 1:5 aumentó, el tratamiento 4 para el bloque 1:1 fue el de menor impacto, mientras el bloque 1:3 presentó las mayores concentraciones. Frente a esto Rivera, Moreno, Herrera y Romero (2016) afirman que los suelos ácidos pueden ser resultado de la mineralización de materiales parentales con bajo contenido de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+), de una disminución de pH ocasionada por la lixiviación de estos elementos o de prácticas agrícolas que incluyen la aplicación de fertilizantes amoniacales, la acidez de los suelos limita el

crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la baja disponibilidad de nutrientes esenciales, especialmente calcio, magnesio y algunos micronutrientes. Pero Owen, 1995 afirma que la palma de aceite tolera una saturación de Al hasta del 80%, pero que la alta concentración de este interfiere con la absorción de Mg y P.

Finalmente, el anexo 20 se presenta la estadística descriptiva para el parámetro de Al como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de intervalos de confianza de la media, y valores máximos y mínimos obtenidos. Se encontró que, en las comparaciones por bloques, No se encuentran diferencias significativas para cada una de las concentraciones (anexo 21), mientras que en la comparación por tratamientos existen diferencias significativas en el tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 y el testigo (anexo 22).

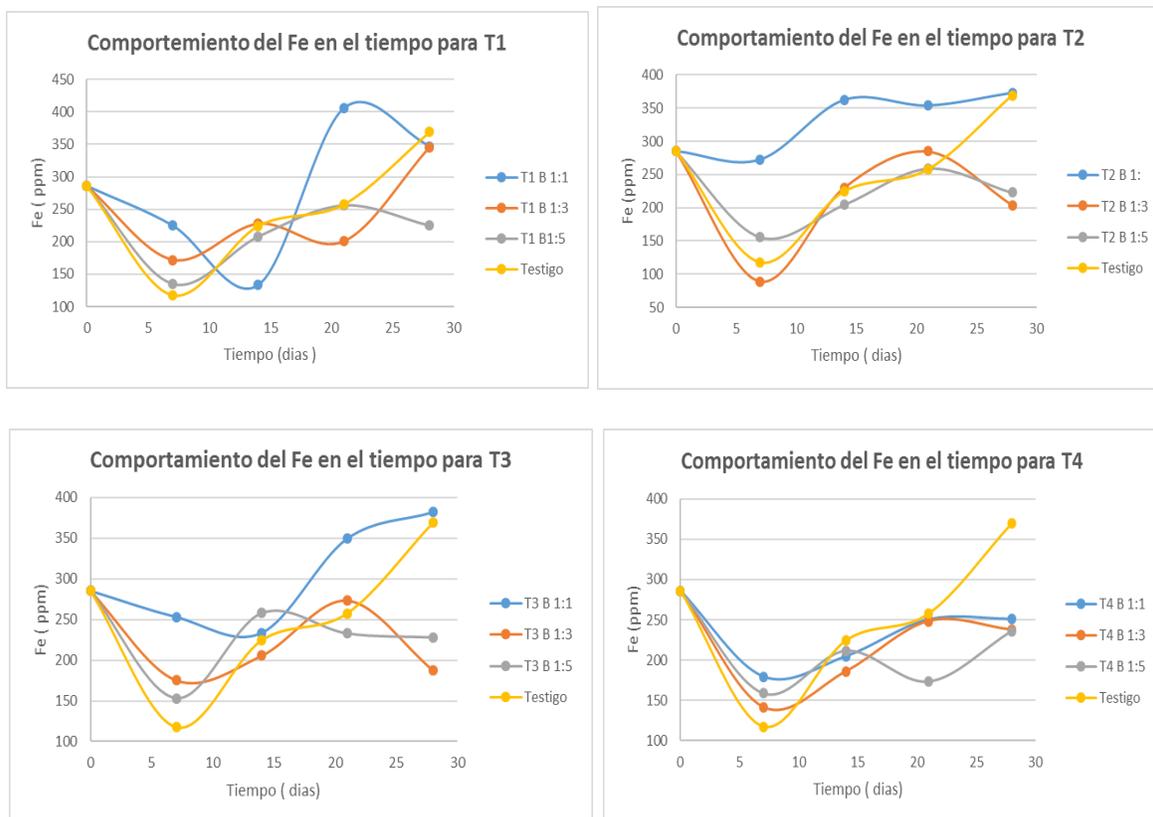
7.3.5 Hierro (Fe)

La medición de hierro en el suelo fue necesaria de hacer debido a que este al presentar una condición acida, se generan diferentes interacciones entre el manganeso y el aluminio haciendo que este elemento alcance altos valores en tiempo; además de ello el Hierro es característico de los suelos oxisoles.

Frente a esto el Hierro presentó altas concentraciones en el suelo con ligeras diferencias entre tratamientos, siendo el bloque 1:1 en los tratamientos 1, 2 y 3 los más sobresalientes, indicando mayor concentración. Con respecto al bloque 1:3, la tendencia de los tratamientos 2 y 3 son a disminuir, y finalmente para el bloque 1:5, tienden a la estabilidad en el tiempo (gráfica 7).

De igual modo se resaltan los valores que se obtuvieron entre el tiempo cero y el tiempo final en el bloque 1:1 para los tratamientos 1, 2 y 3, los cuales presentaron aumento en 22, 31 y 34%, contrario al tratamiento 4 que disminuyó el 28%; en el bloque 1:5 todos los tratamientos presentaron disminución entre 30 y 20%. Con esto Galindo y Romero, 2010, sugieren que la intervención de microorganismos

ayuda a mejorar los procesos de solubilización de algunos elementos para que se encuentren libres en solución de suelo y se puedan generar mejores procesos



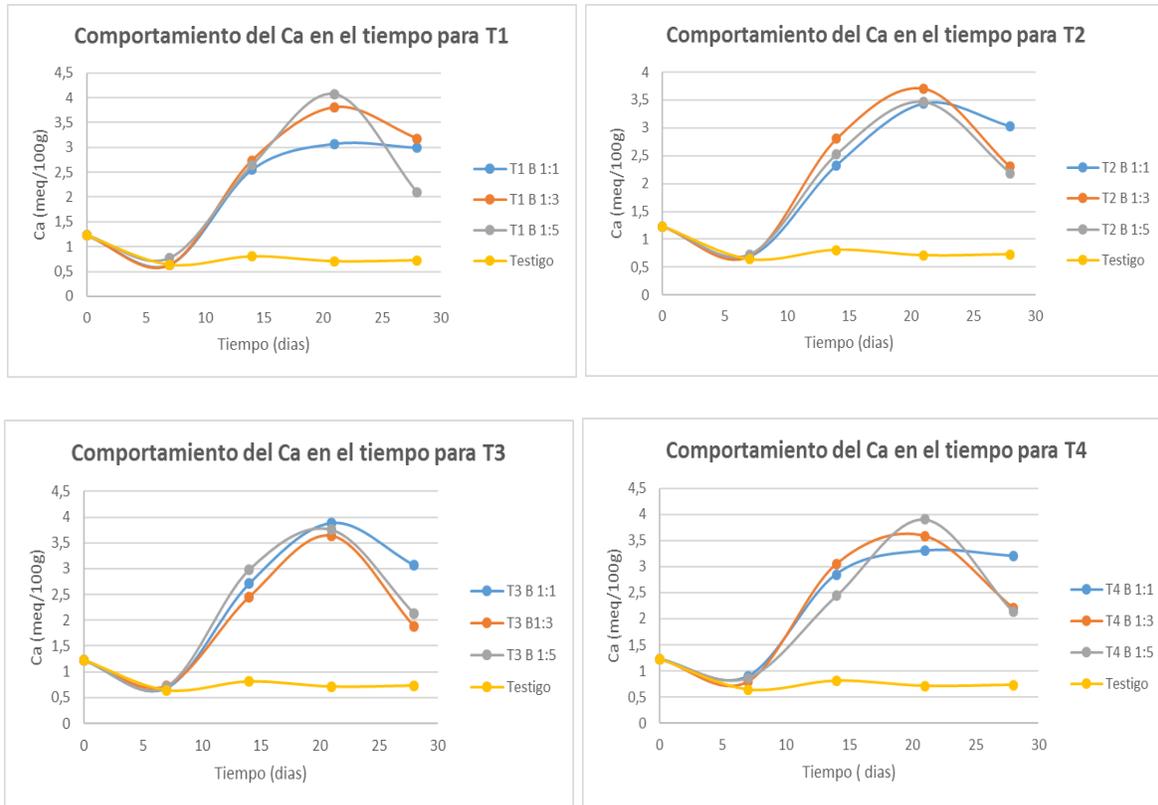
Grafica 7. Comportamiento del Fe en el suelo

Se presenta la estadística descriptiva para el Fe (anexo 23) como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de IC de la media, y valores máximos y mínimos. En los bloques existen diferencias significativas entre la concentración 1:1 con relación a 1:3 y 1:5 correspondiente al tratamiento 2 (anexo 24). No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (anexo 25).

7.3.6 Calcio (Ca)

El calcio expresó la mayor concentración a los 21 días (gráfica 8). El bloque 1:5 en los tratamientos 1 y 4 presentó la mayor concentración en el tiempo ya señalado; con respecto al bloque 1:1 en todos los tratamientos se mantiene una

concentración alta pero no significativa como en el resto de los bloques. El testigo no es afectado, debido a que no existe aporte de este elemento.



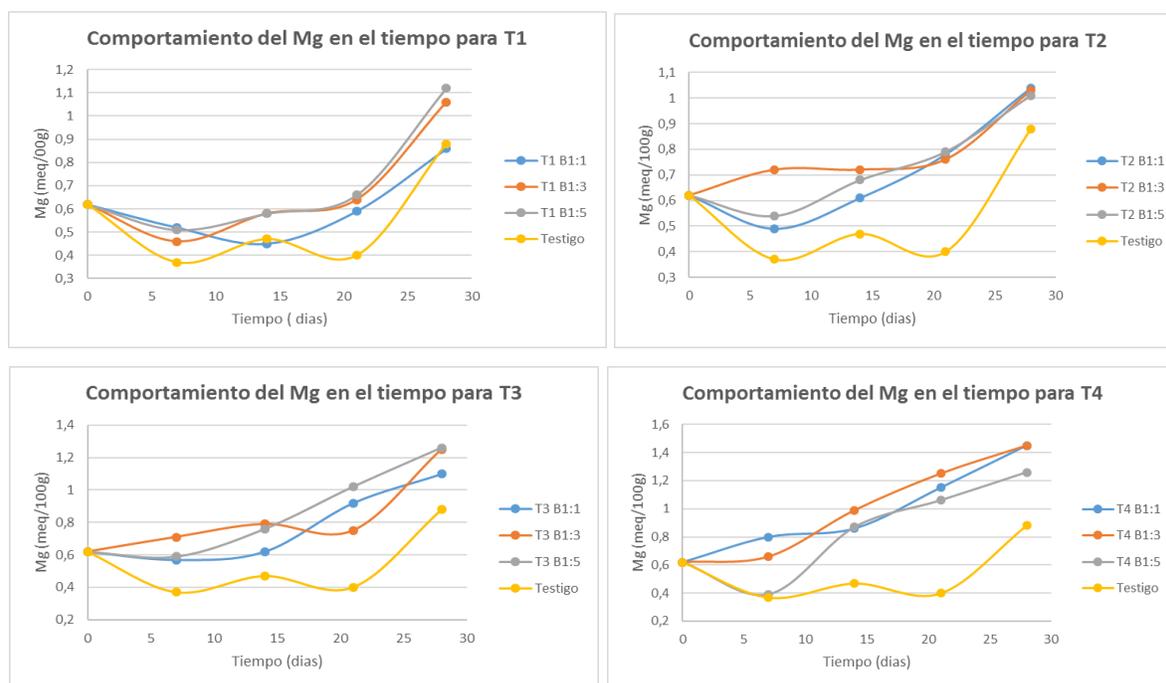
Grafica 8. Tendencia del Ca en el suelo

Owen (1992) afirma que suelos con alto contenido de calcio intercambiable (>3 a 4 me/100 g) y deficientes en cloro, aplicaciones de KCl produce únicamente asimilación de cloro en grandes cantidades y el incremento del cloro va acompañado con el aumento de uno o varios cationes (K, Ca, Mg) o la suma de ellos; en suelos de bajo contenido de calcio (<0.4 me/100 gr) tanto el potasio como el cloro son absorbidos y hay una depresión en la absorción de calcio y magnesio; con esto se puede afirmar que los resultados obtenidos no generan ni daños, ni déficits en el suelo, indicando que este elemento se encuentra dentro de los valores normales o asimilables por el suelo y este es aprovechable por las plantas en forma de Ca^{+} .

En el anexo 26 se presenta la estadística descriptiva para el Ca, como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de IC de la media, y valores máximos y mínimos. En las comparaciones por bloques no se encuentran diferencias significativas (anexo 27), mientras que entre tratamientos si existen diferencias significativas del Testigo con respecto a los tratamientos 1, 2, 3 y 4 (anexo 28).

7.3.7 Magnesio (Mg)

El magnesio expresó la mayor concentración a los 28 días del proceso de incubación, de este modo el tratamiento 4 en todos los bloques fue el de mayor concentración (gráfica 9). Ross (2004) afirma que las tierras dedicadas a Palma de aceite generalmente presentan contenidos de magnesio intercambiable por debajo de 40 mg·kg⁻¹ y cuya saturación con aluminio es alta (60% de la CIC), con ello se induce que el efluente dentro de sus propiedades nutricionales aporta magnesio al suelo, y ayuda a suplementar la nutrición de la planta.



