

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Química



**“Efecto de las emulsiones asfálticas sobre las propiedades físico-químicas y
aguas lixiviadas de un suelo de sabana”**

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por la Br. Mariela Lissette
Bravo Torres para optar al título de
Licenciado en Química

Caracas, Octubre 2009.

Yo, el Dr. Alonso D. Ojeda profesor e investigador del Instituto de Zoología Tropical de la Universidad Central de Venezuela y el Licenciado Fernando Liendo investigador de PDVSA – Intevep.

Certificamos que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“Efecto de las emulsiones asfálticas sobre las propiedades físico-químicas y aguas lixiviadas de un suelo de sabana”

Que presenta la Br. Mariela Lisette Bravo Torres, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el laboratorio de tratabilidad de desechos sólidos de PDVSA – Intevep, bajo nuestra dirección, durante el año 2008-2009 y con esta fecha autorizamos su presentación.

Carcas, Octubre del 2009

Alonso D. Ojeda
(Tutor)

Fernando Liendo
(Tutor)

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado **“Efecto de las emulsiones asfálticas sobre las propiedades físico-químicas y aguas lixiviadas de un suelo de sabana”**. Presentado por la Br. Mariela Lissette Bravo Torres, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

Fernando Liendo
(Director)

Alonso D. Ojeda
(Director)

Prof. Edgardo Leal
(Jurado)

Paulino Betancourt
(Jurado)

RESUMEN

El uso de emulsiones asfálticas, se plantea como un método alternativo mejorador de la fertilidad de suelos de sabana. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los efectos que producen las emulsiones asfálticas sobre las propiedades físico-químicas y aguas lixiviadas del suelo de Santa Bárbara – Edo. Monagas.

Las características Iniciales del suelo indicaron, que es un suelo de sabana que posiblemente ha sido cultivado y abandonado durante varios años, mostrando un pH de 6,32 y una CIC = 1,5 cmol/Kg que indican un suelo pobre en nutrientes.

Luego de un estudio preliminar se determinó el tipo de la emulsión catiónica o aniónica más conveniente y la dosis más efectiva en el suelo, se encontró que la emulsión catiónica en la dosis de 3% produjo un incremento significativo en la actividad enzimática deshidrogenasa, propiedad bioquímica de gran importancia por su influencia en las propiedades del suelo, principalmente por ello fue seleccionada como el mejor tipo y la mejor dosis para la continuar la investigación.

Se combinaron diferentes tratamientos para determinar los efectos de la emulsión asfáltica en el suelo, y los efectos que produce al ser combinada con enmiendas inorgánicas y fertilizantes, de acuerdo a los tratamientos siguientes: T0: suelo control, T1: Suelo + Emulsión Cationica, T2: Suelo + Emulsión Cationica + Fertilizante, T3: Suelo + Emulsión Cationica + Abono Orgánico, T4: Suelo + Emulsión Cationica + abono orgánico + fertilizante y T5: Suelo + Emulsión Cationica + Cal.

En estos tratamientos se determinaron el %agregados estables al agua (%AEA), %humedad, % materia orgánica del suelo (%MOS), pH, conductividad eléctrica (CE), relación de absorción de sodio (RAS), bases intercambiables (BI), capacidad de intercambio iónico (CIC), % saturación de aluminio intercambiable (% Sat. de Al),

%saturación de bases (%SB), cloruros, fosforo disponible, metales totales, %aceites y grasas, hidrocarburos biodegradables (Saturados y aromáticos), actividad enzimática deshidrogenasa (ADH), respiración edáfica (CO₂) .

Los tratamientos T1, T2, y T5, mostraron cambios significativos en las propiedades físicas como el %AEA, y en las propiedades bioquímicas como la ADH y el CO₂, parámetros que aumentaron a los 30 días de incubación, pero que empezaron a disminuir a los 120 de haber mantenido las muestras en el invernadero.

Los tratamiento T3 yT4, produjeron incrementos significativos en la mayoría de las propiedades física, químicas y bioquímicas del suelo, principalmente en el %AEA, en la retención del agua, la CIC, las concentraciones de cloruros y de fósforo disponible, también disminuyó el %saturación de aluminio.

Para el estudio de las aguas lixiviadas se preparó un ensayo de una muestra de cada tratamiento, una vez preparadas se conservaron en el invernadero durante una semana, luego se les agregó dos porciones de 500 mL de agua simulando lluvia la cual una vez lixiviada se recogió en envases plásticos y se determinó, el pH, la CE, la turbidez los aceites y grasas y los metales totales. Los resultados indicaron que las emulsiones asfálticas permiten la retención de iones en el suelo, y disminuye la erosión de sedimentos, además indicaron que los tratamientos T1, T2 y T5 no impactan el ambiente, mientras que los tratamientos T3 y T4, si pudieran tener este potencial pues sobrepasan el valor límite de contaminación por aceites y grasas, ya que se asocia con la dosis aplicada de fertilizante muy fue elevada para este suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme vivir cada día, por acompañarme en cada paso que doy y por darme todas las oportunidades que he tenido.

Agradezco a mis padres, Jaime y Eulalia, por darme su cariño, por acompañarme y protegerme, por ayudarme en todo momento y porque ellos me han enseñado a ser la persona que soy.

A mis hermanas, Lily y Andy, que siempre están ahí para ayudarme, que nunca me abandonan y que siempre me cuidan. También a Randal y Franz, que me hacen reír, que me molestan mucho pero me hacen pasar buenos momentos.

A mis tutores Fernando Liendo y Alonso D. Ojeda, personas de gran conocimiento que me guiaron, ayudaron y que dieron la oportunidad de tener la experiencia de realizar mi trabajo en PDVSA - Intevep.

A Pedro Colombo, mi tutor adoptivo que siempre estuvo dispuesto a ayudarme y que tuvo la paciencia de responder todas mis preguntas. También por ser una persona que me brindó su apoyo y que me hizo crecer a nivel profesional.

A Gabriela Durán, mi mejor amiga, que me ha acompañado y apoyado durante toda mi carrera, que siempre me hace reír, que escucha mis locuras, que me consuela en los momentos de tristeza y que siempre me anima a seguir adelante.

A Eldy Riera, amigo que conocí en el momento indicado, que me enseñó a crecer como persona, que me escucha y me soporta cuando lo molesto. Gracias por ser tan especial.

A Hari Medina, mi conejito, el amigo que siempre me protege, que se preocupa por mi y que me aconseja en todo momento.

A mis amigos que conocí desde los primeros semestres y que todavía conservo, Alfonso, Elygen, Claudia, Alejandro, Giovanni, Richard, Heyward, Ambar, Fernando (Apio), Beatriz y Yuliana, gracias porque me alegran con sus locuras, que siempre estas dispuestos a escuchar y ayudar y que saben desaparecer las tristezas y preocupaciones.

A los amigos que llegaron a medida que avanzaba en mi carrera, Nairobi, Edgar, Daniel, Marco, Nallybe, Yosmar gracias a ellos la carga de la universidad fue más ligera.

Y por último, pero muy importantes aquellos que colaboraron con mi trabajo, Roschman, Roberto y Ricardo.

INDICE

A. INTRODUCCIÓN	1
B. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1. El suelo y su composición	3
2. Clasificación del suelo	4
3. Formación de los suelos ácidos de sabana	5
4. Propiedades físicas y químicas del suelo	7
4.1 Textura del suelo	7
4.2 Estructura del Suelo	8
4.3 Intercambio Iónico	10
4.3.1 Intercambio catiónico	11
4.3.2 Intercambio aniónico	14
5. La materia orgánica en el suelo	16
5.1 Grupo húmico	16
5.2 Grupo no húmico	17
6. Métodos utilizados para mejorar la fertilidad de los suelos ácidos de Sabana	18
6.1 Fertilizantes	18
6.1.1 Fertilizantes inorgánicos	18
6.1.2 Fertilizantes o abonos orgánicos	19
6.2 Enmiendas orgánicas e inorgánicas	20
6.2.1 Cal agrícola	21
6.2.2 Emulsiones asfálticas	21
6.2.2.1 Tipos de emulsiones asfálticas	24
6.2.2.2 Ventajas de las emulsiones asfálticas	24
C. ANTECEDENTES	26
D. OBJETIVOS	29
1. Objetivo General	29

2. Objetivos Específicos	29
E. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	30
1. Materiales	30
1.1 Características del área de estudio	30
1.1.1 Ubicación	30
1.1.2 Geología	31
1.1.3 Clima	31
1.1.4 Génesis del suelo	31
1.1.5 Características del suelo	32
1.2 Fertilizantes	32
1.2.1 Urea	33
1.2.2 (12 24 12)	33
1.2.3 Gallinaza	34
1.2.4 Cal agrícola	34
1.2.5 Emulsión asfáltica catiónica y aniónica	35
2. Procedimientos y métodos	35
2.1. Primera Etapa. Caracterización del suelo de Santa Bárbara	36
2.2 Segunda etapa. Elección del tipo de emulsión y dosis apropiada	36
2.3 Tercera etapa. Efectos de la emulsión escogida en el suelo y sus aguas lixiviadas	38
2.3.1 Características de la emulsión asfáltica	38
a. pH y conductividad eléctrica de la emulsión asfáltica	38
b. Metales lixiviados de la emulsión asfáltica	39
2.3.2 Efectos de la emulsión asfáltica en el suelo	40
2.3.2.1 Parámetros físicos	43
a. % Agregados estables al agua (%AEA)	43
b. % de Humedad. Método gravimétrico	44
2.3.2.2. Parámetros químicos	44
a. % Materia Orgánica del suelo (%MOS). Método de Incineración	44

b. pH	45
c. Conductividad eléctrica (CE)	45
d. Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	46
e. Bases Intercambiables (BI)	46
f. % Saturación de aluminio intercambiable (% Sat. Al ⁺³)	47
g. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	47
h. %Saturación de Bases (%SB)	47
i. Cloruros (Cl ⁻)	48
j. Fósforo disponible	49
k. Metales totales	49
l. %Aceites y grasas (%A y G)	49
m. Saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos	50
2.3.2.3 Parámetros bioquímicos	51
a. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH)	51
b. Método de respiración edáfica (CO ₂)	52
2.3.3 Análisis de aguas lixiviadas	52
2.4 Cuarta etapa. Procesamiento de datos	53
F. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
1. Primera Etapa. Caracterización del suelo de Santa Bárbara	54
2. Segunda etapa. Elección del tipo de emulsión y dosis apropiada	55
3. Tercera etapa. Efectos de la emulsión escogida en el suelo y sus aguas lixiviadas	57
3.1 Características de la emulsión asfáltica catiónica	57
3.2 Efectos de la emulsión asfáltica en el suelo	58
3.2.1 Propiedades Físicas	58
a. % Agregados estables al agua (%AEA)	58
b. %Humedad	60
3.2.2 Propiedades químicas	61
a. % Materia orgánica del suelo (%MOS)	61