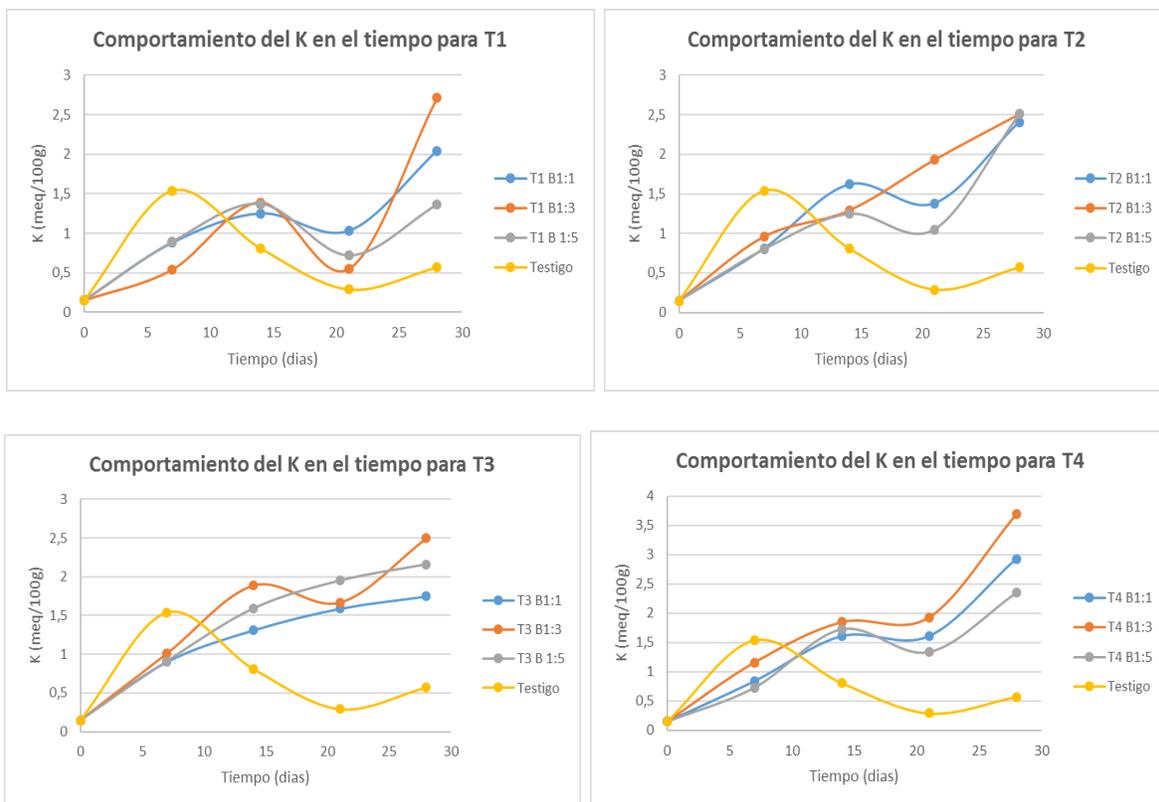
Gráfica 9. Tendencia del Mg en el suelo

En el anexo 29 se presentan la estadística descriptiva para el Mg, como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de IC de la media, y valores máximos y mínimos. Entre bloques no se encuentran diferencias significativas (anexo 30), mientras que, para las comparaciones entre tratamientos, se observó que el testigo tiene diferencias significativas con el tratamiento 3 y 4; de igual modo el tratamiento 1 presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento 4 (anexo 31).

7.3.8 Potasio (K)

El potasio en el suelo presentó un incremento significativo en la concentración con la aplicación de riego diluido con efluente a los 28 días (gráfica 10); en el tratamiento 4 ocurrió la mayor concentración. Se observa que el bloque 1:3 en todos los tratamientos se dieron las mayores concentraciones; así mismo el tratamiento 1 a medida que aumentó la dosis de efluente en cada tratamiento se hizo más notorio el aporte de potasio al suelo.

Según Recalde y Calvache (2008) el potasio es uno de los elementos esenciales para la palma de aceite ya que participa en el desarrollo de los tejidos meristemáticos y juega un papel importante en el control del agua, en la planta y en los procesos de evapotranspiración, es por ello que Owen (1992) afirman que los niveles de este elemento en el suelo deben ser mayores de 0.15-0.20 me/100g. En el estudio se evidencia que el efluente hace un alto aporte nutricional tanto al suelo como a la nutrición de la planta, mejorando diferentes procesos como los mencionados por los autores.

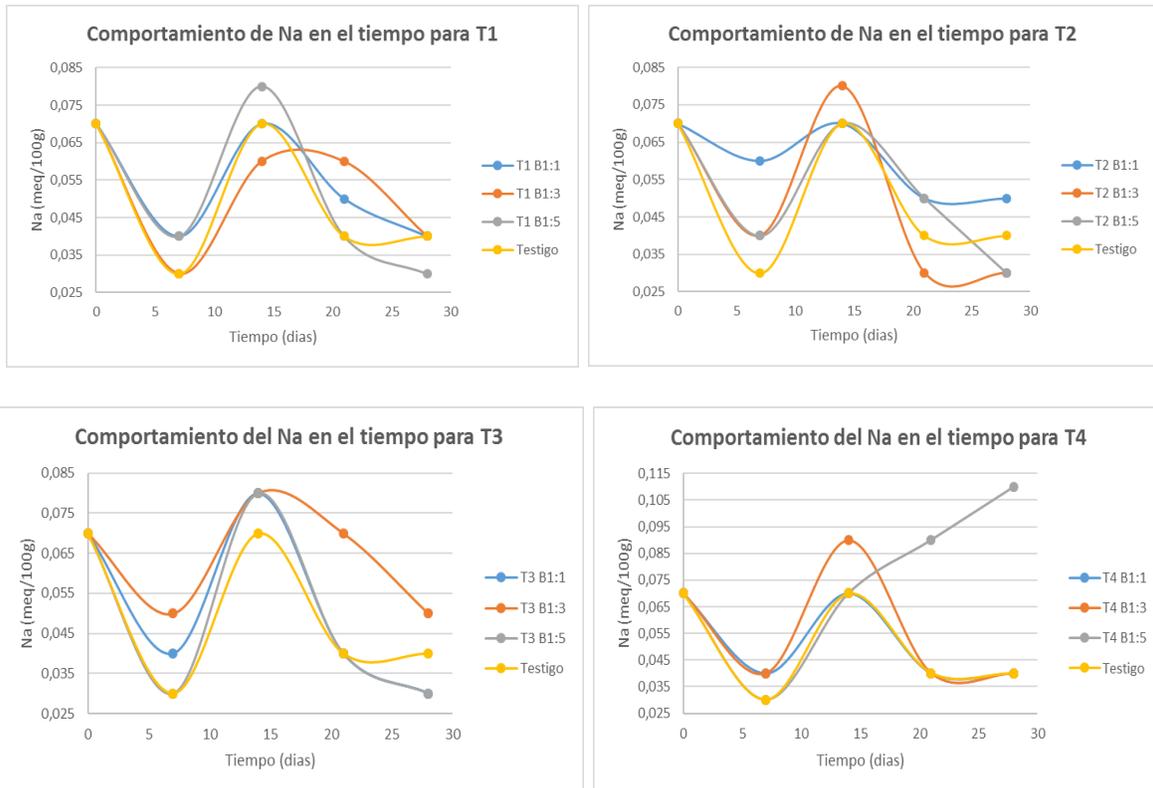


Grafica 10. Comportamiento del K en el suelo

La estadística descriptiva para el elemento K se muestra en el anexo 32: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de IC de la media, y valores máximos y mínimos obtenidos. No se encuentran diferencias significativas entre bloques (anexo 33), mientras que el tratamiento 4 presentó diferencias significativas con respecto al testigo (anexo 34).

7.3.9 Sodio (Na)

El sodio presentó oscilación con tendencia a disminuir los niveles; en el tratamiento 4 evidenció las mayores concentraciones, sobresaliendo en éste el bloque 1:5, que alcanzó un valor máximo de 0,11 meq/100 g. No hubo diferencias significativas entre tratamientos (grafica 11).



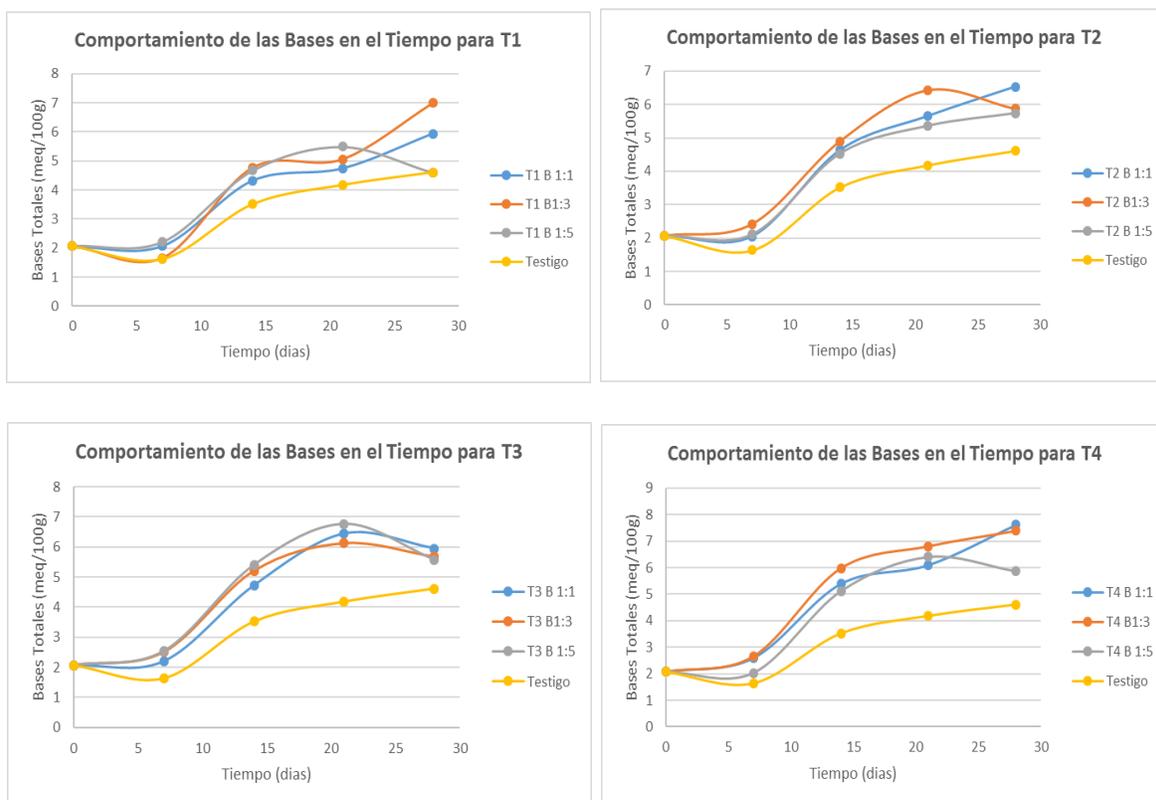
Grafica 11. Tendencia del Na en el tiempo

En el anexo 35 se presenta la estadística descriptiva para el Na como lo es: la media para un N de 15, la desviación estándar, el 95% de IC de la media, y valores máximos y mínimos obtenidos. No existen diferencias significativas entre bloques (anexo 36), ni entre tratamientos (anexo 37).

7.3.10 Bases Totales del Suelo

Las bases totales del suelo corresponden a los elementos de Na, Ca, Mg y K y son de fundamental importancia debido que a partir de estas se determinan las necesidades nutricionales. Se observa en la gráfica 12, que el efluente aplicado en diferentes dosificaciones, aumentó las bases totales del suelo durante el proceso de incubación; se resalta que el tratamiento 4 fue el de mayor aporte debido a la superior concentración de efluente. Owen (1995) afirma que la saturación de bases debe ser mayor al 20% y que es necesario mantener un equilibrio entre las bases, ya que el exceso de una produce una deficiencia en las otras.

En el anexo 38 se presenta la estadística descriptiva para las bases totales del suelo, tales como la media, la desviación estándar, el 95% de intervalos de confianza de la media, y valores máximos y mínimos. No existen diferencias significativas entre bloques, ni entre los tratamientos (anexo 39 y 40).



Gráfica 12. Tendencia de las bases totales en el suelo

7.4 CONDICIONES SUPERFICIALES DEL SUELO EN LOS DISTINTOS TRTAMIENTOS

Se observaron moteados blancos sobre la superficie de las unidades experimentales (figura 13 a 16), por acumulación puntual de calcio, diseminado y localizado sobre las aristas de los pedos (agregados), siendo de mayor notación en los tratamientos 3 y 4 de los bloques 1:3 y 1:5, en los tratamientos 1 y 2 de todas las concentraciones estos moteados fueron de menor intensidad pero perduraron en el tiempo; esto indicó que al agregar el efluente se realiza una iteración entre la

composición química del suelo con la respectiva composición del lodo, con respecto al testigo tuvo aparición de este moteados durante los primeros días de aplicación del riego, pero estos no perduraron en el tiempo . De igual modo estos moteados no fueron influencia dentro de los análisis químicos llevados a cabo en el suelo.

Finalmente se resalta la presencia de óxidos de hierro en la superficie del suelo en forma de revestimientos diseminados de color pardo rojizo siendo esto característico de un suelo oxisol.