b. pH	63
c. Conductividad eléctrica (CE)	65
d. Relación de absorción de sodio (RAS)	67
e. Bases intercambiables (BI) y capacidad de intercambio iónico (CIC)	68
f. % Saturación de aluminio intercambiable (% Sat. de Al)	69
g. % Saturación de Bases (%SB)	70
h. Cloruros	71
i. Fósforo disponible	71
j. Metales totales	72
k. % Aceites y grasas	75
l. Saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos	76
3.2.3 Parámetros bioquímicos	78
a. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH)	78
b. Respiración edáfica (CO ₂)	79
3.3 Análisis de aguas lixiviadas	85
G. CONCLUSIONES	88
H. RECOMENDACIONES	90
I. BIBLIOGRAFIA	91
J. ANEXOS	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición (por volumen) de un suelo en condiciones óptimas	3
Figura 2. Distribución geográfica de los suelos de sabana de Venezuela	5
Figura 3. Proceso de acidificación de los suelos	6
Figura 4. Representación esquemática del mecanismo de formación de un agregado	9
Figura 5. Intercambio catiónico, donde un catión de Mg^{+2} en solución es intercambiado por un catión de Ca^{+2} en la superficie de intercambio de una arcilla	11
Figura 6. Comparación de la valencia y del radio de hidratación de los cationes Na^{+} y Ca^{+2}	13
Figura 7. Diagrama esquemático de una emulsión	21
Figura 8. Representación esquemática de una emulsión aniónica y una Catiónica	24
Figura 9. Ubicación de Santa Bárbara – Edo. Monagas	30
Figura 10. Estructura molecular de la urea	33
Figura 11. Tratamiento T0: Suelo control	62
Figura 12. Tratamiento T1: S + EC	62
Figura 13. Tratamiento T2: S + EC + F	62
Figura 14. Tratamiento T3: S + EC + AO	62
Figura 15. Tratamiento T4: S + EC + F + AO	62
Figura 16. Tratamiento T5: S + EC + Cal	62
Figura 17. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 0 días	80
Figura 18. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 0 días por grupos	81
Figura 19. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 30 días	81
Figura 20. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 30 días por grupos	82
Figura 21. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 60 días	82

Figura 22. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 60 días por grupos	83
Figura 23. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 120 días	83
Figura 24. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 120 días por grupos	84
Figura 25. Gráfica de MVSP de todos los tratamientos	84
Figura 26. Gráfica de todos los tratamientos por grupos	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del suelo de Santa Bárbara	32
Tabla 2. Propiedades de la Urea	33
Tabla 3. Composición de la gallinaza	34
Tabla 4. Composición química de la cal agrícola	35
Tabla 5. Propiedades de las emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas	35
Tabla 6. Etapas de la metodología experimental	35
Tabla 7. Esquema del diseño experimental de la primera etapa	36
Tabla 8. Gramos de suelo y emulsión asfáltica utilizados para preparar las muestras	37
Tabla 9. Esquema del diseño experimental de la tercera etapa	40
Tabla 10. Gramos de suelo, emulsión asfáltica y abono orgánico utilizado	41
Tabla 11. Contenido total de nutrientes en la solución de fertilizantes	42
Tabla 12. Caracterización del suelo de Santa Bárbara	54
Tabla 13. Propiedades físicas y biológicas del suelo con las diferentes dosis de emulsión.	55
Tabla 14. Propiedades químicas del suelo con las diferentes dosis de emulsión	56
Tabla 15. Características químicas de la emulsión asfáltica escogida	58
Tabla 16. % agregados estables al agua (%AEA)	59
Tabla 17. % humedad	60
Tabla 18. % materia orgánica en el suelo (%MOS)	61
Tabla 19. pH del suelo por 1:1	63
Tabla 20. pH del suelo por pasta saturada	64
Tabla 21. Conductividad eléctrica del suelo por 1:1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	65
Tabla 22. Conductividad eléctrica del suelo por pasta saturada ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	65
Tabla 23. Relación de absorción de sodio (RAS)	67
Tabla 24. Bases intercambiables (cmol/Kg)	68
Tabla 25. Capacidad de Intercambio catiónico (cmol/Kg)	68

Tabla 26. % saturación de aluminio (%Sat. de Al)	69
Tabla 27. % saturación de bases (%SB)	70
Tabla 28. Cloruros en el suelo (mg/L)	71
Tabla 29. Fósforo disponible en el suelo (mg/L)	72
Tabla 30. Metales totales del suelo a los 0 días	73
Tabla 31. Metales totales del suelo a los 30 días	73
Tabla 32. Metales totales del suelo a los 60 días	73
Tabla 33. Metales totales del suelo a los 120 días	73
Tabla 34. Límites de metales totales en el suelo	74
Tabla 35. % Aceites y grasas (% A y G)	75
Tabla 36. g saturados/g muestra seca	76
Tabla 37. g aromáticos/g muestra seca	76
Tabla 38. g resinas/g muestra seca	77
Tabla 39. g asfaltenos/g muestra seca	77
Tabla 40. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH) ($\mu\text{g TFF/g}\cdot\text{d}$)	78
Tabla 41. Producción de CO_2 (ppm)	79
Tabla 42. Propiedades de las aguas lixiviadas	85
Tabla 43. Valores límites de las propiedades de las aguas lixiviadas	86

A. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial, y la continua demanda de bienes y servicios sobre todo del área agrícola, es una problemática mundial que también se refleja en Venezuela, por ello se requiere impulsar estudios y prácticas de ensayos a nivel de invernadero, laboratorio y campo, de nuevos métodos para mejorar las condiciones y propiedades de los suelos y así obtener una optimización de los recursos agroambientales que brindan los suelos.

En Venezuela existen diferentes regiones donde hay suelos con limitaciones de fertilidad y acidez, los cuales ocupan un tercio del territorio nacional. Estos se encuentran ubicados en Los Llanos centrales y orientales, así como la región sur del país, y se caracterizan por ser suelos de sabana ácidos altamente erosionados y de baja fertilidad [1] [2]. Por ello, se requiere una atención especial para este tipo de suelos, a través de la búsqueda de métodos que puedan mejorar sus condiciones agroecológicas y disminuir la desertificación, mediante la restauración de las propiedades físico-químicas del suelo, lo cual permitiría un aumento de los servicios ambientales, la repoblación de plantas en el suelo mejorando el paisaje de las sabanas y el incremento de la captura de CO₂ por las plantas. Además, se espera que en un futuro estos métodos puedan ser aplicados en campo para mejorar las condiciones agroalimentarias del suelo.

Los métodos tradicionales aplicados en estos suelos ácidos hasta la fecha son, con fertilizantes y abonos orgánicos, pero estos no son tan efectivos pues los fertilizantes a pesar de que son productos de fácil asimilación por las plantas pueden llegar a lixiviar y contaminar las aguas superficiales y subterráneas, y su aplicación indebida puede llegar a dañar los cultivos; además, son productos importados, en los cuales se invierte muchos recursos económicos para incorporarlos en la actividad agrícola. Por otro lado las enmiendas orgánicas, son materiales utilizados desde tiempos remotos, que pueden

modificar la solubilidad de sustancias minerales y reducir en cierto grado la acidez de los suelos, pero su efecto es lento debido a que deben ser transformados por los organismos para ser asimilados por las plantas.

Por estas razones, se ha buscado nuevos métodos que permitan modificar las propiedades de los suelos, inducir su fertilidad y detener la erosión, para una mayor producción de alimentos. A comienzos de 1980 Pla, *et al.* y más recientemente en la Universidad Central de Venezuela (UCV), se ha estudiado el uso de emulsiones asfálticas en los suelos de Los Llanos de venezolanos, obteniendo resultados exitosos al mejorar el porcentaje de agregación y estabilidad de agregados de los suelos, además de aumentar la retención hídrica. Lo que ha intensificado el interés de su estudio, para el desarrollo de esta metodología y así lograr su aplicación en campo debido a las ventajas que posee, pues además de ayudar a mejorar las propiedades del suelo, es un material no contaminante y de bajos costos, debido a que su principal componente son emulsiones asfálticas con alto contenido de resinas y asfaltenos.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivos, estudiar el efecto que tienen las emulsiones asfálticas en un suelo ácido y su probable efecto en las aguas lixiviadas. Se determinará también los efectos de incorporar fertilizante y enmienda orgánica, además se identificará cual es el mejor tipo de emulsión asfáltica (catiónica o aniónica) y la dosis óptima para el tipo de suelo estudiado.

B. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. El suelo y su composición

De acuerdo a al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture) (USDA) [3], el suelo es definido como un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupan un espacio, y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural.

El suelo está compuesto por cuatro componentes: mineral, orgánico, agua y aire, cuyas proporciones varían como se muestra en la Figura 1.[4].

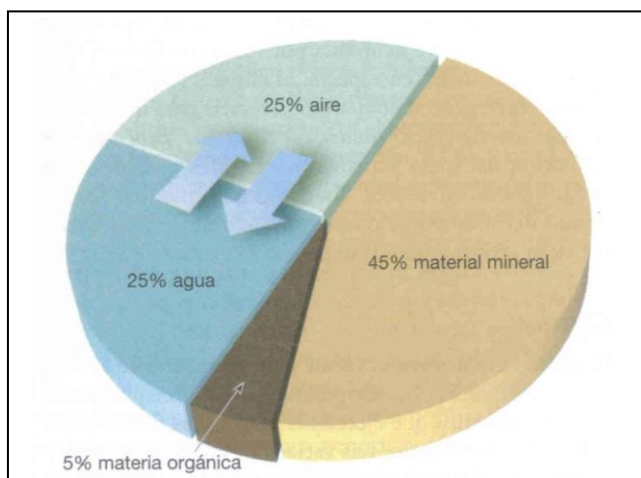


Figura 1. Composición (por volumen) de un suelo en condiciones óptimas.

Fuente: Tarbuck y Lutgens, 2005.

La mitad del volumen total de un suelo en condiciones óptimas, está compuesto por material sólido, una parte mineral que comprende el 45% del volumen, está compuesto

por fragmentos de rocas y minerales de varias clases. Ambos tipos de materiales son residuos de la roca consolidada, materiales parentales, la cual ha sido sometida a procesos de meteorización. Una porción orgánica, que se encuentra en un 5% del volumen, es llamada humus y comprende una acumulación de residuos animales y vegetales parcialmente desintegrados y descompuestos, además de otros compuestos sintetizados por los microorganismos del suelo. [1][4].

El espacio poroso está dividido en 25% agua y 25% aire. Las proporciones de agua y aire están sujetas a rápidas y grandes fluctuaciones. El agua encontrada en los suelos, es llamada solución del suelo y contiene iones disueltos y otras sustancias, que muchas de ellas son aprovechadas por las plantas como nutrientes. Tanto los fluidos como el aire, ocupan los poros del suelo por ello se encuentran muy relacionados pues la cantidad de aire es inversamente proporcional a la cantidad de agua que se encuentra en el suelo [4] [6].

2. Clasificación del suelo

Los suelos pueden clasificarse según el pH, propiedad que determina el grado de acidez o alcalinidad de estos y que influye en la mayoría de las propiedades físicas, químicas y procesos biológicos, incluyendo el crecimiento de las plantas.

Los suelos, según su valor de pH, se clasifica en:

- Fuertemente básicos > 9
- Moderadamente básico = 8 – 9
- Ligeramente básico = 7 – 8
- Neutro = 6,5 - 7
- Ligeramente ácido = 6 – 6,5

- Moderadamente ácido = 5 – 6
- Fuertemente ácido < 5

Para intereses de este trabajo, se dará una mayor atención a los suelos ácidos característicos de las sabanas, los cuales se encuentran en un 32% de la superficie de Venezuela, limitados principalmente hacia los llanos centrales y orientales, así como también a la región sur del país, como es señalado en la Figura 2 [1].

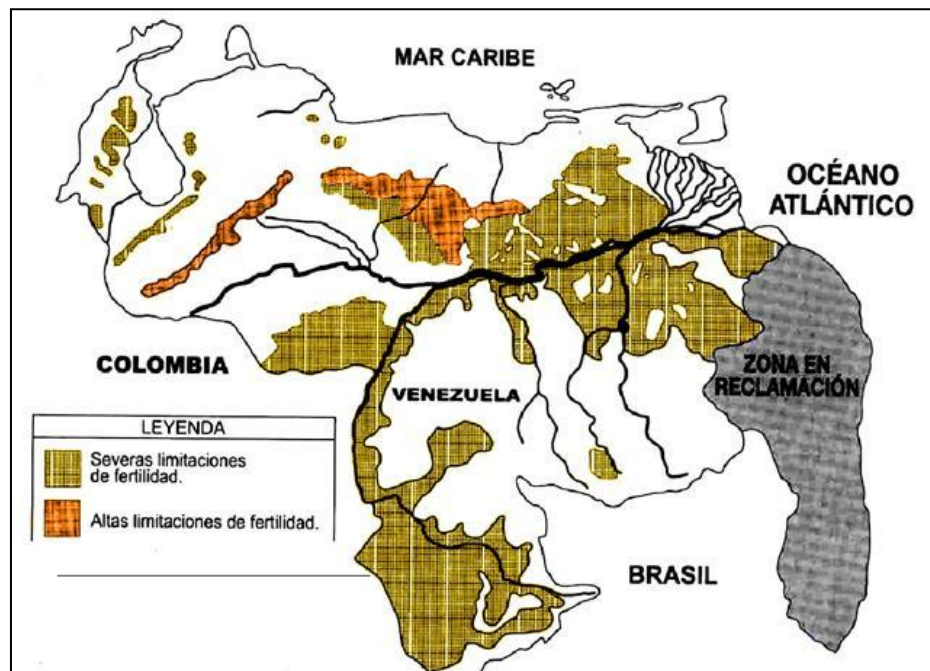


Figura 2. Distribución geográfica de los suelos de sabana de Venezuela.
Según Comerma y paredes, 1978 citado por Casanova, 2005

3. Formación de los suelos ácidos de sabana

Los suelos de sabana, provienen de formaciones geológicas muy antiguas que han sido sometidas a intensos procesos de meteorización, causados por elevadas temperaturas ambientales que han conducido a la formación de suelos de pH bajos, de drenaje interno rápido, con escasa capacidad de intercambio catiónico, y constituidos

principalmente por arenas. Además de estar sometida a abundantes lluvias, generalmente de 1200 a 2000 mm, lo cual favorece el lavado de los suelos y con ello la pérdida de macronutrientes esenciales como P, N y K, lo que induce una baja fertilidad y productividad en estos ecosistemas. [7].

Estos, se forman generalmente en regiones húmedas donde las abundantes precipitaciones favorecen la lixiviación de cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+) y aniones ácidos (HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^- , aniones orgánicos) y la retención de iones H^+ y Al^{+3} , los cuales son adsorbidos sobre los coloides del suelo [8], como se representa en la Figura 3.

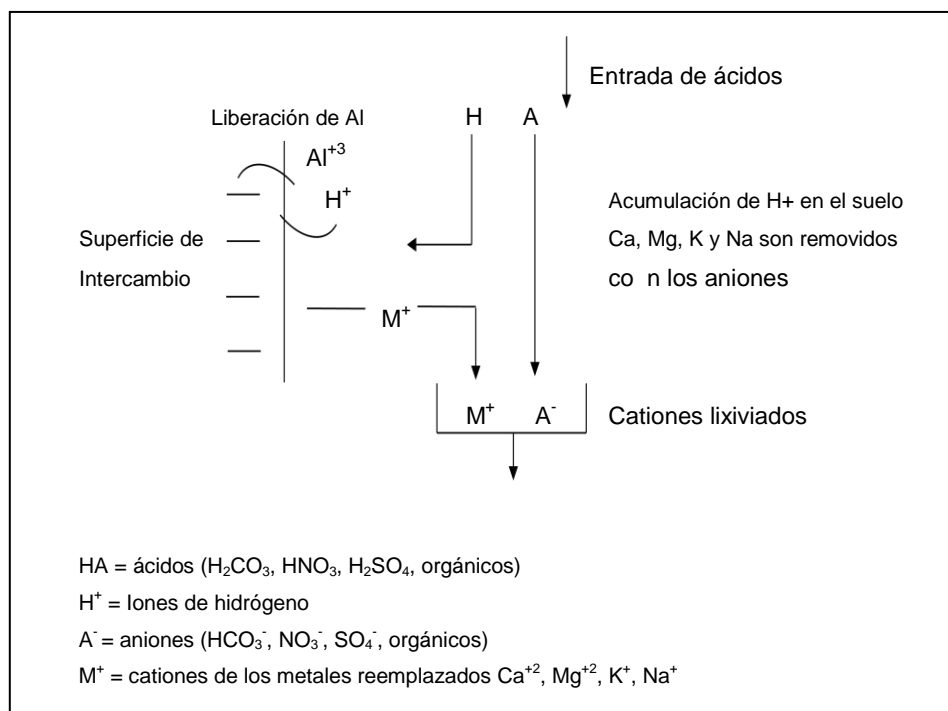


Figura 3. Proceso de acidificación de los suelos. Fuente: Singer, 1990.

4. Propiedades físicas y químicas del suelo

4.1 Textura del suelo

La textura de un suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla expresados como porcentajes en peso. Los términos de arena, limo y arcilla, describen el tamaño de la fracción sólida del suelo, y son definidos en función del diámetro de las partículas minerales. Las arenas tienen un diámetro entre 2 y 0,05mm, el limo entre 0,05 y 0,002 mm y las arcillas con diámetros inferiores a 0,002 mm ó 2 micras [1] [9].

Por el contenido porcentual de estas tres fracciones minerales del suelo, pueden ser clasificados en tres grupos:

- **Arenosos:** donde la arena representa más del 70% de la fracción sólida del suelo. Son generalmente permeables al aire, agua y raíces, pero normalmente tienen ciertas limitaciones, entre ellas se encuentra la baja capacidad de retener agua aprovechable para las plantas y la baja capacidad de suministro de nutrimentos.
- **Arcillosos:** los suelos de este grupo poseen mínimo 35% de arcilla y en la mayoría de los casos más de 40%. Estos tienen una alta área superficial en sus partículas, por lo tanto tienen una mayor capacidad de retener agua aprovechable y nutrimentos en forma disponible para las plantas. Sin embargo, la mayoría de los poros de este suelo son pequeños (microporos) y normalmente llenos de agua, por lo que generalmente la aireación es inadecuada.

- **Francos:** un suelo franco ideal podría ser definido como una mezcla de arena, limo y arcilla, en proporciones aproximadamente iguales. Los suelos de textura franco-francolimosos son generalmente los más deseables desde el punto de vista agrícola. Estos suelos tienen bastante arcilla para retener suficiente agua y nutrimentos, a fin de lograr un óptimo crecimiento para las plantas, pero no tanta para no tener problemas de pobre aireación [1].

Generalmente los suelos de sabana son arenosos, poseen partículas grandes con escasa capacidad de adsorción, lo que permite el paso rápido del agua hacia los horizontes inferiores, por lo que las plantas pueden experimentar déficit hídrico [10].

4.4 Estructura del Suelo

El arreglo de las partículas de arena, limo y arcilla, en unidades más grandes, determinan la estructura del suelo [4]. Estas unidades son llamadas agregados, y se refieren a un grupo de partículas primarias unidas por agentes cementantes como lo es la fracción coloidal del suelo, la cual comprende los minerales arcilla, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, carbonatos cálcicos y los más importantes los coloides orgánicos (materia orgánica) [9].

Los agregados se originan por medio de mecanismos físicos (humedecimiento, secado, efecto de extensión de las raíces, acción de organismos del suelo, operaciones de labranza), que mantienen juntas las partículas del suelo, de manera que estas formas estructurales persistan en el suelo con el tiempo [4][6].

La formación de agregados se produce cuando las moléculas de agua, actuando como dipolo se adhieren a los coloides, normalmente cargados negativamente, formando la

unión agua – coloide, la cual puede incluir algunos cationes como se representa en la Figura 4, pues la agregación tiende a ser afectada por los cationes absorbidos.

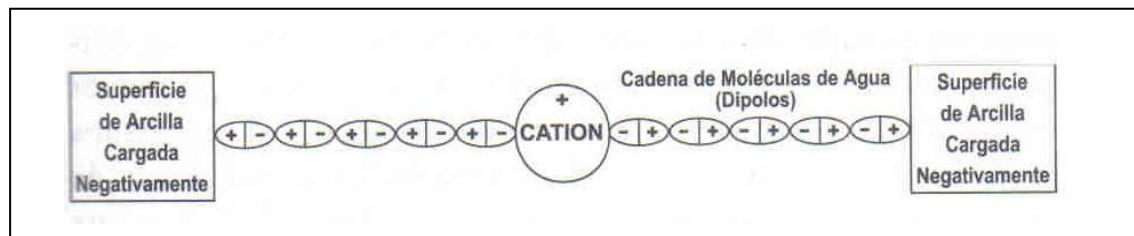


Figura 4. Representación esquemática del mecanismo de formación de un agregado.