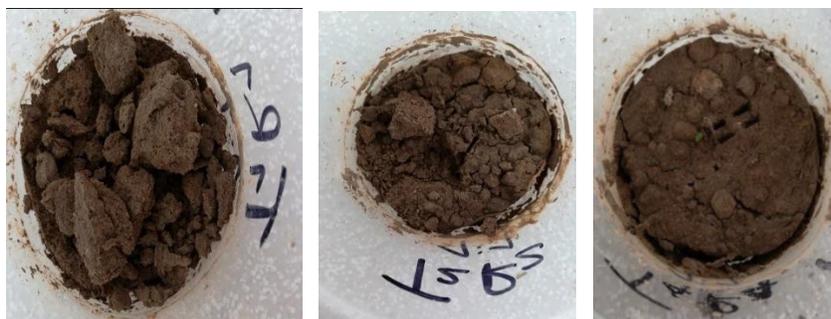


Figura 13. Suelos de bloque 1:1 para los tratamientos 1, 2 y 4



Figura 14. Suelos de bloque 1:3 para los tratamientos 1,2 ,3 y 4



Figura 15. Suelos de bloque 1:5 para los tratamientos 1, 2, 3 y 4



Figura 16. Suelo Testigo

8 CONCLUSIONES

La aplicación de efluente diluido en el agua de riego aplicado a un suelo oxisol procedente de la Empresa Unipalma S. A. localizada en Cumaral – Meta, mostró como consecuencias en todos los tratamientos: acidificación del suelo al disminuir el pH de 6.15 a 4.6 por presencia de aluminio intercambiable en concentración de $1.03 \text{ cmol.kg}^{-1}$; también incrementó la concentración de sales del suelo a 1.37 dS/m ; de igual modo las bases totales del suelo incrementaron de 2.07 a $5.84 \text{ cmol.kg}^{-1}$ dado por el aumento de calcio de 1.23 a 2.4 cmol.kg^{-1} , magnesio de 0.15 a $1.13 \text{ cmol.kg}^{-1}$ y potasio de 0.15 a $2.26 \text{ cmol.kg}^{-1}$; con respecto al hierro se presenta un rango de concentración de 285.47 a 254 ppm la cual se considera de alta concentración en suelo, finalmente presenta baja capacidad de intercambio catiónico $8.33 \text{ cmol.kg}^{-1}$.

Ocurren diferencias significativas entre las dosis aplicadas con agua de riego diluida en efluente agroindustrial de palma de aceite para los parámetros de conductividad eléctrica, aluminio, calcio y magnesio en el suelo oxisol.

La relación de dilución 20% agua y 80% efluente aplicada al suelo arrojó la mayor salinidad y por el contrario la relación de dilución 80% agua y 20% efluente presentó la menor salinidad, esto debido a la concentración de los cloruros en el efluente.

Al no encontrarse diferencias significativas entre las concentraciones 1:1, 1:3 y 1:5, es posible implementar cualquiera de estas dosis inicialmente, pero se resalta el mayor aporte nutricional en la concentración 1:1. Con esto se debe implementar a la dosificación de riego el tratamiento 4 que corresponde al 80% de efluente y 20% de agua de riego.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda neutralizar los cloruros del efluente antes de ser utilizados en la aplicación al suelo.

No se debe hacer la aplicación directa del efluente al suelo por sus efectos de toxicidad especialmente asociada a cloruros y efectos indirectos de salinidad en el suelo.

Se recomienda que, para próximas investigaciones bajo condiciones controladas para el manejo de efluentes en suelos, se realicen más replicas para cada tratamiento.

Se resalta la importancia de los altos contenidos de potasio disponible en el efluente, que junto a la oferta de fósforo y nitrógeno, lo hacen atractivo para el uso como abono, para lo cual deberá diluirse con sustancias neutralizantes y aplicar dosis controladas al suelo.

Se sugiere realizar la presente experimentación con adición de microorganismos eficientes EM en lodos diluidos al suelo con el propósito de mejorar su calidad en su dosificación, aprovechando la capacidad reguladora de las bacterias fotosintéticas o fototrópicas (*Rhodopseudomonas spp*), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*) y levaduras (*Saccharomyces spp*).

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, D., Contreras, S., y Poggi, H. (2002). Sistemas de Tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo. *Revista Avance y Perspectiva*, 21, 333-340.
2. Álvarez, I., Sam, O., y Reynaldo, I. (2005). Cambios Inducidos por el Aluminio en la morfogénesis radicular del arroz. *Revista Cultivos Tropicales*, 26 (1), 21-25.
3. Avendaño, F., y Martínez, J. (2015). Recuperación de lodos de las lagunas de oxidación provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, para usar como abono en cultivos de palma africana. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bucaramanga, Colombia.
4. Azniidris, y Aukay. (1995). Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma - proceso de la más avanzada tecnología. *Revista Palmas*, 16, 171-177.
5. Buitrago, J. (2016). Evaluación de residuos líquido agroindustriales de Palma *Elaeis guineensis* sobre las propiedades químicas de un suelo de uso agrícola. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA, Bucaramanga, Colombia.
6. Castro, H., y Munevar, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación científica*, 16 (2), 409-416.
7. Cenipalma. (2011). Estudio de los efluentes líquidos de las plantas de beneficio, orientado al cumplimiento de normas ambientales nacionales. Informe de Normatividad y Caracterización, Programa de Procesamiento.
8. Fedepalma. La palma de aceite en Colombia (2016). {En Línea}. {15 de agosto de 2017}, disponible en: (<http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Infografi%CC%81a%20General%20de%20COLOMBIA.pdf>)

9. Flores, L., y Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos Analíticos - Laboratorio de Física de Suelos. México, 56p.
10. Galindo, T., y Romero, H. (2010). Microbiología del suelo cultivado con palma de aceite en Colombia: Elemento clave para la competitividad y sostenibilidad del cultivo. Revista Palmas, 31(2),49-60.
11. Garcés, I., y Cuellar, M. (1997). Productos derivados de la industria de la palma de aceite. Usos. Revista Palmas, 18 (1), 33-48.
12. Gómez, C., y Narváez, C. (1999). Efecto de tres enmiendas orgánicas y de la cal sobre la disponibilidad y la adsorción de fosforo en un suelo acido. Revista Colombiana de Química, 28 (2), 59-67.
13. Gómez, L., y Mantilla, J. (2014). Evaluación de tres métodos para determinar requerimiento de cal y correlación con curvas de incubación en suelos ácidos de Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
14. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Carbono Orgánico - Método: Digestión vía Humedad (Walkley Black). Sexta Edición. Bogotá. IGAC.
15. IGAC. (2006). Densidad de las Partículas o Densidad Real - Método: Pícnometro. Sexta Edición. Bogotá.
16. IGAC. (2006). Determinación de Acidez Intercambiable y Aluminio - Método: Extracción con cloruro de potación y titulación volumétrica. Sexta Edición. Bogotá.
17. IGAC. (2006). Retención de Humedad - Método: Membrana de presión para determinar tensiones entre 4 y 15 atmosferas. Sexta Edición. Bogotá.
18. IGAC. (2006). Retención de Humedad- Método: Retención de Humedad entre 0,1 y 3 atmosferas. Sexta Edición. Bogotá.
19. IGAC. (2006). Textura - Método: Bouyoucos. Sexta Edición. Bogotá.
20. Knox, E. (1971). Criterios para la clasificación de suelos según la séptima aproximación en las tres categorías superiores. Costa Rica, 44p.
21. Loli Figueroa, O. (2012). Análisis de Suelos y Fertilización en un cultivo de Palma Aceitera. Perú, 32p.

22. Munevar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 19, 219-228.
23. Munevar, F. (2001). Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas*, 22 (4), 9-17.
24. Norma Técnica Colombiana. (2005). Determinación del Fosforo disponible - Método B: Bray II. Bogotá. NTC5350.
25. NTC. (2008). Determinación del pH - Método: Potenciometrico en relación suelo agua 1:1. Bogotá. NTC5264.
26. NTC. (2008). Determinación de las bases intercambiables (Na, Ca, Mg, K) - Método: Extracción con acetato de amonio 1N y pH 7. Bogotá. NTC5349.
27. NTC. (2006). Determinación del Boro Disponible - Método: Berger y Troug y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible con azometina. Bogotá. NTC5404.
28. NTC. (2007). Determinación de Micronutrientes disponibles (Zn, Fe, Mn, Cu) - Método: Empleando DTPA (ácido dietilen triamino penta acético). Bogotá. NTC5526.
29. NTC. (2004). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico - Método A: Saturación con acetato de Amonio 1N y pH 7. Bogotá. NTC5268.
30. NTC. (2006). Determinación del Azufre Disponible - Método: Extracción con fosfato monocalcico. Bogotá. NTC5402.
31. Ordoñez, R., González, P., Giráldez, J., y García, A. (1999). Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola. *Estudios de la Zona No Saturada*, 123-126.
32. Owen, E. (1992). Fertilización de la palma africana (*Elaeis Guineensis* Jacq.) en Colombia. *Revista Palmas*, 13 (2), 39-64.
33. Owen, E. (1995). Características Fisico-Químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos con énfasis en el cultivo de palma de aceite. *Revista Palmas*, 16(1), 31-39.
34. Peláez, C. (2004). Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite. 37p.

35. Quizhpi, M., Rogel, D., Romero, M., Salinas, R., y Ramírez, M. Oxisoles. {En Línea}. {25 de octubre de 2016} disponible en: (<https://es.scribd.com/document/329161630/OXISOLES>).
36. Recalde, F., y Calvache, M. (2008). Evaluación de diferentes sistemas de mantenimiento en la corona de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) sobre la absorción del potasio La Concordia - Esmeraldas. Conferencia: XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia y el Suelo. Quito - Ecuador. 8p.
37. Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero, H. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 37(1), 11-23
38. Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*, 25(2), 98-104.
39. S.f. Capítulo I "Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento". {En Línea}. {4 de diciembre de 2017} disponible en: (www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)
40. Spinelli, M. Efluentes. {En Línea}. {4 de diciembre de 2017} disponible en: (<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>)
41. Unidad de Residuos de la CONAMA RM. "Industria Procesadora de Frutas y Hortalizas". {En línea}. Disponible en: (<http://www.ingenieroambiental.com/4002/Guia%20para%20la%20prevencion%20de%20la%20contaminacion.%20Industria%20de%20frutas%20y%20hortalizas.pdf>)
42. Unipalma S.A. (2016). Caracterización fisicoquímica de Agua residual Industrial. Monitoreo de Agua residual Industrial, Villavicencio.
43. UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. (2013). Manual de procedimientos analíticos - Laboratorio de Suelos. Universidad del Magdalena, Santa Marta.

11 ANEXOS

Anexo 1. Resultados emitidos por el Laboratorio AGRILAB con respecto al efluente (estudios previos)



ANÁLISIS SOLUCIONES NUTRITIVAS DILUIDAS

MUESTRA DE EFLUENTES

PARÁMETRO	RESULTADO		METODO ANALÍTICO
pH	8,00		Potenciómetro
Conductividad Eléctrica (dS/m)	10,4		Conductímetro
Elementos / Unidades	p.p.m.	meq/Litro	Método Analítico
Potasio (K+)	2300	59,0	Absorción Atómica (Met. Interno)
Calcio (Ca++)	152	7,58	Absorción Atómica (Met. Interno)
Magnesio (Mg++)	313	25,7	Absorción Atómica (Met. Interno)
Sodio (Na+)	14,0	0,59	Emisión Llana (Met. Interno)
Amonios (N-NH4+)	155	11,1	Colorimétrico (Met. Interno)
Suma Cationes		104	
Bicarbonatos (HCO3-)	4538	74,4	Volumetría (Met. Interno)
Cloruros (Cl-)	412	11,6	Volumetría (Met. Interno)
Fósforo (P-H2PO4-)	137	4,42	Colorimétrico (Met. Interno)
Azufre (S-SO4=)	153	9,58	Turbidimétrico (Met. Interno)
Nitratos (N-NO3-)	82,0	5,89	Colorimétrico (Met. Interno)
Suma Aniones		106	
Boro	3,70		Colorimétrico (Met. Interno)
Hierro (pH Real)	1,50		Absorción Atómica (Met. Interno)
Hierro (pH 2.0)	1,80		Absorción Atómica (Met. Interno)
Manganeso	0,60		Absorción Atómica (Met. Interno)
Cobre	0,10		Absorción Atómica (Met. Interno)
Zinc	0,20		Absorción Atómica (Met. Interno)
Molibdeno	0,06		Absorción Atómica (Met. Interno)

Cálculos					
RAS	0,14	Salinidad Efectiva (meq/L)	70,6	PSP (%)	0,83
Dureza (p.p.m. CaCO3)	1160	Salinidad Potencial (meq/L)	16,4	Otro	
Alcalinidad (p.p.m. CaCO3)	3720	CSR (meq/L)	41,1		

Observaciones:
La expresión de resultados en partes por millón se refiere al elemento y en miliequivalentes por litro a la especie iónica

Anexo 2. Análisis químico completo del suelo. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ENTREGA DE RESULTADOS										
 LAGSA Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					CODIGO ER-FR-01			
							VERSIÓN 01			
							PAG: 1 DE 2			
1. DATOS DEL CLIENTE										
SOLICITANTE: UNIPALMA S.A. DIRECCIÓN: Vía Cumaral Vera Cruz Km 25 Hda Santa Bárbara					TELEFONO: 3165325347 EMAIL: julian.pena@unipalma.com		CIUDAD: Cumaral			
2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA										
MUNICIPIO : Cumaral CULTIVO: NA FECHA DE RECEPCIÓN: 30/05/17					DEPARTAMENTO: Meta ID CLIENTE: Muestra Suelo FECHA DE ENTREGA: 09/06/2017					
3. RESULTADOS										
MUESTRA LAB No.	pH	C.E	Al	CIC	Bases de intercambio				Bases Totales	
					Ca	K	Mg	Na		
050-17	6,15	dS/m			meq/100g					
	Ligeramente ácido	0,166	0,00	8,28	1,23	0,15	0,62	0,07	2,07	
		No salino	Ausencia	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Normal	Bajas	
MO	N	P	S	Elementos menores					TEXTURA	
				Cu	Fe	Mn	Zn	B		
%				ppm					Bouyoucos	
0,90	0,05	78,97	19,79	1,74	285,47	15,89	1,89	0,59	Franco	
Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio	A=44,95% L=34,26% Ar=20,79%	
Relación entre cationes				Porcentaje de saturación de cationes					% SB	%S.A.I
Resultado	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Ca	K	Mg	Na		
Valoración	Deficiente	Deficiencia de Mg	Deficiente	Relación ideal	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Normal	Bajo	Normal. Sin problemas