Según Foth (1978) citado por Casanova, 2005.

Las moléculas de agua se mantienen unidas fuertemente y en la medida en que el suelo se va secando, la distancia entre las partículas coloidales se hace más corta y tienden a estar juntas. Si la pérdida de agua del suelo continúa, los coloides se pegan unos a otros para formar agregados (acción cementante). De esta manera el agua, actuando conjuntamente con los coloides, constituyen las fuerzas que inducen la agregación en los suelos. La materia orgánica es uno de los agentes cementantes más importantes, sin embargo, los residuos de plantas sin la actividad biológica tiene poco efecto sobre la agregación [1].

La estructura del suelo y su estabilidad es de gran importancia, pues controla la porosidad del suelo, la circulación del agua y el aire, la distribución de los nutrientes y la penetración de las raíces [11]. Según Edwards y Bremner (1967) [12] y Tisdall y Oades (1982) [13], los agregados pueden clasificarse dependiendo de su tamaño y estabilidad en:

- Microagregados (< 250 μm), estructuras bastante estables, que pueden ser destruidas solo por energía mecánica y tratamiento físico. Su formación es promovida por la materia orgánica (sustancias húmicas), partículas de arcilla y cationes polivalentes. La materia orgánica que se encuentra en estas

estructuras, es inaccesible al ataque microbial, por lo tanto está estabilizado a la descomposición. En el suelo, los microagregados se encargan de almacenar el agua y los nutrientes.

- Macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) son estructuras menos estables, se forman de la unión de microagregados y partículas de materia orgánica, esta última puede ser fácilmente degradada por los microorganismos. En el suelo, estas estructuras se encargan de la renovación del aire, y favorecen el desarrollo radicular de las plantas.

La estabilidad de los agregados es importante en relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radicular y actividad de la comunidad microbial (Tate, 1995) [14]. La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión [15].

Generalmente, en los suelos ácidos, donde los suelos son muy evolucionados o meteorizados, con bajo contenido de materia orgánica y arcilla, el porcentaje de microagregados es mayor, esto impide la adecuada infiltración del agua en el suelo, debido a que se forman láminas superficiales, que generan escorrentías [1] [11].

4.5 Intercambio iónico

El intercambio iónico es el proceso por medio del cual los iones adsorbidos en la superficie de las partículas del suelo son sustituidos por iones de la solución del suelo, a una velocidad y facilidad muy variable. Los iones débilmente retenidos por la superficie, son rápidamente sustituidos al contacto con la solución del suelo por reacciones de intercambio, estos iones son denominados iones intercambiables. Sin

embargo, se encuentran otros iones que son retenidos con mayor tenacidad o están ubicados en posiciones poco accesibles, haciendo que su liberación sea muy lenta, a estos iones se les llama iones no intercambiables [1].

La fracción coloidal del suelo tiene cargas negativas que son responsables del intercambio de cationes, pero también de coloides que generan cargas positivas y son responsables del proceso de intercambio aniónico [4]. De los dos procesos, el intercambio catiónico es más abundante en los suelos, que el intercambio aniónico [16].

4.5.1 Intercambio catiónico

El intercambio catiónico, es el intercambio entre un catión en solución y otro catión en la superficie de un material cargado negativamente [16]. (Figura 5).

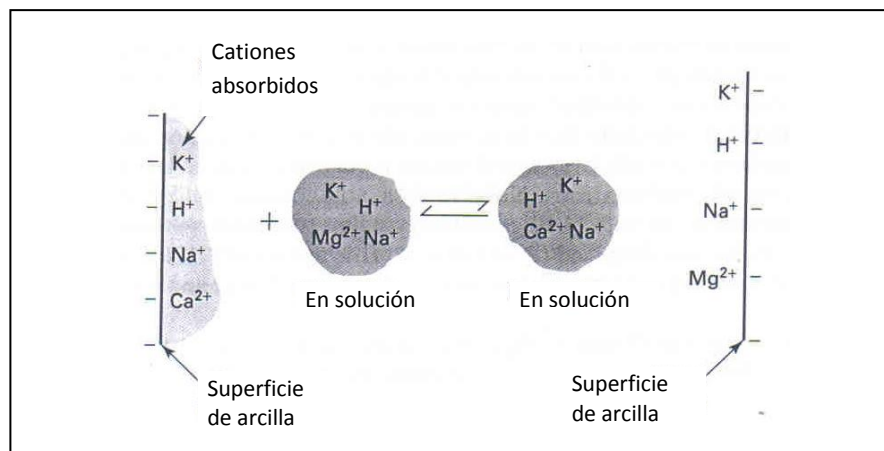
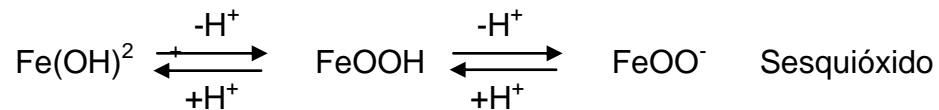


Figura 5. Intercambio catiónico, donde un catión de Mg^{+2} en solución es intercambiado por un catión de Ca^{+2} en la superficie de intercambio de una arcilla. Fuente: Singer, 1990.

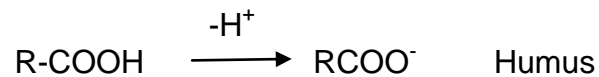
Entre los materiales que generan cargas negativas en su superficie, encontramos:

- Las partículas de arcillas, cuyas cargas son generadas por sustituciones isomórficas (proceso de sustitución de un catión por otro de radio iónico similar

en la estructura cristalina de cualquier tipo de mineral, cuando este cristaliza), a estas cargas se les denomina cargas permanentes, pues no varían con el pH. También se forman cargas por la ruptura de los bordes de su estructura cristalina, a estas se les denomina cargas variables, debido a su dependencia con el pH, como se muestra en la siguiente reacción de un sesquióxido de hierro:



- Los coloides orgánicos, los cuales forman sus cargas permanentes por la pérdida de iones H^+ de los grupos ácidos en el humus, como se observa a continuación:



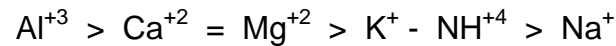
La formación de estas cargas negativas en la superficie del suelo da lugar al proceso de capacidad de intercambio catiónico [1].

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es definida como la cantidad total de cationes (Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+) intercambiables que pueden ser adsorbido por el suelo a un pH específico [9].

La cantidad y los tipos de cationes adsorbidos por el suelo dependen de los factores siguientes:

- **Concentración de los cationes en solución.** La concentración de un catión en la solución del suelo, incrementa la oportunidad de éste a ser adsorbido por la superficie de intercambio.

- **Valencia del catión.** La fuerza con la que los cationes son retenidos en los sitios de intercambio depende de la valencia del catión, como se muestra en la serie siguiente:



De acuerdo a este orden los cationes trivalentes son retenidos con mayor fuerza que los cationes divalentes y monovalentes [16]. (Figura 5).

- **El grado de hidratación.** La atracción entre los cationes y las moléculas de agua permite la formación de capas de moléculas de agua de diferentes espesores. El espesor es específico para cada catión, denominándolo radio de hidratación, este determina cuán cerca puede estar un catión de un sitio de intercambio, y por lo tanto, la fuerza con que es atraído [1]. Por ello, los cationes con menor radio de hidratación son más fuertemente adsorbidos por las superficies de intercambio [16].

En la Figura 6, el ion de calcio es adsorbido con mayor fuerza por la arcilla que el ion de sodio, debido a que este último, es un catión monovalente y su radio de hidratación es mayor.

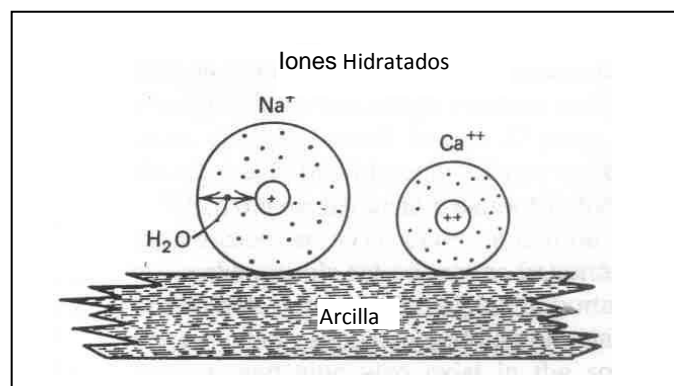


Figura 6. Comparación de la valencia y del radio de hidratación de los cationes Na^+ y Ca^{+2} .
Fuente: Singer, 1999.

En suelos contaminados por sodio, el ion calcio es intercambiado por los cationes de sodio, estos aunque no son dañinos para las plantas hacen que los suelos de textura fina, se hagan extremadamente impermeables al agua y dificulta a las raíces su penetración [17].

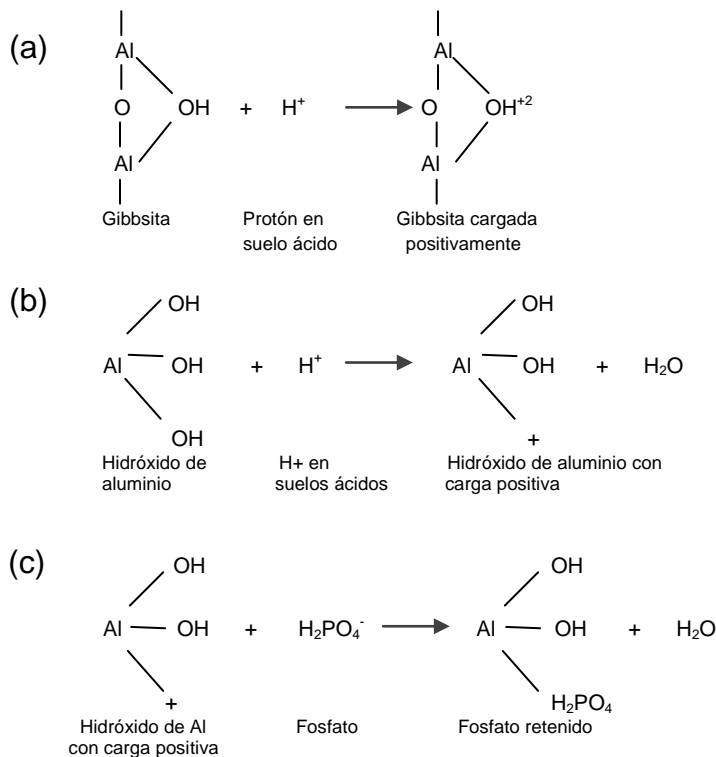
- **pH.** El pH del suelo determina el predominio de ciertos cationes en los sitios de intercambio. A pH básicos (> 7), los cationes que dominan son Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , llamados cationes básicos, y a pH ácidos (< 7) los cationes predominantes son Al^{+3} y H^{+} , por esta razón son denominados cationes ácidos [1].