*Los resultados corresponden unicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio

METODOS	
pH: 1:1 (Suelo : Agua)	P: Bray II
MO: Walkley Black	S: Fosfato monobásico de calcio
Cationes: AcNH ₄ , 1N pH 7.0	B: Agua caliente, Azometina H
Elementos Menores: DTPA.	Textura: Bouyoucos

Anexo 3. Análisis físico del suelo. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ENTREGA DE RESULTADOS		
 LAGSA Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas	INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS	CÓDIGO
		ER-FR-02
		VERSIÓN 01
		PAG: 1 DE 2

1. DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITANTE: UNIPALMA S.A.	TELÉFONO: 3165325347	CIUDAD: Cumaral
DIRECCIÓN: Vía Cumaral Vera Cruz Km 25 Hda Santa Bárbara	EMAIL: julian.pena@unipalma.com	
2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
MUNICIPIO : Cumaral	DEPARTAMENTO: Meta	
CULTIVO: NA	ID CLIENTE: Muestra Suelo	
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/05/17	FECHA DE ENTREGA: 09/06/2017	

3. RESULTADOS						
MUESTRA LAB No.	Densidad Aparente	Densidad Real	Gravimétrica		Porosidad Total	Humedad Gravimetrica
			Capacidad de Campo (CC)	Punto de Marchitez Permanente (PMP)		
	g.cm ⁻³		%			
050-17	1,52	2,62	32,78	18,80	42.00	-
Estabilidad Estructural	Limites de Atterberg	Coefficiente de Estabilidad Lineal	Pemeabilidad	Conductividad Hidraulica	Infiltración	Granulometria
			cm ³ .s ⁻¹	m.dia ⁻¹	cm.h ⁻¹	g
-	-	-	-	-	-	-

Textura			
% Arena	% Limo	% Arcilla	
44,95	34,26	20,79	Franco

*Los resultados corresponden unicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio

METODOS	
Humedad gravimetrica: Secado a 105°C	Textura: Bouyoucos
Estabilidad estructural: Yoder	CC y PMP: olla y platos de presión
L.de Atterberg: Liquido, Plástico	Infiltración: Anillos infiltrómetros
Conductividad hidraulica: Pozo Barrenado	Granulometria: Juego de Tamices
Porosidad total: Relación de densidades	Densidad real : Picnómetro
Permeabilidad de suelo: Pemeámetro de cabeza constante	Densidad aparente: Terrón Parafinado

Anexo 4. Análisis de la calidad del agua de riego. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ENTREGA DE RESULTADOS		
	INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUAS	CODIGO ER-FR-05
		VERSIÓN 00
		PAG: 1 DE 1

1. DATOS DEL CLIENTE

SOLICITANTE: UNIPALMA S.A	TELÉFONO: 3165325347
DIRECCIÓN: Vía Cum aral Vera Cruz Km 25 Hda Santa	EMAIL: julian.pena@unipalma.com

2. INFORMACION DE LA MUESTRA

MUESTRA LAB No: 051-17	ID CLIENTE: Agua Rio
PUNTO DE TOMA:	RESPONSABLE: Julian Peña
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/05/2017	FECHA DE ENTREGA: 06/06/2017

3. ANÁLISIS QUIMICO DE AGUAS PARA RIEGO

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ANALITICO	RESULTADO
pH	Unidades	Electrométrico/SM 4500 H+B	6.58
Conductividad	µs/cm	Electrométrico/SM 2510 B	46.1
Cloruros	meq/L Cl	Argentrométrico/SM 4500 Cl B	0.026
Sulfatos	meq/L SO ₄	Turbidimétrico/SM 4500 SO ₄ E	0.042
Carbonatos	meq/L CaCO ₃	Volumétrico	0.00
Bicarbonatos	meq/L CaCO ₃	Volumétrico	0.38
Sodio	meq/L Na	Espectrofotométrico AA	0.014
Calcio	meq/L Ca	Espectrofotométrico AA	0.20
Magnesio	meq/L Mg	Espectrofotométrico AA	0.22
Potasio	meq/L K	Espectrofotométrico AA	0.03

RAS	0.03
-----	------

OBSERVACIONES

Clasificación: C1S1 - No hay riesgo de salinización, ni riesgo de sodificación. Son aguas aptas para riego en cualquier tipo de cultivo.

(<) Reporte menor al limite de detección del metodo.

Los resultados corresponden unicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio.

Anexo 5. Análisis químico del efluente. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ENTREGA DE RESULTADOS		
	INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS DE EFLUENTE	CÓDIGO ER-FR-05
		VERSIÓN 00
		PAG: 1 DE 1

1. DATOS DEL CLIENTE	
SOLICITANTE: UNIPALMA S.A	TELÉFONO: 3165325347
DIRECCIÓN: Vía Cumaral Vera Cruz Km 25 Hda Santa Bárba	EMAIL: julian.pena@unipalma.com
2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
MUESTRA LAB No: 052-17	ID CLIENTE: Efluente
PUNTO DE TOMA:	RESPONSABLE: Julian Peña
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/05/2017	FECHA DE ENTREGA: 06/06/2017

3. ANALISIS QUIMICO DE EFLUENTE			
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ANALITICO	RESULTADO
pH	Unidades	Electrométrico	8.08
Conductividad	mS/cm	Electrométrico	6.489
SDT	g/L	Electrométrico	3.968
Cloruros	mg/L Cl	Argentométrico	399
Fósforo	mg/L H ₂ PO ₄	Colorimétrico	82.3
Calcio	mg/L Ca	Volumétrico	130.6
Magnesio	mg/L Mg	Espectrofotométrico AA	87.06
Sodio	mg/L Na	Espectrofotométrico AA	13.5
Potasio	mg/L K	Espectrofotométrico AA	891.0
Hierro	mg/L Fe	Espectrofotométrico AA	21.56
Cobre	mg/L Cu	Espectrofotométrico AA	0.35
Zinc	mg/L Zn	Espectrofotométrico AA	5.25
Manganeso	mg/L Mn	Espectrofotométrico AA	28.9
Nitratos	mg/L N-NO ₃	Colorimétrico	360.0
Amonio	mg/L N-NH ₄	Colorimétrico	122.0
Sulfatos	mg/L SO ₄	Turbidimétrico	32.5
Boro	mg/L B		2.25
Carbonatos	mg/L CO ₃	Volumétrico	0.00
Bicarbonatos	mg/L HCO ₃	Volumétrico	1758.0

(<) Reporte menor al límite de detección del método.

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio.

Anexo 6. Registro de Humedades Diarias del Suelo

Días	BLOQUE 1:1				BLOQUE 1:3				BLOQUE 1:5				Testigo
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
1 R	25,2	26,75	24,52	22,9	24,1	23,7	24,2	23,8	24,8	23,4	23,0	21,8	27,3
2	22,8	23,7	21,7	21,3	21,7	21,6	22,0	22,0	21,5	21,3	21,5	20,8	24,5
3	21,6	21,6	20,4	20,2	20,8	20,4	20,5	20,7	20,3	20,3	20,5	20,1	21,8
4	20,5	20,4	19,7	18,8	19,7	18,8	20,0	20,0	19,2	19,4	19,3	19,1	20,8
7	20,7	20,5	20,2	20	20,3	20,2	20,9	21,1	20,5	20,7	20,6	20,1	18,2
8	17,8	19	16,8	18,3	17	16,1	18,1	16,4	16,3	16,2	17,27	17,7	15,2
10 R	25	26,3	25,9	26,1	29,4	27,9	28,8	27,2	28,3	29,4	28,5	27,6	26,0
11	23,3	25,8	24,3	24,9	27,3	26,5	27,7	25,6	27,1	28,0	26,7	26,1	24,6
12	22,2	23,9	23,2	23,3	25,2	21,8	26,1	24,1	23,2	25,4	23,3	23,0	21,9
14	18,6	20,2	18,4	19,5	16,6	17,8	22,1	19,9	18,5	19,5	20,8	15,7	17,1
16 R	34,3	34,8	33,4	37,5	32,8	33,7	33,8	37,3	32,1	32,4	34,5	35,4	31,8
17	32,8	33,3	33,1	37,3	32,8	32,9	33,5	36,4	32	32,3	34,3	34,4	31,4
18	31,8	32	32,3	36,1	31,2	31,6	31,9	32,75	27,9	32	33,5	32,4	29,7
19	28,4	29,9	31,4	32,6	30,4	30,5	30,5	31,5	29,1	31	31,9	31,4	28,85
22	18,5	20,5	19,3	22,1	19,6	19,1	20,1	23,9	17,8	20,1	20,3	20,5	18,35
23	12	12,3	13,3	12,1	11,7	11,9	11,4	12,1	12,4	11	11,6	11	10
24 R	30,9	28,8	31,4	31,9	30,4	29,2	32,1	30	27,3	27,8	30	28,7	32,4
25	30	27,2	30,7	30,3	28,1	28,5	30,5	29	25,7	27	28,9	28,4	27,4
26	26,5	24,4	24	24,9	23,4	26,1	29,6	28,4	23,1	25,7	21,5	27,3	20
28	13,4	14,1	16,7	11,4	14,2	11,1	19	13,2	10,6	14,3	12,1	19,5	11,6

Anexo 7. Análisis químico de la investigación 7 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ID MUESTRA	pH	CE	Al	CIC	Ca	Mg	Na	K	BT	Fe
T1 1:1	5,30	0,63	1,26	11,64	0,64	0,52	0,04	0,88	2,08	174,73
T1 1:3	5,37	0,48	1,14	11,06	0,63	0,46	0,03	0,54	1,66	171,96
T1 1:5	5,36	0,66	1,46	10,66	0,77	0,51	0,04	0,89	2,21	135,40
T2 1:1	5,43	0,57	1,16	13,67	0,69	0,49	0,06	0,81	2,05	172,57
T2 1:3	5,36	0,63	1,05	13,88	0,70	0,72	0,04	0,96	2,42	108,58
T2 1:5	5,46	0,50	1,58	14,01	0,73	0,54	0,04	0,80	2,11	155,63
T3 1:1	5,45	0,75	1,03	13,81	0,69	0,57	0,04	0,90	2,20	183,42
T3 1:3	5,53	0,75	1,04	12,90	0,73	0,71	0,05	1,01	2,50	175,49
T3 1:5	5,42	0,69	1,36	14,01	0,71	0,59	0,03	0,91	2,24	153,21
T4 1:1	5,56	0,68	0,98	12,90	0,90	0,80	0,04	0,84	2,58	179,38
T4 1:3	5,48	0,74	1,26	14,72	0,79	0,66	0,04	1,16	2,65	141,74
T4 1:5	5,65	0,42	0,80	14,25	0,87	0,39	0,03	0,73	2,02	159,26
TESTIGO	5,35	0,44	1,38	11,87	0,64	0,37	0,03	0,53	1,57	117,52

Anexo 8. Análisis químico de la investigación 14 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ID MUESTRA	pH	CE	Al	CIC	Ca	Mg	Na	K	BT	Fe
T1 1:1	4,20	0,74	1,45	7,19	2,55	0,45	0,07	1,25	4,32	173,18
T1 1:3	4,59	0,76	1,03	6,73	2,74	0,58	0,06	1,39	4,77	217,61
T1 1:5	4,87	0,71	1,77	6,81	2,64	0,58	0,08	1,37	4,67	208,16
T2 1:1	4,03	0,94	1,26	6,78	2,33	0,61	0,07	1,62	4,63	262,67
T2 1:3	4,40	1,02	1,20	9,10	2,81	0,72	0,08	1,29	4,90	230,09
T2 1:5	4,25	0,74	1,36	8,93	2,53	0,68	0,07	1,25	4,53	204,33
T3 1:1	4,20	0,92	1,54	5,51	2,71	0,62	0,08	1,31	4,72	233,80
T3 1:3	4,15	1,15	1,75	7,43	2,45	0,79	0,08	1,89	5,21	205,63
T3 1:5	4,20	0,94	1,48	8,86	2,98	0,76	0,08	1,59	5,41	258,19
T4 1:1	5,21	1,10	0,90	7,09	2,85	0,86	0,07	1,61	5,39	204,53
T4 1:3	4,47	1,35	1,15	9,81	3,05	0,99	0,09	1,85	5,98	186,08
T4 1:5	4,58	0,94	0,89	8,31	2,44	0,87	0,07	1,73	5,11	211,70
TESTIGO	4,27	0,35	1,56	10,56	0,81	0,47	0,07	0,71	2,06	224,33

Anexo 9. Análisis químico de la investigación 21 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ID MUESTRA	pH	CE	Al	CIC	Ca	Mg	Na	K	BT	Fe
T1 1:1	4,08	1,02	1,43	9,78	3,07	0,59	0,05	1,03	4,74	305,43
T1 1:3	4,39	0,69	1,32	8,14	3,81	0,64	0,06	0,55	5,06	200,49
T1 1:5	4,22	0,85	1,83	10,34	4,07	0,66	0,04	0,72	5,49	256,25
T2 1:1	4,29	1,17	1,35	8,32	3,44	0,78	0,05	1,38	5,65	304,20
T2 1:3	4,42	1,12	1,22	9,74	3,71	0,76	0,03	1,93	6,43	284,97
T2 1:5	4,41	1,07	1,42	9,93	3,47	0,79	0,05	1,05	5,36	259,31
T3 1:1	4,61	1,23	1,03	11,15	3,89	0,92	0,04	1,59	6,44	309,57
T3 1:3	4,58	1,55	1,20	9,12	3,64	0,75	0,07	1,67	6,13	273,68
T3 1:5	4,49	1,27	1,13	9,05	3,76	1,02	0,04	1,95	6,77	233,16
T4 1:1	5,01	1,62	0,40	12,97	3,30	1,15	0,04	1,61	6,10	250,12
T4 1:3	4,38	1,55	0,81	10,80	3,59	1,25	0,04	1,93	6,81	248,33
T4 1:5	4,91	1,19	0,61	11,60	3,91	1,06	0,09	1,34	6,40	173,87
TESTIGO	4,25	0,35	1,43	10,00	0,71	0,40	0,04	0,59	1,74	257,68

Anexo 10. Análisis químico de la investigación 28 días. Resultado emitido por laboratorio LAGSA

ID MUESTRA	pH	CE	Al	CIC	Ca	Mg	Na	K	BT	Fe
T1 1:1	4,30	0,95	1,22	8,13	2,99	0,86	0,04	2,04	5,93	347,09
T1 1:3	4,45	1,10	1,22	8,75	3,18	1,06	0,04	2,71	6,99	345,78
T1 1:5	4,34	0,99	1,52	8,89	2,09	1,12	0,03	1,36	4,60	224,99
T2 1:1	4,33	1,31	1,22	8,18	3,03	1,04	0,05	2,41	6,53	273,45
T2 1:3	4,55	1,49	1,12	7,10	2,30	1,03	0,03	2,51	5,87	203,98
T2 1:5	4,44	1,18	1,42	7,32	2,19	1,01	0,03	2,51	5,74	222,80
T3 1:1	4,72	1,54	0,51	6,71	3,07	1,10	0,03	1,75	5,95	281,95
T3 1:3	4,72	1,91	0,91	8,90	1,88	1,25	0,05	2,50	5,68	188,06
T3 1:5	4,65	1,63	1,53	6,72	2,13	1,26	0,03	2,16	5,58	228,21
T4 1:1	5,35	1,77	0,40	9,92	3,20	1,45	0,04	2,93	7,62	250,77
T4 1:3	5,01	1,83	0,61	8,66	2,21	1,45	0,04	3,39	7,09	237,58
T4 1:5	4,88	1,73	0,51	10,53	2,14	1,26	0,11	2,35	5,86	235,92
TESTIGO	4,26	0,46	1,21	8,51	0,73	0,88	0,04	0,57	2,22	269,12

Anexo 11. Análisis estadístico descriptivo del pH

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH Tratamiento 1	Concentración 1:1	5	4,8060	0,89453	0,40004	3,6953	5,9167	4,08	6,15
	Concentración 1:3	5	4,9900	0,75855	0,33923	4,0481	5,9319	4,39	6,15
	Concentración 1:5	5	4,9880	0,79251	0,35442	4,0040	5,9720	4,22	6,15
	Total	15	4,9280	0,76187	0,19671	4,5061	5,3499	4,08	6,15
pH Tratamiento 2	Concentración 1:1	5	4,8460	0,90591	0,40514	3,7212	5,9708	4,03	6,15
	Concentración 1:3	5	4,9760	0,76618	0,34265	4,0247	5,9273	4,40	6,15
	Concentración 1:5	5	4,9420	0,82787	0,37024	3,9141	5,9699	4,25	6,15
	Total	15	4,9213	0,77542	0,20021	4,4919	5,3507	4,03	6,15
pH Tratamiento 3	Concentración 1:1	5	5,0260	0,77332	0,34584	4,0658	5,9862	4,20	6,15
	Concentración 1:3	5	5,0260	0,80270	0,35898	4,0293	6,0227	4,15	6,15
	Concentración 1:5	5	4,9820	0,79371	0,35496	3,9965	5,9675	4,20	6,15
	Total	15	5,0113	0,73172	0,18893	4,6061	5,4165	4,15	6,15
pH Tratamiento 4	Concentración 1:1	5	5,4560	0,43678	0,19534	4,9137	5,9983	5,01	6,15
	Concentración 1:3	5	5,0980	0,73659	0,32941	4,1834	6,0126	4,38	6,15
	Concentración 1:5	5	5,2340	0,64617	0,28897	4,4317	6,0363	4,58	6,15
	Total	15	5,2627	0,59342	0,15322	4,9340	5,5913	4,38	6,15
pH Testigo	Concentración 1:1	5	4,8560	0,86376	0,38628	3,7835	5,9285	4,25	6,15
	Concentración 1:3	5	4,8560	0,86376	0,38628	3,7835	5,9285	4,25	6,15
	Concentración 1:5	5	4,8560	0,86376	0,38628	3,7835	5,9285	4,25	6,15
	Total	15	4,8560	0,79969	0,20648	4,4131	5,2989	4,25	6,15

Anexo 12. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable pH, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
pH Tratamiento 1. pH_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,18400	0,51687	0,933	-1,5629	1,1949
		Concentración 1:5	-0,18200	0,51687	0,934	-1,5609	1,1969
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,00200	0,51687	1,000	-1,3769	1,3809
pH Tratamiento 2. pH_T2	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,13000	0,52828	0,967	-1,5394	1,2794
		Concentración 1:5	-0,09600	0,52828	0,982	-1,5054	1,3134
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,03400	0,52828	0,998	-1,3754	1,4434
pH Tratamiento 3. pH_T3	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,49964	1,000	-1,3330	1,3330
		Concentración 1:5	0,04400	0,49964	0,996	-1,2890	1,3770
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,04400	0,49964	0,996	-1,2890	1,3770
pH Tratamiento 4. pH_T4	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,35800	0,39173	0,642	-0,6871	1,4031
		Concentración 1:5	0,22200	0,39173	0,840	-0,8231	1,2671
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	-0,13600	0,39173	0,936	-1,1811	0,9091
pH Testigo	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,54629	1,000	-1,4574	1,4574
		Concentración 1:5	0,00000	0,54629	1,000	-1,4574	1,4574
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,00000	0,54629	1,000	-1,4574	1,4574

Anexo 13. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2,T3,T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable pH, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	0,00667	0,26876	1,000	-0,7459	0,7592
	T3	-0,08333	0,26876	0,998	-0,8359	0,6692
	T4	-0,33467	0,26876	0,725	-1,0872	0,4179
	Testigo	0,07200	0,26876	0,999	-0,6806	0,8246
Tratamiento 2 (T2)	T1	-0,00667	0,26876	1,000	-0,7592	0,7459
	T3	-0,09000	0,26876	0,997	-0,8426	0,6626
	T4	-0,34133	0,26876	0,710	-1,0939	0,4112
	Testigo	0,06533	0,26876	0,999	-0,6872	0,8179
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,08333	0,26876	0,998	-0,6692	0,8359
	T2	0,09000	0,26876	0,997	-0,6626	0,8426
	T4	-0,25133	0,26876	0,882	-1,0039	0,5012
	Testigo	0,15533	0,26876	0,978	-0,5972	0,9079
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,33467	0,26876	0,725	-0,4179	1,0872
	T2	0,34133	0,26876	0,710	-0,4112	1,0939
	T3	0,25133	0,26876	0,882	-0,5012	1,0039
	Testigo	0,40667	0,26876	0,558	-0,3459	1,1592
Testigo	T1	-0,07200	0,26876	0,999	-0,8246	0,6806
	T2	-0,06533	0,26876	0,999	-0,8179	0,6872
	T3	-0,15533	0,26876	0,978	-0,9079	0,5972
	T4	-0,40667	0,26876	0,558	-1,1592	0,3459

Anexo 14. Análisis estadístico descriptivo del CE_e

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Conductividad Eléctrica T1	Concentración 1:1	5	0,7020	0,33764	0,15100	0,2828	1,1212	0,17	1,02
	Concentración 1:3	5	0,6398	0,34562	0,15457	0,2107	1,0689	0,17	1,10
	Concentración 1:5	5	0,6748	0,31243	0,13972	0,2869	1,0627	0,17	0,99
	Total	15	0,6722	0,30868	0,07970	0,5013	0,8431	0,17	1,10
Conductividad Eléctrica T2	Concentración 1:1	5	0,8318	0,46503	0,20797	0,2544	1,4092	0,17	1,31
	Concentración 1:3	5	0,8858	0,50496	0,22582	0,2588	1,5128	0,17	1,49
	Concentración 1:5	5	0,7304	0,41565	0,18588	0,2143	1,2465	0,17	1,18
	Total	15	0,8160	0,43411	0,11209	0,5756	1,0564	0,17	1,49
Conductividad Eléctrica T3	Concentración 1:1	5	0,9204	0,51944	0,23230	0,2754	1,5654	0,17	1,54
	Concentración 1:3	5	1,1046	0,68153	0,30479	0,2584	1,9508	0,17	1,91
	Concentración 1:5	5	0,9394	0,55814	0,24961	0,2464	1,6324	0,17	1,63
	Total	15	0,9881	0,55330	0,14286	0,6817	1,2945	0,17	1,91
Conductividad Eléctrica T4	Concentración 1:1	5	1,0664	0,66441	0,29714	0,2414	1,8914	0,17	1,77
	Concentración 1:3	5	1,1278	0,66967	0,29949	0,2963	1,9593	0,17	1,83
	Concentración 1:5	5	0,8886	0,62169	0,27803	0,1167	1,6605	0,17	1,73
	Total	15	1,0276	0,61295	0,15826	0,6882	1,3670	0,17	1,83
Conductividad Eléctrica Testigo	Concentración 1:1	5	0,3534	0,11638	0,05205	0,2089	0,4979	0,17	0,46
	Concentración 1:3	5	0,3534	0,11638	0,05205	0,2089	0,4979	0,17	0,46
	Concentración 1:5	5	0,3534	0,11638	0,05205	0,2089	0,4979	0,17	0,46
	Total	15	0,3534	0,10775	0,02782	0,2937	0,4131	0,17	0,46

Anexo 15. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CE_e , para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Conductividad Eléctrica. Tratamiento 1. CE_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,06220	0,21010	0,953	-0,4983	0,6227
		Concentración 1:5	0,02720	0,21010	0,991	-0,5333	0,5877
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	-0,03500	0,21010	0,985	-0,5955	0,5255
Conductividad Eléctrica. Tratamiento 2. CE_T2	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,05400	0,29303	0,981	-0,8358	0,7278
		Concentración 1:5	0,10140	0,29303	0,936	-0,6804	0,8832
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,15540	0,29303	0,858	-0,6264	0,9372
Conductividad Eléctrica. Tratamiento 3. CE_T3	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,18420	0,37342	0,876	-1,1804	0,8120
		Concentración 1:5	-0,01900	0,37342	0,999	-1,0152	0,9772
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,16520	0,37342	0,899	-0,8310	1,1614
Conductividad Eléctrica. Tratamiento 4. CE_T4	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,06140	0,41254	0,988	-1,1620	1,0392
		Concentración 1:5	0,17780	0,41254	0,903	-0,9228	1,2784
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,23920	0,41254	0,833	-0,8614	1,3398
Conductividad Eléctrica. Testigo	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,07361	1,000	-0,1964	0,1964
		Concentración 1:5	0,00000	0,07361	1,000	-0,1964	0,1964
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,00000	0,07361	1,000	-0,1964	0,1964

Anexo 16. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CEE, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T3	-0,14380	0,16143	0,899	-0,5958	0,3082
	T3	-0,31593	0,16143	0,298	-0,7680	0,1361
	T4	-0,35540	0,16143	0,191	-0,8074	0,0966
	Testigo	0,31880	0,16143	0,289	-0,1332	0,7708
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,14380	0,16143	0,899	-0,3082	0,5958
	T3	-0,17213	0,16143	0,823	-0,6242	0,2799
	T4	-0,21160	0,16143	0,685	-0,6636	0,2404
	Testigo	0,46260*	0,16143	0,042	0,0106	0,9146
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,31593	0,16143	0,298	-0,1361	0,7680
	T2	0,17213	0,16143	0,823	-0,2799	0,6242
	T4	-0,03947	0,16143	0,999	-0,4915	0,4126
	Testigo	0,63473*	0,16143	0,002	0,1827	1,0868
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,35540	0,16143	0,191	-0,0966	0,8074
	T2	0,21160	0,16143	0,685	-0,2404	0,6636
	T3	0,03947	0,16143	0,999	-0,4126	0,4915
	Testigo	0,67420*	0,16143	0,001	0,2222	1,1262
Testigo	T1	-0,31880	0,16143	0,289	-0,7708	0,1332
	T2	-0,46260*	0,16143	0,042	-0,9146	-0,0106
	T3	-0,63473*	0,16143	0,002	-1,0868	-0,1827
	T4	-0,67420*	0,16143	0,001	-1,1262	-0,2222