Del mismo modo, en que se produce el intercambio catiónico, algunos coloides pueden desarrollar sitios de cargas positivas, responsables del proceso de intercambio aniónico.

4.5.2 Intercambio aniónico

El intercambio aniónico está asociado a los óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso de los minerales del suelo. Cuando estos minerales desarrollan cargas positivas, la superficie de intercambio puede atraer aniones, dando como resultado el proceso de capacidad de intercambio aniónico. Este, es el proceso donde los aniones del suelo (nitratos, fosfatos, cloruros y sulfatos) pueden sustituir los grupos $-\text{OH}$ en los minerales arcilla [9].

Cuando los óxidos e hidróxidos generan cargas positivas, reacciones (a) y (b), pueden retener con gran fuerza a los aniones como los fosfatos y sulfatos, que debido su gran tamaño tienen una movilidad menor que los cationes, de modo que en este caso cabe más hablar de fijación que de intercambio, reacción (c) [11].



Bajo estas condiciones el fósforo no es aprovechable por las plantas, sino que se mantiene fijado por las partículas del suelo.

Este proceso de intercambio aniónico, depende del pH del suelo, pues se lleva a cabo a pH ácidos, porque a pH básicos se forman cargas negativas promoviendo el intercambio catiónico [1].

En los suelos de condiciones ácidas, predominan los cationes H^+ y Al^{+3} , los cuales ocupan los sitios de intercambio, provocando la desaparición gradual de minerales como CaCO_3 , lo cual disminuye el potencial para mantener un alto nivel de Ca^{+2} y Mg^{+2} , produciendo condiciones indeseables para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Del mismo modo, los suelos ácidos, ricos en materia orgánica pueden retener una gran cantidad de fosfato provocando carencias en la vegetación, aun con concentraciones elevadas de fosfato total [1][11].

5. La materia orgánica en el suelo

La materia orgánica es un importante factor, debido a su gran influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo. La fuente principal de la materia orgánica proviene del tejido de las plantas y de manera secundaria, proveniente de los animales. Este material una vez que llega al suelo es descompuesto y sintetizado por los microorganismos, generando grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) [9].

La materia orgánica remanente o más resistente a la descomposición, es una masa coloidal heterogénea que junto con los nuevos compuestos sintetizados es llamado, humus.

El humus se compone de dos grupos generales, el grupo húmico y el grupo no húmico.

5.1 Grupo húmico

Compone el 60 – 80% de la materia orgánica del suelo y son los más resistentes al ataque microbiano. Las sustancias húmicas son caracterizadas por formarse principalmente de compuestos aromáticos y tener estructuras complejas tipo anillo que incluye polifenoles y poliquinonas, generadas por descomposición, síntesis y polimerización.

Estos no poseen propiedades físicas y químicas características, son amorfos, de color oscuro y poseen altos pesos moleculares [4].

En base a su resistencia a la degradación y la solubilidad en ácidos y bases, las sustancias húmicas, se pueden clasificar en:

- **Ácidos Fúlvicos:** son aquellos que poseen menores pesos moleculares, colores más claros, son solubles en ácidos y bases y son los más susceptibles al ataque microbiano.
- **Ácidos Húmicos:** tienen pesos moleculares medios, su color es más oscuro que los ácidos fúlvicos, son solubles en bases e insolubles en ácidos, y son medianamente resistentes a la degradación.
- **Huminas:** poseen grandes pesos moleculares, son muy oscuros y son insolubles en ácidos y bases, son las más resistentes al ataque de los microorganismos.

Los tres grupos húmicos tienen propiedades similares y son capaces de adsorber y liberar cationes. Ellos son conocidos como “materiales húmicos”.

5.2 Grupo no húmico

Comprende el 20 – 30% de la materia orgánica en los suelos, son menos complejos y son menos resistentes al ataque microbiano que los grupos húmicos. Además, tienen propiedades físicas y químicas definidas.

Estas sustancias incluyen los polisacáridos y compuestos más simples como ácidos orgánicos y algunos materiales como las proteínas [4].

Como se ha mencionado, la materia orgánica tiene una gran influencia en las propiedades del suelo, algunas de ellas:

- Interviene en el color del suelo.

- Influye en las propiedades físicas.
 - Aumenta la formación de agregados.
 - Incrementa la capacidad de retención de agua.
- Eleva la capacidad de intercambio catiónico.
- Suministra y abastece de nutrientes.
 - Los cationes en los colides del humus son fácilmente intercambiables
 - El nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes son retenidos en formas orgánicas.
 - Libera elementos de minerales por ácidos húmicos [4].

6. Métodos utilizados para mejorar la fertilidad de los suelos ácidos de sabana

Los métodos empleados para mejorar la fertilidad de los suelos ácidos de sabana, son el uso de fertilizantes y enmiendas orgánicas.

6.1 Fertilizantes

Los fertilizantes, son cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética que aporte a las plantas uno o varios elementos nutritivos indispensables para su desarrollo vegetativo normal. Estos se encargan de entregar y devolver a la tierra los nutrientes necesarios para el adecuado crecimiento de las plantas. [18].

Los fertilizantes pueden clasificarse según su origen en: inorgánicos y orgánicos.

6.1.1 Fertilizantes inorgánicos

Son aquellos productos desprovistos de materia orgánica que contienen uno o más elementos nutritivos, reconocidos como esenciales al crecimiento y desarrollo vegetal.

La ventaja de este tipo de fertilizante es que son rápidamente asimilados por las plantas, debido a que disuelven con facilidad actuando rápidamente en el suelo, sin embargo tienen como desventajas que son aprovechados en un 10% por las plantas, el resto es retenido por el suelo y pueden llegar a contaminar fuentes de agua, si son mal empleados [8][18].

Según la cantidad de nutrientes que aporte estos fertilizantes se dividen en:

- **Simples:** son aquellos que contienen un solo de los macronutrientes siguientes: nitrógeno, fósforo o potasio. Entre estos encontramos la urea, la cual es un fertilizante nitrogenado sólido con un 45 a 56% de nitrógeno en su composición; y el fertilizante potásico, tiene un 50 y 60% de potasio en forma de óxido de potasio (K_2O), entre otros [18].
- **Compuestos:** son aquellos que contienen varios elementos nutritivos de los principales: nitrógeno, fósforo y potasio, pueden distinguirse fertilizantes de dos y tres elementos. Entre estos encontramos el fertilizante triple 15, el cual contiene 15% de nitrógeno, 15%fósforo y 15%potasio [19].

6.1.2 Fertilizantes o abonos orgánicos:

Son aquellos que proceden de residuos de animales o vegetales y contienen mínimos de materia orgánica y nutriente. La desventaja que posee, es son de acción lenta, pues proporcionan nitrógeno orgánico que debe ser transformado en inorgánico por las bacterias del suelo antes de ser adsorbido por las raíces. No obstante, tiene como ventaja que tiene menos efectos secundarios, en caso de excederse su uso y a pesar de que el contenido de materia orgánica es bajo y muy variable, mejora la estructura del

suelo incrementado la capacidad para retener los nutrientes minerales que se aplican a estos. [8].

Entre estos fertilizantes encontramos el estiércol, compost y el abono verde.

- **El estiércol**, es un producto de origen natural formado por la mezcla de excrementos sólidos u líquidos de los animales. Estas mezclas tienen que ser fermentadas en estercoleros antes de su aplicación al campo. Su valor nutritivo es bajo, pero son consideradas fuentes de materia orgánica, que permiten mantener la fertilidad de los suelos [20].
- **El abono verde**: son plantas que se cultivan y se incorporan al suelo antes de la antitesis floral para beneficio del suelo. Los abonos verdes son utilizados para conservar mediante succión los nutrientes del suelo, para añadir nutrientes y materiales orgánicos al suelo, para mejorar la estabilidad y estructura del suelo y, además, para controlar la erosión, el saturado de aguas y la lixiviación de minerales [21].
- **Compost**: es una mezcla de productos procedentes de la fermentación de residuos animales y vegetales previamente triturados [20].

6.2 Enmiendas orgánicas e inorgánicas

Las enmiendas son cualquier sustancia, capaz de modificar o mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo [18] entre estas tenemos la cal agrícola como enmienda inorgánica y las emulsiones asfálticas como enmienda orgánica.

6.2.1 Cal agrícola

La cal agrícola es utilizada en métodos de encalado, la cual es aplicada en suelos de los trópicos húmedos, donde el pH tiende a ser bajo a causa del efecto de lixiviación de lluvias torrenciales. Esta acidez del suelo es corregida a través de la aplicación de cal molida (CaCO_3), material muy efectivo y de bajo costo o la cal dolomítica ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), la cual también provee de magnesio.

Esta enmienda cálcica tiene un efecto positivo al precipitar el aluminio libre, controlando la toxicidad de este catión. Pero si no es bien empleado puede causar un sobreencalado, lo que provoca una deficiencia de micronutrientes como hierro, potasio, manganeso, zinc, boro y fósforo [22].

6.2.2 Emulsiones asfálticas

Las emulsiones, son una dispersión fina más o menos estabilizadas de un líquido en otro, no miscibles entre si. Estas, se forman de dos fases:

- Fase dispersa o discontinua.
- Fase dispersante o continua.

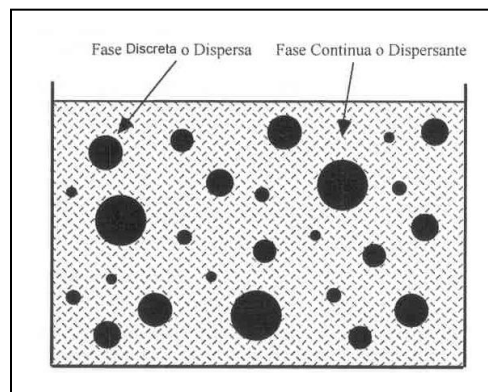


Figura 7. Diagrama esquemático de una emulsión. Fuente: Rodríguez, 2001

En las emulsiones asfálticas, se tiene una mezcla heterogénea de asfalto o bitumen y agua, donde el agua forma la fase continua o dispersante y los glóbulos de bitumen, la fase discontinua [23].