Anexo 17. Análisis estadístico descriptivo del C.I.C

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Capacidad de Intercambio Catiónico. T1	Concentración 1:1	5	11,0040	6,01767	2,69118	3,5321	18,4759	7,19	21,64
	concentración 1:3	5	8,7920	1,97615	,88376	6,3383	11,2457	6,73	12,06
	concentración 1:5	5	8,9960	1,57144	,70277	7,0448	10,9472	6,81	10,66
	Total	15	9,5973	3,63801	,93933	7,5827	11,6120	6,73	21,64
Capacidad de Intercambio Catiónico. T2	concentración 1:1	5	9,0460	3,23960	1,44879	5,0235	13,0685	4,78	13,67
	concentración 1:3	5	9,6200	2,57771	1,15279	6,4193	12,8207	7,10	13,88
	concentración 1:5	5	11,1340	5,71238	2,55465	4,0411	18,2269	7,32	21,21
	Total	15	9,9333	3,87961	1,00171	7,7849	12,0818	4,78	21,21
Capacidad de Intercambio Catiónico. T3	concentración 1:1	5	9,2920	3,55580	1,59020	4,8769	13,7071	5,51	13,81
	concentración 1:3	5	9,3260	2,10276	,94038	6,7151	11,9369	7,43	12,90
	concentración 1:5	5	10,5560	5,28654	2,36421	3,9919	17,1201	6,72	19,87
	Total	15	9,7247	3,63748	,93919	7,7103	11,7390	5,51	19,87
Capacidad de Intercambio Catiónico. T4	concentración 1:1	5	10,2320	2,66433	1,19153	6,9238	13,5402	7,09	12,97
	concentración 1:3	5	10,8540	4,66856	2,08784	5,0572	16,6508	6,66	18,72
	concentración 1:5	5	10,5940	2,49768	1,11700	7,4927	13,6953	8,28	14,25
	Total	15	10,5600	3,17924	,82088	8,7994	12,3206	6,66	18,72
Capacidad de Intercambio Catiónico. Testigo	concentración 1:1	5	9,6440	1,75608	,78534	7,4635	11,8245	7,51	11,87
	concentración 1:3	5	9,6440	1,75608	,78534	7,4635	11,8245	7,51	11,87
	concentración 1:5	5	9,6440	1,75608	,78534	7,4635	11,8245	7,51	11,87
	Total	15	9,6440	1,62582	,41978	8,7437	10,5443	7,51	11,87

Anexo 18. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CIC, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Capacidad de Intercambio Catiónico. Tratamiento 1. CIC_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	2,21200	2,38291	0,634	-4,1453	8,5693
		concentración 1:5	2,00800	2,38291	0,685	-4,3493	8,3653
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,20400	2,38291	0,996	-6,5613	6,1533
Capacidad de Intercambio Catiónico. Tratamiento 2. CIC_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,57400	2,57606	0,973	-7,4466	6,2986
		concentración 1:5	-2,08800	2,57606	0,704	-8,9606	4,7846
	concentración 1:3	concentración 1:5	-1,51400	2,57606	0,829	-8,3866	5,3586
Capacidad de Intercambio Catiónico. Tratamiento 3. CIC_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,03400	2,44984	1,000	-6,5698	6,5018
		concentración 1:5	-1,26400	2,44984	0,865	-7,7998	5,2718
	concentración 1:3	concentración 1:5	-1,23000	2,44984	0,872	-7,7658	5,3058
Capacidad de Intercambio Catiónico. Tratamiento 4. CIC_T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,62200	2,16433	0,956	-6,3961	5,1521
		concentración 1:5	-0,36200	2,16433	0,985	-6,1361	5,4121
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,26000	2,16433	0,992	-5,5141	6,0341
Capacidad de Intercambio Catiónico. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	1,11064	1,000	-2,9630	2,9630
		concentración 1:5	0,00000	1,11064	1,000	-2,9630	2,9630
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	1,11064	1,000	-2,9630	2,9630

Anexo 19. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable CIC, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	-0,33600	1,20298	0,999	-3,7045	3,0325
	T3	-0,12733	1,20298	1,000	-3,4959	3,2412
	T4	-0,96267	1,20298	0,930	-4,3312	2,4059
	Testigo	-0,04667	1,20298	1,000	-3,4152	3,3219
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,33600	1,20298	0,999	-3,0325	3,7045
	T3	0,20867	1,20298	1,000	-3,1599	3,5772
	T4	-0,62667	1,20298	0,985	-3,9952	2,7419
	Testigo	0,28933	1,20298	0,999	-3,0792	3,6579
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,12733	1,20298	1,000	-3,2412	3,4959
	T2	-0,20867	1,20298	1,000	-3,5772	3,1599
	T4	-0,83533	1,20298	0,957	-4,2039	2,5332
	Testigo	0,08067	1,20298	1,000	-3,2879	3,4492
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,96267	1,20298	0,930	-2,4059	4,3312
	T2	0,62667	1,20298	0,985	-2,7419	3,9952
	T3	0,83533	1,20298	0,957	-2,5332	4,2039
	Testigo	0,91600	1,20298	0,941	-2,4525	4,2845
Testigo	T1	0,04667	1,20298	1,000	-3,3219	3,4152
	T2	-0,28933	1,20298	0,999	-3,6579	3,0792
	T3	-0,08067	1,20298	1,000	-3,4492	3,2879
	T4	-0,91600	1,20298	0,941	-4,2845	2,4525

Anexo 20. Análisis estadístico descriptivo del AI

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Aluminio T1	concentración 1:1	5	1,0720	0,60776	0,27180	0,3174	1,8266	0,00	1,45
	concentración 1:3	5	0,9420	0,53723	0,24026	0,2749	1,6091	0,00	1,32
	concentración 1:5	5	1,3160	0,75242	0,33649	0,3818	2,2502	0,00	1,83
	Total	15	1,1100	0,61278	0,15822	0,7707	1,4493	0,00	1,83
Aluminio T2	concentración 1:1	5	0,9980	0,56216	0,25140	0,3000	1,6960	0,00	1,35
	concentración 1:3	5	0,9180	0,51761	0,23148	0,2753	1,5607	0,00	1,22
	concentración 1:5	5	1,1560	0,65137	0,29130	0,3472	1,9648	0,00	1,58
	Total	15	1,0240	0,54639	0,14108	0,7214	1,3266	0,00	1,58
Aluminio T3	concentración 1:1	5	0,8220	0,58632	0,26221	0,0940	1,5500	0,00	1,54
	concentración 1:3	5	0,9800	0,63447	0,28374	0,1922	1,7678	0,00	1,75
	concentración 1:5	5	1,1000	0,63400	0,28353	0,3128	1,8872	0,00	1,53
	Total	15	0,9673	0,58478	0,15099	0,6435	1,2912	0,00	1,75
Aluminio T4	concentración 1:1	5	0,3400	0,37148	0,16613	-0,1213	0,8013	0,00	0,90
	concentración 1:3	5	0,7660	0,50113	0,22411	0,1438	1,3882	0,00	1,26
	concentración 1:5	5	0,4020	0,39252	0,17554	-0,0854	0,8894	0,00	,89
	Total	15	0,5027	0,43936	0,11344	0,2594	0,7460	0,00	1,26
Aluminio Testigo	concentración 1:1	5	1,2800	0,76023	0,33999	0,3360	2,2240	0,00	2,03
	concentración 1:3	5	1,2800	0,76023	0,33999	0,3360	2,2240	0,00	2,03
	concentración 1:5	5	1,2800	0,76023	0,33999	0,3360	2,2240	0,00	2,03
	Total	15	1,2800	0,70384	0,18173	0,8902	1,6698	0,00	2,03

Anexo 21. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Al, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Aluminio. Tratamiento 1. AI_ T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,13000	0,40400	0,945	-0,9478	1,2078
		concentración 1:5	-0,24400	0,40400	0,821	-1,3218	0,8338
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,37400	0,40400	0,635	-1,4518	0,7038
Aluminio. Tratamiento 2. AI_ T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,08000	0,36665	0,974	-0,8982	1,0582
		concentración 1:5	-0,15800	0,36665	0,904	-1,1362	0,8202
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,23800	0,36665	0,796	-1,2162	0,7402
Aluminio. Tratamiento 3. AI_ T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,15800	0,39128	0,915	-1,2019	0,8859
		concentración 1:5	-0,27800	0,39128	0,762	-1,3219	0,7659
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,12000	0,39128	0,950	-1,1639	0,9239
Aluminio. Tratamiento 4. AI_ T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,42600	0,26912	0,290	-1,1440	0,2920
		concentración 1:5	-0,06200	0,26912	0,971	-0,7800	0,6560
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,36400	0,26912	0,395	-0,3540	1,0820
Aluminio. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,48081	1,000	-1,2827	1,2827
		concentración 1:5	0,00000	0,48081	1,000	-1,2827	1,2827
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,48081	1,000	-1,2827	1,2827

Anexo 22. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable AI, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	0,08600	0,21319	0,994	-0,5110	0,6830
	T3	0,14267	0,21319	0,962	-0,4543	0,7396
	T4	0,60733*	0,21319	0,044	0,0104	1,2043
	Testigo	-0,17000	0,21319	0,931	-0,7670	0,4270
Tratamiento 2 (T2)	T1	-0,08600	0,21319	0,994	-0,6830	0,5110
	T3	0,05667	0,21319	0,999	-0,5403	0,6536
	T4	0,52133	0,21319	0,115	-0,0756	1,1183
	Testigo	-0,25600	0,21319	0,751	-0,8530	0,3410
Tratamiento 3 (T3)	T1	-0,14267	0,21319	0,962	-0,7396	0,4543
	T2	-0,05667	0,21319	0,999	-0,6536	0,5403
	T4	0,46467	0,21319	0,200	-0,1323	1,0616
	Testigo	-0,31267	0,21319	0,587	-0,9096	0,2843
Tratamiento 4 (T4)	T1	-0,60733*	0,21319	0,044	-1,2043	-0,0104
	T2	-0,52133	0,21319	0,115	-1,1183	0,0756
	T3	-0,46467	0,21319	0,200	-1,0616	0,1323
	Testigo	-0,77733*	0,21319	0,004	-1,3743	-0,1804
Testigo	T1	0,17000	0,21319	0,931	-0,4270	0,7670
	T2	0,25600	0,21319	0,751	-0,3410	0,8530
	T3	0,31267	0,21319	0,587	-0,2843	0,9096
	T4	0,77733*	0,21319	0,004	0,1804	1,3743

Anexo 23. Análisis estadístico descriptivo del Fe

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Hierro T1	Concentración 1:1	5	279,1800	105,91411	47,36623	147,6703	410,6897	133,18	405,43
	concentración 1:3	5	246,2600	69,65333	31,14992	159,7740	332,7460	171,95	345,78
	concentración 1:5	5	222,0540	56,79246	25,39836	151,5368	292,5712	135,40	285,47
	Total	15	249,1647	78,10287	20,16607	205,9127	292,4166	133,18	405,43
Hierro T2	concentración 1:1	5	329,6720	46,96131	21,00174	271,3618	387,9822	272,57	373,45
	concentración 1:3	5	218,6180	80,82007	36,14384	118,2666	318,9694	88,58	285,47
	concentración 1:5	5	225,5080	50,19161	22,44637	163,1869	287,8291	155,63	285,47
	Total	15	257,9327	77,34129	19,96944	215,1025	300,7628	88,58	373,45
Hierro T3	concentración 1:1	5	300,8420	63,11240	28,22472	222,4776	379,2064	233,80	381,95
	concentración 1:3	5	225,6620	50,53997	22,60216	162,9083	288,4157	175,47	285,47
	concentración 1:5	5	231,6480	49,41637	22,09967	170,2895	293,0065	153,21	285,47
	Total	15	252,7173	61,74673	15,94294	218,5231	286,9115	153,21	381,95
Hierro T4	concentración 1:1	5	234,0540	41,95849	18,76441	181,9557	286,1523	179,38	285,47
	concentración 1:3	5	219,8400	56,28728	25,17244	149,9501	289,7299	141,74	285,47
	concentración 1:5	5	213,2440	50,49199	22,58070	150,5499	275,9381	159,26	285,47
	Total	15	222,3793	47,08947	12,15845	196,3021	248,4566	141,74	285,47
Hierro Testigo	concentración 1:1	5	250,8240	91,80575	41,05678	136,8321	364,8159	117,52	369,12
	concentración 1:3	5	250,8240	91,80575	41,05678	136,8321	364,8159	117,52	369,12
	concentración 1:5	5	250,8240	91,80575	41,05678	136,8321	364,8159	117,52	369,12
	Total	15	250,8240	84,99561	21,94577	203,7550	297,8930	117,52	369,12

Anexo 24. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Fe, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Hierro. Tratamiento 1. Fe_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	32,92000	50,72116	0,796	-102,3971	168,2371
		concentración 1:5	57,12600	50,72116	0,517	-78,1911	192,4431
	concentración 1:3	concentración 1:5	24,20600	50,72116	0,883	-111,1111	159,5231
Hierro. Tratamiento 2. Fe_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	111,05400*	38,74093	0,035	7,6985	214,4095
		concentración 1:5	104,16400*	38,74093	0,048	,8085	207,5195
	concentración 1:3	concentración 1:5	-6,89000	38,74093	0,983	-110,2455	96,4655
Hierro. Tratamiento 3. Fe_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	75,18000	34,60143	0,117	-17,1319	167,4919
		concentración 1:5	69,19400	34,60143	0,155	-23,1179	161,5059
	concentración 1:3	concentración 1:5	-5,98600	34,60143	0,984	-98,2979	86,3259
Hierro. Tratamiento 4. Fe_T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	14,21400	31,57681	0,895	-70,0286	98,4566
		concentración 1:5	20,81000	31,57681	0,791	-63,4326	105,0526
	concentración 1:3	concentración 1:5	6,59600	31,57681	0,976	-77,6466	90,8386
Hierro. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	58,06305	1,000	-154,9043	154,9043
		concentración 1:5	0,00000	58,06305	1,000	-154,9043	154,9043
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	58,06305	1,000	-154,9043	154,9043

Anexo 25. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Fe, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T3	-8,76800	25,99285	0,997	-81,5520	64,0160
	T3	-3,55267	25,99285	1,000	-76,3366	69,2313
	T4	26,78533	25,99285	0,840	-45,9986	99,5693
	Testigo	-1,65933	25,99285	1,000	-74,4433	71,1246
Tratamiento 2 (T2)	T1	8,76800	25,99285	0,997	-64,0160	81,5520
	T3	5,21533	25,99285	1,000	-67,5686	77,9993
	T4	35,55333	25,99285	0,650	-37,2306	108,3373
	Testigo	7,10867	25,99285	0,999	-65,6753	79,8926
Tratamiento 3 (T3)	T1	3,55267	25,99285	1,000	-69,2313	76,3366
	T2	-5,21533	25,99285	1,000	-77,9993	67,5686
	T4	30,33800	25,99285	0,770	-42,4460	103,1220
	Testigo	1,89333	25,99285	1,000	-70,8906	74,6773
Tratamiento 4 (T4)	T1	-26,78533	25,99285	0,840	-99,5693	45,9986
	T2	-35,55333	25,99285	0,650	-108,3373	37,2306
	T3	-30,33800	25,99285	0,770	-103,1220	42,4460
	Testigo	-28,44467	25,99285	0,809	-101,2286	44,3393
Testigo	T1	1,65933	25,99285	1,000	-71,1246	74,4433
	T2	-7,10867	25,99285	0,999	-79,8926	65,6753
	T3	-1,89333	25,99285	1,000	-74,6773	70,8906
	T4	28,44467	25,99285	0,809	-44,3393	101,2286

Anexo 26. Análisis estadístico descriptivo del Ca

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Calcio T1	Concentración 1:1	5	2,0960	1,09817	0,49112	0,7324	3,4596	0,64	3,07
	concentración 1:3	5	2,3180	1,33980	0,59918	0,6544	3,9816	0,63	3,81
	concentración 1:5	5	2,1600	1,29232	0,57794	0,5554	3,7646	0,77	4,07
	Total	15	2,1913	1,15928	0,29933	1,5493	2,8333	0,63	4,07
Calcio T2	concentración 1:1	5	2,1440	1,16712	0,52195	0,6948	3,5932	0,69	3,44
	concentración 1:3	5	2,1500	1,20837	0,54040	0,6496	3,6504	0,70	3,71
	concentración 1:5	5	2,0300	1,08157	0,48369	0,6870	3,3730	0,73	3,47
	Total	15	2,1080	1,06952	0,27615	1,5157	2,7003	0,69	3,71
Calcio T3	concentración 1:1	5	2,3180	1,32519	0,59264	0,6726	3,9634	0,69	3,89
	concentración 1:3	5	1,9860	1,13041	0,50554	0,5824	3,3896	0,73	3,64
	concentración 1:5	5	2,1620	1,24506	0,55681	0,6161	3,7079	0,71	3,76
	Total	15	2,1553	1,15302	0,29771	1,5168	2,7939	0,69	3,89
Calcio T4	concentración 1:1	5	2,2960	1,14207	0,51075	0,8779	3,7141	0,90	3,30
	concentración 1:3	5	2,1740	1,18114	0,52822	0,7074	3,6406	0,79	3,59
	concentración 1:5	5	2,1180	1,18969	0,53205	0,6408	3,5952	0,87	3,91
	Total	15	2,1960	1,08700	0,28066	1,5940	2,7980	0,79	3,91
Calcio Testigo	concentración 1:1	5	,8240	,23490	0,10505	0,5323	1,1157	0,64	1,23
	concentración 1:3	5	,8240	,23490	0,10505	0,5323	1,1157	0,64	1,23
	concentración 1:5	5	,8240	,23490	0,10505	0,5323	1,1157	0,64	1,23
	Total	15	,8240	,21748	0,05615	0,7036	,9444	0,64	1,23

Anexo 27. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Ca, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Calcio. Tratamiento 1. Ca_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,22200	0,78919	0,957	-2,3274	1,8834
		concentración 1:5	-0,06400	0,78919	0,996	-2,1694	2,0414
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,15800	0,78919	0,978	-1,9474	2,2634
Calcio. Tratamiento 2. Ca_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,00600	0,72958	1,000	-1,9524	1,9404
		concentración 1:5	0,11400	0,72958	0,987	-1,8324	2,0604
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,12000	0,72958	0,985	-1,8264	2,0664
Calcio. Tratamiento 3. Ca_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,33200	0,78180	0,906	-1,7537	2,4177
		concentración 1:5	0,15600	0,78180	0,978	-1,9297	2,2417
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,17600	0,78180	0,973	-2,2617	1,9097
Calcio. Tratamiento 4. Ca_T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,12200	0,74070	0,985	-1,8541	2,0981
		concentración 1:5	0,17800	0,74070	0,969	-1,7981	2,1541
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,05600	0,74070	0,997	-1,9201	2,0321
Calcio. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,14857	1,000	-0,3964	0,3964
		concentración 1:5	0,00000	0,14857	1,000	-0,3964	0,3964
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,14857	1,000	-0,3964	0,3964

Anexo 28. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Ca, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	0,08333	0,36683	0,999	-0,9438	1,1105
	T3	0,03600	0,36683	1,000	-0,9912	1,0632
	T4	-0,00467	0,36683	1,000	-1,0318	1,0225
	Testigo	1,36733*	0,36683	0,003	0,3402	2,3945
Tratamiento 2 (T2)	T1	-0,08333	0,36683	0,999	-1,1105	0,9438
	T3	-0,04733	0,36683	1,000	-1,0745	0,9798
	T4	-0,08800	0,36683	0,999	-1,1152	0,9392
	Testigo	1,28400*	0,36683	0,007	0,2568	2,3112
Tratamiento 3 (T3)	T1	-0,03600	0,36683	1,000	-1,0632	0,9912
	T2	0,04733	0,36683	1,000	-0,9798	1,0745
	T4	-0,04067	0,36683	1,000	-1,0678	0,9865
	Testigo	1,33133*	0,36683	0,005	0,3042	2,3585
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,00467	0,36683	1,000	-1,0225	1,0318
	T2	0,08800	0,36683	0,999	-0,9392	1,1152
	T3	0,04067	0,36683	1,000	-0,9865	1,0678
	Testigo	1,37200*	0,36683	0,003	0,3448	2,3992
Testigo	T1	-1,36733*	0,36683	0,003	-2,3945	-0,3402
	T2	-1,28400*	0,36683	0,007	-2,3112	-0,2568
	T3	-1,33133*	0,36683	0,005	-2,3585	-0,3042
	T4	-1,37200*	0,36683	0,003	-2,3992	-0,3448

Anexo 29. Análisis estadístico descriptivo del Mg

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Magnesio T1	Concentración 1:1	5	0,6080	0,15547	0,06953	0,4150	0,8010	0,45	0,86
	concentración 1:3	5	0,6720	0,22786	0,10190	0,3891	0,9549	0,46	1,06
	concentración 1:5	5	0,6980	0,24232	0,10837	0,3971	0,9989	0,51	1,12
	Total	15	0,6593	0,20012	0,05167	0,5485	0,7702	0,45	1,12
Magnesio T2	concentración 1:1	5	0,7080	0,21230	0,09494	0,4444	0,9716	0,49	1,04
	concentración 1:3	5	0,7700	0,15427	0,06899	0,5784	0,9616	0,62	1,03
	concentración 1:5	5	0,7280	0,18213	0,08145	0,5019	0,9541	0,54	1,01
	Total	15	0,7353	0,17283	0,04462	0,6396	0,8310	0,49	1,04
Magnesio T3	concentración 1:1	5	0,7660	0,23255	0,10400	0,4772	1,0548	0,57	1,10
	concentración 1:3	5	0,8240	0,24633	0,11016	0,5181	1,1299	0,62	1,25
	concentración 1:5	5	0,8500	0,28531	0,12759	0,4957	1,2043	0,59	1,26
	Total	15	0,8133	0,23951	0,06184	0,6807	0,9460	0,57	1,26
Magnesio T4	concentración 1:1	5	0,9760	0,32639	0,14597	0,5707	1,3813	0,62	1,45
	concentración 1:3	5	0,9940	0,36226	0,16201	0,5442	1,4438	0,62	1,45
	concentración 1:5	5	0,8400	0,34518	0,15437	0,4114	1,2686	0,39	1,26
	Total	15	0,9367	0,32717	0,08447	0,7555	1,1178	0,39	1,45
Magnesio Testigo	concentración 1:1	5	0,5480	0,20921	0,09356	0,2882	0,8078	0,37	0,88
	concentración 1:3	5	0,5480	0,20921	0,09356	0,2882	0,8078	0,37	0,88
	concentración 1:5	5	0,5480	0,20921	0,09356	0,2882	0,8078	0,37	0,88
	Total	15	0,5480	0,19369	0,05001	0,4407	0,6553	0,37	0,88

Anexo 30. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Mg, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Magnesio. Tratamiento 1. Mg_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,06400	0,13407	0,883	-0,4217	0,2937
		concentración 1:5	-0,09000	0,13407	0,784	-0,4477	0,2677
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,02600	0,13407	0,980	-0,3837	0,3317
Magnesio. Tratamiento 2. Mg_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,06200	0,11664	0,858	-0,3732	0,2492
		concentración 1:5	-0,02000	0,11664	0,984	-0,3312	0,2912
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,04200	0,11664	0,931	-0,2692	0,3532
Magnesio. Tratamiento 3. Mg_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,05800	0,16172	0,932	-0,4895	0,3735
		concentración 1:5	-0,08400	0,16172	0,863	-0,5155	0,3475
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,02600	0,16172	0,986	-0,4575	0,4055
Magnesio. Tratamiento 4. Mg_T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,01800	0,21815	0,996	-0,6000	0,5640
		concentración 1:5	0,13600	0,21815	0,810	-0,4460	0,7180
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,15400	0,21815	0,765	-0,4280	0,7360
Magnesio. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,13232	1,000	-0,3530	0,3530
		concentración 1:5	0,00000	0,13232	1,000	-0,3530	0,3530
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,13232	1,000	-0,3530	0,3530

Anexo 31. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Mg, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	-0,07600	0,08514	0,899	-0,3144	0,1624
	T3	-0,15400	0,08514	0,377	-0,3924	0,0844
	T4	-0,27733*	0,08514	0,015	-0,5157	-0,0389
	Testigo	0,11133	0,08514	0,687	-0,1271	0,3497
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,07600	0,08514	0,899	-0,1624	0,3144
	T3	-0,07800	0,08514	0,890	-0,3164	0,1604
	T4	-0,20133	0,08514	0,137	-0,4397	0,0371
	Testigo	0,18733	0,08514	0,192	-0,0511	0,4257
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,15400	0,08514	0,377	-0,0844	0,3924
	T2	0,07800	0,08514	0,890	-0,1604	0,3164
	T4	-0,12333	0,08514	0,599	-0,3617	0,1151
	Testigo	0,26533*	0,08514	0,022	0,0269	0,5037
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,27733*	0,08514	0,015	0,0389	0,5157
	T2	0,20133	0,08514	0,137	-0,0371	0,4397
	T3	0,12333	0,08514	0,599	-0,1151	0,3617
	Testigo	0,38867*	0,08514	0,000	0,1503	0,6271
Testigo	T1	-0,11133	0,08514	0,687	-0,3497	0,1271
	T2	-0,18733	0,08514	0,192	-0,4257	0,0511
	T3	-0,26533*	0,08514	0,022	-0,5037	-0,0269
	T4	-0,38867*	0,08514	0,000	-0,6271	-0,1503

Anexo 32. Análisis estadístico descriptivo del K

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Potasio T1	Concentración 1:1	5	1,0700	0,68143	0,30475	0,2239	1,9161	0,15	2,04
	Concentración 1:3	5	1,0680	1,02344	0,45769	-0,2028	2,3388	0,15	2,71
	Concentración 1:5	5	0,8980	0,50682	0,22666	0,2687	1,5273	0,15	1,37
	Total	15	1,0120	0,71574	0,18480	0,6156	1,4084	0,15	2,71
Potasio T2	Concentración 1:1	5	1,2740	0,85149	0,38080	0,2167	2,3313	0,15	2,41
	Concentración 1:3	5	1,3680	0,90500	0,40473	0,2443	2,4917	0,15	2,51
	Concentración 1:5	5	1,1520	0,86488	0,38679	0,0781	2,2259	0,15	2,51
	Total	15	1,2647	0,81440	0,21028	0,8137	1,7157	0,15	2,51
Potasio T3	Concentración 1:1	5	1,1400	0,64055	0,28646	0,3447	1,9353	0,15	1,75
	Concentración 1:3	5	1,4440	0,89832	0,40174	0,3286	2,5594	0,15	2,50
	Concentración 1:5	5	1,3520	0,82269	0,36792	0,3305	2,3735	0,15	2,16
	Total	15	1,3120	0,74735	0,19296	0,8981	1,7259	0,15	2,50
Potasio T4	Concentración 1:1	5	1,4280	1,03698	0,46375	0,1404	2,7156	0,15	2,93
	Concentración 1:3	5	1,7560	1,29556	0,57939	0,1473	3,3647	0,15	3,69
	Concentración 1:5	5	1,2600	0,85563	0,38265	0,1976	2,3224	0,15	2,35
	Total	15	1,4813	1,02050	0,26349	0,9162	2,0465	0,15	3,69
Potasio Testigo	Concentración 1:1	5	0,6720	0,54801	0,24508	-0,0084	1,3524	0,15	1,54
	Concentración 1:3	5	0,6720	0,54801	0,24508	-0,0084	1,3524	0,15	1,54
	Concentración 1:5	5	0,6720	0,54801	0,24508	-0,0084	1,3524	0,15	1,54
	Total	15	0,6720	0,50736	0,13100	0,3910	0,9530	0,15	1,54