Según las concentraciones de estas fases, existen dos tipos de emulsiones:

- **Emulsión directa (aceite en agua):** es aquella donde la fase hidrocarbonada está dispersa en la parte acuosa.
- **Emulsión indirecta (agua en aceite):** es aquella donde la fase acuosa está dispersa en la parte hidrocarbonada [23].

Una emulsión asfáltica se compone de tres ingredientes principales: bitumen, agua y surfactantes.

Bitumen o asfalto: es el ingrediente básico de las emulsiones asfálticas, en la mayoría de los casos forma del 55 al 70 % de las emulsiones. Este, es obtenido como el residuo del proceso de refinación del petróleo y puede ser descrito como una mezcla compleja de hidrocarburos, que puede dividirse en:

- Asfaltenos, es la fracción más pesada, constituida por materiales duros y quebradizos.
- Maltenos, es la fracción más ligera, solubles totalmente en n-pentano. Divididos a su vez en parafinas, resinas y aceites.

La interacción de estos compuesto, forman un fluido complejo con un comportamiento viscoelástico, como es el asfalto [23] [24].

Agua: es el segundo ingrediente de una emulsión asfáltica. Este, debe estar libre de la presencia de iones de calcio y magnesio, los cuales puede afectar las propiedades de la emulsión, en general, el agua debe ser pura y libre de materia extraña. [25].

Surfactante: es el tercer ingrediente y se encuentra en cantidades depreciables. Los surfactantes, son compuestos de peso molecular elevado, formados por una parte hidrofóbica (generalmente una cadena hidrocarbonada lineal o cíclica) y una parte hidrofílica (generalmente un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico) soluble en el medio acuoso.

Los surfactantes son los que estabilizan la emulsión, y en su mayoría se sitúan en la interface de asfalto – agua, su parte hidrofóbica se dirige hacia el asfalto y su parte polar hacia el agua. [26].

Las emulsiones asfálticas se pueden clasificar de acuerdo al surfactante en:

- **Emulsiones asfálticas catiónicas:** son aquellas en las que el surfactante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos de bitumen o adquieren una carga positiva.
- **Emulsiones asfálticas aniónicas:** en estas emulsiones el surfactante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos de bitumen, es decir que adquieren una carga negativa [24].

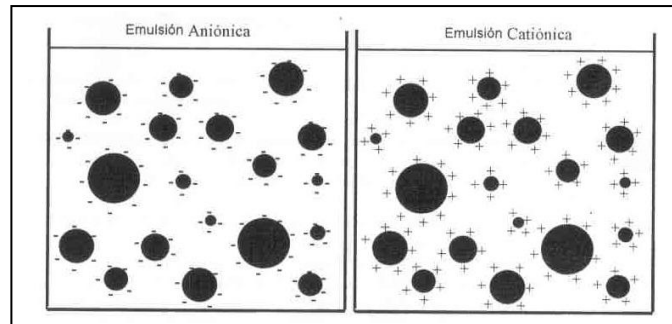


Figura 8. Representación esquemática de una emulsión aniónica y una catiónica.

Fuente: Rodríguez, 2001

6.2.2.1 Tipos de emulsiones asfálticas

La ruptura de una emulsión asfáltica ocurre cuando las cargas que posee el suelo, neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño. Según el tipo de rotura, se dividen en [19]:

- Emulsiones de rompimiento rápido, tienen poca o ninguna capacidad de mezclarse con el suelo.
- Emulsiones de rompimiento medio, designadas para mezclarse, pues no se rompen al instante de entrar en contacto con el suelo.
- Emulsiones de rompimiento lento, designadas para una máxima estabilidad de mezclado con el suelo.

6.2.2.2 Ventajas de las emulsiones asfálticas

Las ventajas que tiene el uso de emulsiones asfálticas en los suelos son:

1. Es un ligante asfáltico no contaminante ni peligroso, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.

2. Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
3. Tiene un amplio límite de almacenamiento, puede ser almacenado por semanas o meses.
4. Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.

C. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los trabajos que han sido realizados por los diferentes investigadores, sobre los efectos que producen el uso de emulsiones asfálticas en suelos de sabana, que dan pie a esta investigación:

Voets, et al (1973), realizaron investigaciones en Bélgica sobre el efecto que produce el uso de las emulsiones asfálticas en la microbiología del suelo, tomando muestras de los primeros 10cm de profundidad en suelos de diferente textura (arenoso, limoso, arenolimoso, entre otros.). Sus resultados indicaron que la emulsión no causa daños en las poblaciones microbianas ni en la actividad enzimática de los suelos. Las inhibiciones más significativas se encontraron en suelos arenosos y arcillosos con altas concentraciones de emulsión. La tasa óptima de emulsión fue de 0,75L/m², en los suelos limosos debido al incremento de la actividad microbiológica y enzimática. Además, demostraron que las emulsiones producen un efecto estabilizador de tres a cinco años [25].

Pla, et al (1983), realizaron ensayos de campo con una duración de tres años (1979 - 1981), con suelos Alfisoles franco arenosos fino del estado Guárico, y cultivos de sorgo, estabilizados con la aplicación de emulsiones asfálticas catiónicas (1,5t/ha) diluidas 1/6 agregadas a la superficie de los suelos secos después de la siembra, para mejorar las deficiencias de agua en el suelo en períodos críticos para el cultivo y disminuir las pérdidas de agua de lluvia por escorrentía, que provocan pérdidas de suelo por erosión, presentadas con frecuencia en épocas con fuertes precipitaciones. A corto plazo obtuvieron un incremento en la producción de sorgo 23 veces mayor por hectárea, con el tratamiento de emulsión asfáltica, debido a los efectos favorables sobre la conservación de agua en el suelo, lo cual evitó los fuertes y prolongados déficits de agua durante el desarrollo de los cultivos. También, las pérdidas de suelo por erosión se redujeron al mínimo, obteniendo con ello no solo efectos positivos a corto plazo, sino

que se minimizan los efectos negativos a mediano y largo plazo, derivados del control de este factor [26].

Lobo, et al (1984), ejecutaron ensayos de campo en suelos Ultisoles arenosos de la Mesa de Guanipa, con cultivos de maní y tratamientos de emulsiones asfálticas catiónicas en aspersión superficial sobre el suelo seco, en una suspensión con una relación asfalto/agua de 1/6 a razón de 1t/ha, para reducir las pérdidas de agua del suelo producidas por la evaporación y por la transpiración de las plantas en el suelo superficial. Los resultados obtenidos de este estudio indicaron que los suelos tratados con emulsiones asfálticas duplican el rendimiento de la producción de maní en relación al suelo no tratado, debido a la significativamente reducción de las pérdidas por evaporación del agua de lluvia almacenada en el suelo, concluyendo que esta técnica atenúa un poco el efecto de la irregularidad de las lluvias en los cultivos [27].

Jiuzhi y Bongtong (1985), realizaron estudios en China, sobre el efecto que causa las emulsiones asfálticas en las propiedades físicas del suelo. Los resultados obtenidos fueron favorables, debido a que se redujo la pérdida de agua por evaporación en suelos tratados con la emulsión, también hubo un aumento en la absorción de la radiación solar, reflejando un aumento en la temperatura de los suelos. En cuanto a su estructura el uso de la emulsión incrementó la cantidad de agregados estables al agua, demostrando que la emulsión asfáltica es un buen agente mejorador de la estructura del suelo [28].

Salem, et al (1985), estudiaron los efectos de las emulsiones asfálticas en la retención y liberación de las emulsiones asfálticas en la retención y liberación de algunos nutrientes y metales pesados, en condiciones de laboratorio con dos tipos de suelo provenientes de Egipto y Bélgica, caracterizados por ser suelos arenosos, donde la materia orgánica y las arcillas están ausentes y los elementos nutrientes están lixiviados. A estos suelos se les agregó una cantidad conocida de nutrientes y fueron

tratados con diferentes dosis de emulsiones asfálticas (0,5; 0,75 y 1%), manteniendo la humedad en un 25% del peso. Los resultados indicaron que la agregación de los suelos se incrementa, al igual que la estabilidad de los mismos y la cantidad de elementos trazas disminuyen con el uso de las emulsiones asfálticas. También, los niveles de elementos nutrientes después de la destrucción de los agregados son mayores a los encontrados antes de la destrucción de los mismos. Estos efectos se incrementan con dosis mayores de emulsiones asfálticas. Con sus resultados concluyen que las emulsiones asfálticas utilizadas como acondicionadores del suelo, pueden resolver un gran número de problemas, especialmente en suelos arenosos de regiones áridas [29].

Frede, et al (1994), estudiaron el efecto de las emulsiones bituminosas en la estructura del suelo y el control de la evaporación en las regiones áridas de Egipto. Obteniendo como resultado que las dosis aplicadas no generan daños al ecosistema. Además, el tratamiento con emulsiones, disminuye la difusión de oxígeno en un 30 a 40% en el suelo arenoso, mejora la estructura de los suelos significativamente, disminuye las pérdidas de suelo por erosión, y se reducen las pérdidas de evaporación en un 30 a 45% [30].

Fortún y Fortún (2005), realizaron estudios con dos tipos suelos, Vertisol cálcico arenoso (pH = 4,4) y Luvisol arenoso limoso (pH = 6,9) provenientes de España, tratándolos con emulsiones asfálticas y enmiendas orgánicas (basura urbana sólida) como elementos mejoradores de la agregación del suelo. Empleando microscopía electrónica de exploración. Los resultados demostraron, que los suelos tratados con emulsiones asfálticas aumentan la cantidad y estabilidad de agregados. También, mejoró la retención de iones divalentes y trivalentes en los suelos Luvisoles y los iones monovalentes en suelos Vertisoles, sin embargo los valores obtenidos con las emulsiones se encontraban dentro del promedio, mientras que con el tratamiento de basura urbana sólida, fueron mejores [31].

D. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Evaluar los efectos que producen las emulsiones asfálticas sobre las propiedades físico-químicas y aguas lixiviadas del un suelo de sabana a nivel invernadero.

2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el tipo y la dosis de emulsión asfáltica que permita cambios significativos en la agregación del suelo.
- Determinar el efecto que produce la emulsión asfáltica seleccionada sobre las propiedades físico – químicas de un suelo de sabana.
- Determinar el efecto que produce la aplicación conjunta de emulsión asfáltica, fertilizantes y cal agrícola sobre las propiedades de un suelo de sabana.
- Determinar el potencial de migración de los contaminantes a las aguas lixiviadas en suelos tratados con emulsión asfáltica y enmienda orgánicas e inorgánicas.

E. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Los estudios experimentales se realizaron en PDVSA – Intevep, ubicada en Los Teques, en la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional, en el laboratorio de desechos sólidos y en el área de invernadero.

1. Materiales

1.2 Características del área de estudio

1.2.1 Ubicación

El suelo utilizado fue proporcionado por PDVSA – Intevep y procede de Santa Bárbara – Edo. Monagas, Figura 9, específicamente del Campo Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), el cual se ubica en el Distrito Maturín, limitando al Norte con el Río Amaná, al Sur con la población de Maripito, al Este con Morón y al Oeste con la población Cabecera de Querenga. Sus coordenadas geográficas son las siguientes: N 9°35'- 9°37' y O 63°35'- 63°37' [32].



Figura 9. Ubicación de Santa Bárbara – Edo. Monagas.

Fuente: http://www.gobiernoenlinea.ve/venezuela/perfil_monagas.html

1.2.2 Geología

El área de estudio se encuentra dentro de la Formación Mesa, cuya naturaleza litológica es, en la parte superior (76 m) gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso y la parte inferior (60 m) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas) [33].

1.2.3 Clima

El clima que presenta esta área, es de Mesa Llana, el cual registra promedios anuales de temperaturas y precipitación de 28,8° C y 1.092,3 mm, respectivamente [34].

1.2.4 Génesis del suelo

La Altiplanicie de la Mesa, fue formada por la influencia de factores como el material parental, clima, tiempo y temperatura. El material parental de la zona de piedemonte de la Mesa, proviene de la Serranía del interior. Las rocas predominantes en este sector son areniscas, lutitas, calizas y margas. La zona sur y centro de la Altiplanicie, está constituido fundamentalmente de rocas ígneas, ácidas y areniscas. La naturaleza de estas rocas y el tiempo de evolución a que han estado expuestas, han permitido la formación de suelo altamente intemperizado y de baja fertilidad natural [35].

La influencia del clima en la pedogénesis de los suelos de sabana ha resultado decisiva, tanto en la génesis y desarrollo de los horizontes argílicos, como en la presencia de plintita en algunos suelos. En cuanto al relieve, la sabana tiene una topografía alta y media, de gradiente suavemente inclinado, de suelos relativamente profundos y de cierta uniformidad en su perfil, de grado de permeabilidad rápida a muy rápida, posee una elevada capacidad de infiltración, permitiendo que las aguas penetren profundamente generando una fuerte lixiviación en el perfil del suelo. No

obstante, precipitaciones de altas intensidades en estos suelos, suelen producir erosión laminar, pudiendo inclusive progresar a cárcavas [36] [37].

1.2.5 Características del suelo

El suelo de Santa Bárbara, es clasificado taxonómicamente como Typic Paleustults, presenta una textura areno-francosa en los primeros 15cm del perfil y franco arcillosa arenosa en los horizontes más profundos. Son ácidos en los primeros 15 cm de su perfil, su capacidad de retención de humedad y su permeabilidad son de grado moderado. Además son suelos bien drenados, con baja capacidad de intercambio catiónico y aniónico y baja fertilidad [36].

En el siguiente cuadro se listan algunas de las propiedades físico-químicas del suelo de Santa Bárbara

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del suelo de Santa Bárbara.

Datos de Sánchez, 1977, citados por Alonso Ojeda, 1995 [38].

pH	P total	P disp.	N total	Arena	Arcilla	CICE	Al	Ca	Mg	K
1:1	µg/g	µg/g	%	%	%	cmol/Kg	cmol/Kg	cmol/Kg	cmol/Kg	cmol/Kg
4,6	40,3	2,2	0,04	85	7,9	2,04	0,33	0,56	0,3	0,03

1.2 Fertilizantes

Se utilizaron tres tipos de fertilizantes: urea, fertilizante inorgánico simple, 12-24-12, fertilizante inorgánico compuesto y gallinaza, fertilizante orgánico o abono orgánico.

1.2.5 Urea

La fórmula química de la urea es $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ y se presenta como un sólido cristalino blanco de forma esférica a granular. Es una sustancia hidróscopica y presenta un ligero olor a amoníaco. Su estructura molecular se muestra en la Figura 10.

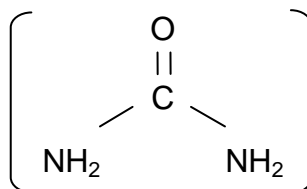


Figura 10. Estructura molecular de la urea.

Las propiedades químicas y físicas de la urea, se ilustran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de la Urea.
Datos tomados de <http://www.textoscientificos.com/quimica/urea>

Propiedades de la Urea	
Peso molecular	60.06 g/mol
Densidad	768 Kg/m ³
Punto de fusión	132.7°C
Índice de salinidad	75,4
Solubilidad	Muy soluble en agua, alcohol y amoníaco
Corrosividad	Altamente corrosivo al acero al carbono. Poco al aluminio, zinc y cobre. No lo es al vidrio.

La urea, es utilizada como fertilizante por su alto contenido de nitrógeno (46% de N), esencial para el metabolismo de las plantas [39].

1.2.6 (12 24 12)

El fertilizante 12-24-12, es un complejo sólido granulado especialmente formulado para suelos con bajo contenido de fósforo y magnesio, propios de las sabanas y suelos ácidos.

Contiene tres de los macronutrientes principales 12% nitrógeno (N), 24% fósforo (P_2O_5) y 12% potasio (K_2O) [40].

1.2.7 Gallinaza

La gallinaza es un abono orgánico, cuya composición depende principalmente de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves, en este caso, la gallinaza utilizada estaba compuesta de deyecciones, y de un material absorbente como, viruta, cascarillas, plumas, residuos de alimentos, entre otros, a este material se le conoce con el nombre de cama [41].

La composición de la gallinaza se indica en la Tabla siguiente:

Tabla 3. Composición de la gallinaza. Fuente: Estrada, M. 2005

Nitrógeno (N)	Fósforo (P_2O_5)	Potasio (K_2O)	Liposolubles
%			
2,02	3,6	1,9	0,96

1.2.4 Cal agrícola

La cal agrícola es usada como enmienda de suelos ácidos, debido a que aporta algunos beneficios como: la mejora de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce la toxicidad de algunos elementos minerales, además aporta calcio (Ca), magnesio (Mg) y otros nutrientes minerales a la solución del suelo [42].

La cal agrícola utilizada fue fabricada por la distribuidora Minya, C.A, ubicada en el Edo. Yaracuy, se presenta como un polvo blanco 100% natural y su composición se muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Composición química de la cal agrícola

Carbonato de calcio (CaCO ₃)	66,60%
Carbonato de magnesio (MgCO ₃)	33,40%
Elementos	Calcio (Ca) = 26,64% Magnesio (Mg) = 11,27%
Valor de neutralización	120%

1.2.5 Emulsión asfáltica catiónica y aniónica

Las emulsiones asfálticas fueron fabricadas por la Industria Productos Asfálticos (IPA), localizada en Maracay, Venezuela y fueron suministradas por PDVSA – Intevep.

La Tabla 5, muestra las propiedades de las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas de rompimiento rápido.

Tabla 5. Propiedades de las emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas

Emulsión	Densidad (mg/L)	% Aceites y Grasas	Saturados %p/p	Aromáticos %p/p	Resinas %p/p	Asfaltenos %p/p
Catiónica	0,95 ± 0,03	64,5 ± 0,7	1	39	43	18
Aniónica	0,88 ± 0,05	67 ± 1	6	44	42	8

2. Procedimientos y métodos

La parte experimental fue dividida en cuatro etapas, representadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Etapas de la metodología experimental.

ETAPA	CARACTERISTICAS
Primera	Caracterización del suelo de Santa Bárbara
Segunda	Elección del tipo de emulsión y dosis apropiada
Tercera	Efectos de la emulsión escogida en el suelo y sus aguas lixiviadas
Cuarta	Procesamiento de datos

2.1. Primera Etapa. Caracterización del suelo de Santa Bárbara

La primera etapa permitió determinar las características del suelo estudiado, las propiedades determinadas fueron: % de humedad (%H), pH, conductividad eléctrica (CE), bases intercambiables (BI), % de saturación de aluminio intercambiables (% Sat. Al^{+3}), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y % de saturación de bases (%SB). Los métodos para la realización de estos análisis se encuentran en las págs. 42 – 49.

2.2 Segunda etapa. Elección del tipo de emulsión y dosis apropiada

En esta etapa se realizó la elección del tipo de emulsión y la dosis apropiada, que fue utilizada en la tercera etapa.

El estudio se llevó a cabo en condiciones de invernadero, durante un lapso de 30 días, utilizando emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas en diferentes dosis 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 y 3,0% formando 13 tratamientos, la Tabla 7 muestra de forma esquemática el diseño experimental aplicado.

Tabla 7. Esquema del diseño experimental de la primera etapa.

	Control	Tratamientos					
%	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
EA	1	2	3	4	5	6	7
EC		8	9	10	11	12	13

Donde: EC: Emulsión Catiónica / EA: Emulsión Aniónica.

La Tabla 8 resume los gramos de suelo y emulsión asfáltica empleados para preparar las muestras a las diferentes dosis. Para determinar los gramos de emulsión que se utiliza se tomó en cuenta la densidad de cada tipo de emulsión asfáltica.

Tabla 8. Gramos de suelo y emulsión asfáltica utilizados para preparar las muestras

Emulsión	Dosis (%)	T/ha	g (Suelo \pm 0.1)	g (Emulsión \pm 0,1)
Control	0	0	600	0
Aniónica	0,5	10	597,8	2,2
	1,0	20	595,6	4,4
	1,5	30	593,4	6,6
	2,0	40	591,2	8,8
	2,5	50	588,9	11,1
	3,0	60	586,7	13,3
Catiónica	0,5	10	597,6	2,4
	1,0	20	595,3	4,7
	1,5	30	592,9	7,1
	2,0	40	590,5	9,5
	2,5	50	588,1	11,9
	3,0	60	585,8	14,2

La preparación de las muestras se llevó a cabo de la siguiente manera, se mezcló los gramos de suelo y emulsión asfáltica correspondiente para cada dosis en un envase plástico y se homogenizó con las manos, agregándole 15 mL de agua, para dispersar la emulsión.

Una vez preparada cada mezcla suelo – emulsión asfáltica de 600 g, se separó en 4 porciones de 150 g, estas correspondieron a las réplicas que tuvo cada mezcla, obteniéndose un total de 52 unidades experimentales.

Durante los 30 días que éstas permanecieron en el invernadero, fueron sometidas a un riego interdiario agregando 15 mL de agua para mantener la humedad del suelo.