Anexo 33. Tabla 35. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable K, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Potasio. Tratamiento 1. K_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00200	0,48561	1,000	-1,2935	1,2975
		Concentración 1:5	0,17200	0,48561	0,934	-1,1235	1,4675
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,17000	0,48561	0,935	-1,1255	1,4655
Potasio. Tratamiento 2. K_T2	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,09400	0,55282	0,984	-1,5688	1,3808
		Concentración 1:5	0,12200	0,55282	0,974	-1,3528	1,5968
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,21600	0,55282	0,920	-1,2588	1,6908
Potasio. Tratamiento 3. K_T3	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,30400	0,50254	0,820	-1,6447	1,0367
		Concentración 1:5	-0,21200	0,50254	0,907	-1,5527	1,1287
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,09200	0,50254	0,982	-1,2487	1,4327
Potasio. Tratamiento 4. K_T4	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,32800	0,68175	0,881	-2,1468	1,4908
		Concentración 1:5	0,16800	0,68175	0,967	-1,6508	1,9868
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,49600	0,68175	0,752	-1,3228	2,3148
Potasio. Testigo	Concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,34659	1,000	-0,9247	0,9247
		Concentración 1:5	0,00000	0,34659	1,000	-0,9247	0,9247
	Concentración 1:3	Concentración 1:5	0,00000	0,34659	1,000	-0,9247	0,9247

Anexo 34. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable K, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	-0,25267	0,28439	0,900	-1,0490	0,5437
	T3	-0,30000	0,28439	0,829	-1,0963	0,4963
	T4	-0,46933	0,28439	0,471	-1,2657	0,3270
	Testigo	0,34000	0,28439	0,754	-0,4563	1,1363
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,25267	0,28439	0,900	-0,5437	1,0490
	T3	-0,04733	0,28439	1,000	-0,8437	0,7490
	T4	-0,21667	0,28439	0,941	-1,0130	0,5797
	Testigo	0,59267	0,28439	0,239	-0,2037	1,3890
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,30000	0,28439	0,829	-0,4963	1,0963
	T2	0,04733	0,28439	1,000	-0,7490	0,8437
	T4	-0,16933	0,28439	0,975	-0,9657	0,6270
	Testigo	0,64000	0,28439	0,174	-0,1563	1,4363
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,46933	0,28439	0,471	-0,3270	1,2657
	T2	0,21667	0,28439	0,941	-0,5797	1,0130
	T3	0,16933	0,28439	0,975	-0,6270	0,9657
	Testigo	0,80933*	0,28439	0,045	0,0130	1,6057
Testigo	T1	-0,34000	0,28439	0,754	-1,1363	0,4563
	T2	-0,59267	0,28439	0,239	-1,3890	0,2037
	T3	-0,64000	0,28439	0,174	-1,4363	0,1563
	T4	-0,80933*	0,28439	0,045	-1,6057	-,0130

Anexo 35. Análisis estadístico descriptivo del Na

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Sodio T1	Concentración 1:1	5	0,0540	0,01517	0,00678	0,0352	0,0728	0,04	0,07
	concentración 1:3	5	0,0520	0,01643	0,00735	0,0316	0,0724	0,03	0,07
	concentración 1:5	5	0,0520	0,02168	0,00970	0,0251	0,0789	0,03	0,08
	Total	15	0,0527	0,01668	0,00431	0,0434	0,0619	0,03	0,08
Sodio T2	concentración 1:1	5	0,0600	0,01000	0,00447	0,0476	0,0724	0,05	0,07
	concentración 1:3	5	0,0500	0,02345	0,01049	0,0209	0,0791	0,03	0,08
	concentración 1:5	5	0,0520	0,01789	0,00800	0,0298	0,0742	0,03	0,07
	Total	15	0,0540	0,01724	0,00445	0,0445	0,0635	0,03	0,08
Sodio T3	concentración 1:1	5	0,0520	0,02168	0,00970	0,0251	0,0789	0,03	0,08
	concentración 1:3	5	0,0640	0,01342	0,00600	0,0473	0,0807	0,05	0,08
	concentración 1:5	5	0,0500	0,02345	0,01049	0,0209	0,0791	0,03	0,08
	Total	15	0,0553	0,01959	0,00506	0,0445	0,0662	0,03	0,08
Sodio T4	concentración 1:1	5	0,0520	0,01643	0,00735	0,0316	0,0724	0,04	0,07
	concentración 1:3	5	0,0560	0,02302	0,01030	0,0274	0,0846	0,04	0,09
	concentración 1:5	5	0,0740	0,02966	0,01327	0,0372	0,1108	0,03	0,11
	Total	15	0,0607	0,02404	0,00621	0,0474	0,0740	0,03	0,11
Sodio Testigo	concentración 1:1	5	0,0500	0,01871	0,00837	0,0268	0,0732	0,03	0,07
	concentración 1:3	5	0,0500	0,01871	0,00837	0,0268	0,0732	0,03	0,07
	concentración 1:5	5	0,0500	0,01871	0,00837	0,0268	0,0732	0,03	0,07
	Total	15	0,0500	0,01732	0,00447	0,0404	0,0596	0,03	0,07

Anexo 36. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Na, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Sodio. Tratamiento 1. Na_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	,00200	0,01137	0,983	-0,0283	0,0323
		concentración 1:5	0,00200	0,01137	0,983	-0,0283	0,0323
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,01137	1,000	-0,0303	0,0303
Sodio. Tratamiento 2. Na_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,01000	0,01137	0,663	-0,0203	0,0403
		concentración 1:5	0,00800	0,01137	0,766	-0,0223	0,0383
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,00200	0,01137	0,983	-0,0323	0,0283
Sodio. Tratamiento 3. Na_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,01200	0,01265	0,621	-0,0457	0,0217
		concentración 1:5	0,00200	0,01265	0,986	-0,0317	0,0357
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,01400	0,01265	0,528	-0,0197	0,0477
Sodio. Tratamiento 4. Na_T4	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,00400	0,01497	0,962	-0,0439	0,0359
		concentración 1:5	-0,02200	0,01497	0,339	-0,0619	0,0179
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,01800	0,01497	0,474	-0,0579	0,0219
Sodio. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,01183	1,000	-0,0316	0,0316
		concentración 1:5	0,00000	0,01183	1,000	-0,0316	0,0316
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,01183	1,000	-0,0316	0,0316

Anexo 37. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2,T3,T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Na, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T2	-0,00133	0,00700	1,000	-0,0209	0,0183
	T3	-0,00267	0,00700	0,995	-0,0223	0,0169
	T4	-0,00800	0,00700	0,783	-0,0276	0,0116
	Testigo	0,00267	0,00700	0,995	-0,0169	0,0223
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,00133	0,00700	1,000	-0,0183	0,0209
	T3	-0,00133	0,00700	1,000	-0,0209	0,0183
	T4	-0,00667	0,00700	0,875	-0,0263	0,0129
	Testigo	0,00400	0,00700	0,979	-0,0156	0,0236
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,00267	0,00700	0,995	-0,0169	0,0223
	T2	0,00133	0,00700	1,000	-0,0183	0,0209
	T4	-0,00533	0,00700	0,941	-0,0249	0,0143
	Testigo	0,00533	0,00700	0,941	-0,0143	0,0249
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,00800	0,00700	0,783	-0,0116	0,0276
	T2	0,00667	0,00700	0,875	-0,0129	0,0263
	T3	0,00533	0,00700	0,941	-0,0143	0,0249
	Testigo	0,01067	0,00700	0,551	-0,0089	0,0303
Testigo	T1	-0,00267	0,00700	0,995	-0,0223	0,0169
	T2	-0,00400	0,00700	0,979	-0,0236	0,0156
	T3	-0,00533	0,00700	0,941	-0,0249	0,0143
	T4	-0,01067	0,00700	0,551	-0,0303	0,0089

Anexo 38. Análisis estadístico descriptivo de las Bases Totales del Suelo

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Bases T1	Concentración 1:1	5	3,8280	1,70575	0,76283	1,7100	5,9460	2,07	5,93
	concentración 1:3	5	4,1100	2,22467	0,99490	1,3477	6,8723	1,66	6,99
	concentración 1:5	5	3,8080	1,56314	0,69906	1,8671	5,7489	2,07	5,49
	Total	15	3,9153	1,72158	0,44451	2,9620	4,8687	1,66	6,99
Bases T2	concentración 1:1	5	4,1860	2,05394	0,91855	1,6357	6,7363	2,05	6,53
	concentración 1:3	5	4,3380	1,99135	0,89056	1,8654	6,8106	2,07	6,43
	concentración 1:5	5	3,9620	1,76408	0,78892	1,7716	6,1524	2,07	5,74
	Total	15	4,1620	1,80361	0,46569	3,1632	5,1608	2,05	6,53
Bases T3	concentración 1:1	5	4,2760	2,05296	0,91811	1,7269	6,8251	2,07	6,44
	concentración 1:3	5	4,3180	1,89028	0,84536	1,9709	6,6651	2,07	6,13
	concentración 1:5	5	4,4740	2,05490	0,91898	1,9225	7,0255	2,07	6,77
	Total	15	4,3560	1,85454	0,47884	3,3290	5,3830	2,07	6,77
Bases T4	concentración 1:1	5	4,7520	2,36433	1,05736	1,8163	7,6877	2,07	7,62
	concentración 1:3	5	4,9800	2,45224	1,09668	1,9351	8,0249	2,07	7,39
	concentración 1:5	5	4,2920	2,10183	0,93996	1,6822	6,9018	2,02	6,40
	Total	15	4,6747	2,15991	0,55769	3,4785	5,8708	2,02	7,62
Bases Testigo	concentración 1:1	5	3,2040	1,30013	0,58143	1,5897	4,8183	1,64	4,61
	concentración 1:3	5	3,2040	1,30013	0,58143	1,5897	4,8183	1,64	4,61
	concentración 1:5	5	3,2040	1,30013	0,58143	1,5897	4,8183	1,64	4,61
	Total	15	3,2040	1,20368	0,31079	2,5374	3,8706	1,64	4,61

Anexo 39. Comparaciones múltiples entre los bloques (concentraciones 1:1, 1:3, 1:5) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Bases, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Bases Totales. Tratamiento 1. Bases_T1	Concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,28200	1,17201	0,969	-3,4088	2,8448
		concentración 1:5	0,02000	1,17201	1,000	-3,1068	3,1468
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,30200	1,17201	0,964	-2,8248	3,4288
Bases Totales. Tratamiento 2. Bases_T2	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,15200	1,22725	0,992	-3,4261	3,1221
		concentración 1:5	0,22400	1,22725	0,982	-3,0501	3,4981
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,37600	1,22725	0,950	-2,8981	3,6501
Bases Totales. Tratamiento 3. Bases_T3	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,04200	1,26546	0,999	-3,4181	3,3341
		concentración 1:5	-0,19800	1,26546	0,987	-3,5741	3,1781
	concentración 1:3	concentración 1:5	-0,15600	1,26546	0,992	-3,5321	3,2201
Bases Totales. Tratamiento 4. Bases_t4	concentración 1:1	Concentración 1:3	-0,22800	1,46156	0,987	-4,1272	3,6712
		concentración 1:5	0,46000	1,46156	0,947	-3,4392	4,3592
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,68800	1,46156	0,886	-3,2112	4,5872
Bases Totales. Testigo	concentración 1:1	Concentración 1:3	0,00000	0,82227	1,000	-2,1937	2,1937
		concentración 1:5	0,00000	0,82227	1,000	-2,1937	2,1937
	concentración 1:3	concentración 1:5	0,00000	0,82227	1,000	-2,1937	2,1937

Anexo 40. Comparaciones múltiples entre los Tratamientos (T1, T2, T3, T4 y Testigo) mediante la prueba Tukey, Niveles de significancia $p \leq 0,05$ para la variable Bases, para el suelo oxisol de la empresa Unipalma S.A

Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tratamiento1 (T1)	T3	-0,24667	0,64849	0,995	-2,0625	1,5692
	T3	-0,44067	0,64849	0,960	-2,2565	1,3752
	T4	-0,75933	0,64849	0,768	-2,5752	1,0565
	Testigo	0,71133	0,64849	0,808	-1,1045	2,5272
Tratamiento 2 (T2)	T1	0,24667	0,64849	0,995	-1,5692	2,0625
	T3	-0,19400	0,64849	0,998	-2,0099	1,6219
	T4	-0,51267	0,64849	0,933	-2,3285	1,3032
	Testigo	0,95800	0,64849	0,580	-0,8579	2,7739
Tratamiento 3 (T3)	T1	0,44067	0,64849	0,960	-1,3752	2,2565
	T2	0,19400	0,64849	0,998	-1,6219	2,0099
	T4	-0,31867	0,64849	0,988	-2,1345	1,4972
	Testigo	1,15200	0,64849	0,395	-0,6639	2,9679
Tratamiento 4 (T4)	T1	0,75933	0,64849	0,768	-1,0565	2,5752
	T2	0,51267	0,64849	0,933	-1,3032	2,3285
	T3	0,31867	0,64849	0,988	-1,4972	2,1345
	Testigo	1,47067	0,64849	0,168	-0,3452	3,2865
Testigo	T1	-,71133	0,64849	0,808	-2,5272	1,1045
	T2	-,95800	0,64849	0,580	-2,7739	0,8579
	T3	-1,15200	0,64849	0,395	-2,9679	0,6639
	T4	-1,47067	0,64849	0,168	-3,2865	0,3452



Anexo 41. Socialización de la Investigación en la empresa Unipalma S.A



Anexo 42. Grupo de Ingenieros e investigadores Unipalma S.A y Universidad Surcolombiana