Una vez cumplido el tiempo de incubación, a las muestras se les determinó las propiedades físicas, químicas y biológicas siguientes: % de agregados estables al agua (%AEA), pH, bases intercambiables (BI), % de saturación de aluminio intercambiable (%Sat. Al^{+3}), capacidad de intercambio catiónico (CIC), % de materia orgánica (%MO) y actividad enzimática deshidrogenasa (ADH). Más adelante se detalla el procedimiento empleado para estos análisis.

2.3 Tercera etapa. Efectos de la emulsión escogida en el suelo y sus aguas lixiviadas

En esta etapa fueron determinadas otras características como pH, CE y metales lixiviados de la emulsión asfáltica elegida con base a los resultados obtenidos en la segunda etapa experimental descrita. Además, se estudiaron los efectos que esta causa en las propiedades del suelo y en sus aguas lixiviadas, en combinación con aplicaciones de fertilizante, abono orgánico y cal, a los 0, 30, 60 y 120 días de incubación a nivel invernadero, de acuerdo al diseño experimental Tabla 9.

2.3.1 Características de la emulsión asfáltica

Se evaluaron algunos parámetros de la emulsión asfáltica escogida, como pH, conductividad eléctrica y metales lixiviados.

c. pH y conductividad eléctrica de la emulsión asfáltica

Para la determinación de pH y conductividad eléctrica, se tomó una porción de la emulsión, se llevo a un tubo centrifuga de plástico y se centrifugó durante 1 hora, para romper la emulsión. Luego se filtró, y se recogió el agua que formaba parte de la emulsión, a este filtrado se le midió el pH y la conductividad, con un pHmetro y un conductímetro, respectivamente.

d. Metales lixiviados de la emulsión asfáltica

Para conocer los metales lixiviados de la emulsión, se determinaron los metales lixiviados en las muestras del tratamiento control y del tratamiento de suelo mezclado con emulsión, para el tiempo de 0 días.

El método de metales lixiviados, permite determinar los materiales que son considerados desechos tóxicos, los cuales puede originar daños permanentes, irreversibles o crónicos a la salud humana o pueda afectar comprobadamente al ecosistema [43].

El procedimiento empleado para su determinación es el siguiente [43]:

Se pesó una muestra de suelo seca de 5 g y se pulverizó hasta que las partículas tengan aproximadamente 1mm. Se transfirió a un beacker y se añadió 96,5 mL de agua destilada, se mezcló vigorosamente con un agitador magnético durante 5 minutos y se midió el pH de la solución.

Si el pH es < 5 se utilizaba el fluido extractante N°1, se añade 3,5mL de HCl 1N y se calienta a 50°C. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se mide el pH de la solución. Pero si es > 5 se usa el fluido N° 2.

La preparación de los fluidos fue la siguiente:

- Fluido N° 1: medir 500 mL de agua destilada, llevar a un beacker, agregar 5,7mL de ácido acético glacial, añadir 64,3 mL de NaOH 1N y completar con agua destilada hasta 1 L.

- Fluido N° 2: medir 500 mL de agua destilada, llevar a un beacker, agregar 5,7 mL de ácido acético glacial y completar con agua destilada hasta 1 L.

Una vez determinado el tipo de fluido se realizó la siguiente extracción.

Se pesó 20 g de suelo y se colocó en una botella de extracción, en esta se agregó 400 mL del fluido determinado y se cerró herméticamente. La botella se colocó en el equipo de agitación a una velocidad de 30 rpm por 18 horas. Por último se filtró el extracto por succión al vacío.

El extracto acidificado se llevó a un recipiente cerrado y se mantuvo refrigerado a una temperatura de 4°C, hasta llevarlo al ICP (espectroscopia de emisión atómica por plasma inductivamente acoplado, técnica que se basa en la transferencia de energía térmica por medio de un plasma de acoplamiento inductivo a los elementos del analito con el fin de producir partículas cargadas eléctricamente que puedan ser analizadas por un espectrómetro de masa) [44], para la determinación de los metales siguientes: plata (Ag), bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb) y mercurio (Hg).

2.3.2 Efectos de la emulsión asfáltica en el suelo

Para el estudio de los efectos que causa la emulsión asfáltica en el suelo, se compararon diferentes tratamientos utilizando fertilizantes, abono orgánico y cal. Los tratamientos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Esquema del diseño experimental de la tercera etapa.

Tratamientos	Incubación (días)			
	0	30	60	120
T0 (Control): S	1	2	3	4
T1: S + EC	5	6	7	8
T2: S + EC + F	9	10	11	12
T3: S + EC + AO	13	14	15	16
T4: S + EC + F + AO	17	18	19	20
T5: S + EC + Cal	21	22	23	24

Donde: S: suelo, EC: Emulsión Catiónica, F: fertilizantes, AO: abono orgánico

Para calcular los gramos de suelo, emulsión asfáltica y abono orgánico que se utilizó, se tomó en cuenta la densidad de estos $d = 1,2; 0,9446$ y $0,7$ g/mL, respectivamente, y el %H = 35,52 en el caso de la emulsión asfáltica. La cantidad de fertilizante usada se basó en trabajos realizados en Intevap donde se toma en cuenta la relación C/N = 60 y C/P = 800 del suelo. Para la cal se consideró una dosis de 0,6g según su aplicación en campo. Los 24 tratamientos tuvieron 4 réplicas de 800g, por cada tiempo para un total de 96 unidades experimentales, esto también fue considerado para los cálculos.

La Tabla 10, resume las cantidades de suelo, emulsión asfáltica y abono orgánico (gallinaza) utilizados, además de la cantidad de agua requerida para dispersar la emulsión y llevar las muestras al 80% de su capacidad de campo.

Tabla 10. Gramos de suelo, emulsión asfáltica y abono orgánico utilizado.

Tratamiento	Suelo (g ± 1)	Emulsión asfáltica (g ± 0,1)	Abono orgánico (g ± 1)	Agua (mL ± 1)
T0 : S (control)	3200	0	0	500
T1: S + EC	3124	117,9	0	460
T2: S + EC+ F	3124	117,9	0	460
T3: S + EC+ AO	2925	123,1	196	455
T4: S + EC + F + AO	2925	123,1	196	455
T5: S + EC+ Cal	3124	117,9	0	460

Donde: S: suelo, EC: Emulsión Catiónica, F: fertilizantes, AO: abono orgánico

La preparación de las muestras, se realizó de la manera siguiente:

- Para los tratamientos T1: S+EC, T2: S+EC+F y T5: S+EC+cal, se mezcló los gramos de suelo con la emulsión asfáltica, agregando poco a poco los mL de agua, permitiéndole actuar como agente dispersante para la emulsión. La mezcla se homogenizó en forma mecánica.

- Para los tratamientos T3: S+EC+AO y T4: S+EC+F+AO, se mezcló primero el suelo con el abono orgánico y luego se añadió la emulsión asfáltica junto con el agua para dispersarla, homogenizando en forma mecánica.
- El tratamiento control T0 (Control):S, se preparó mezclando el suelo con el agua para que esta posea la misma humedad que los demás.

Una vez preparadas las mezclas (4 por tratamiento) se separaron en 4 porciones, las cuales representan las 4 réplicas que tuvo cada tratamiento por cada tiempo de muestreo, obteniéndose un total de 96 muestras.

Hecho esto, se fertilizaron las réplicas de los tratamientos de T2 y T4 con 100 mL de una solución de fertilizantes inorgánicos. Para T2 se usó 11,21 g de urea y 1,67 g de 12-24-12 disueltos en 2 L de agua y para T4 se utilizó 11,70 g de urea y 1,75 g de 12-24-12 disueltos en 2 L de agua. La fertilización se repitió a los 30 y 90 días con 50 mL de la solución de fertilizantes. En el caso del T5, se agregó 0,6 g de cal superficialmente a cada réplica de este tratamiento.

La Tabla 11, muestra el contenido total de nutrientes que se le agrega a los tratamientos T2 y T4, con los fertilizantes.

Tabla 11.Contenido total de nutrientes en la solución de fertilizantes.

Tratamiento	V de fertilizante (mL)	N (g)	P (g)	K (g)
T2	100	0,268	0,009	0,008
	50	0,134	0,004	0,004
T4	100	0,280	0,009	0,009
	50	0,140	0,005	0,004

Todas las muestras fueron sometidas a un riego interdiario durante los días que se mantuvieron en el invernadero.

Una vez cumplidos los días establecidos (0, 30, 60 y 120 días), se determinaron los parámetros siguientes, a cada muestra:

2.3.2.1 Parámetros físicos

a. % Agregados estables al agua (%AEA)

A través de esta propiedad, se puede determinar el porcentaje de agregados que se mantienen estables a fuerzas destructivas, como el agua que al ingresar a los poros del suelo desplaza la masa del aire del interior de los agregados, disgregando los menos estables, [45].

Para su determinación, se tomó una muestra de suelo 30 g aproximadamente y se dejó secar al aire. Una vez seco el suelo, se pasó por un tamiz de 2 mm, se pesaron 10 g de este suelo tamizado y se llevó a un tamiz de 0,25 mm, el cual fue colocado sobre un retazo de tela mojada con agua destilada para que humedezca el suelo lentamente por 5 minutos. Al transcurrir ese tiempo se tamizó en húmedo, sumergiendo constantemente el tamiz (de arriba abajo) en un envase con agua durante 3 minutos, asegurando que los agregados siempre estén inmersos en el agua.

Luego se secó la muestra con un secador a una temperatura de 105° C, y se registró el peso del tamiz cuando estaba frío, este peso representa los agregados y la arena. Después se procedió a dispersar los agregados en una solución calgón (40 g de polifosfato de sodio y 10 g de carbonato de sodio enrasados en 1 L con agua) sumergiendo el tamiz con los agregados secos, haciendo movimientos periódicos de arriba abajo, durante 5 minutos. De esta forma las partículas de arena, quedaron en el tamiz, estas se limpiaron sumergiéndolas en agua con el tamiz, se secaron con el secador y una vez frío se registró su peso, este peso indicó el peso de arena.

La estabilidad de agregados, se calculó con la ecuación siguiente:

$$\% \text{ agregados estables en agua} = \frac{(\text{peso agregados secos} - \text{peso de arena})}{(\text{peso suelo seco} - \text{peso de arena})} \times 100 \quad (1)$$

(%AEA)(%suelo >0,25mm)

b. % de Humedad. Método gravimétrico.

La determinación del % de humedad en el suelo, permite conocer la razón que hay entre el peso de agua de los poros del suelo y el peso de los sólidos del suelo (agregados) [46]. Para ello se pesó 10 g de suelo, y se llevó a una balanza de humedad a 105° C, por 45 minutos.

2.3.2.2. Parámetros químicos

a. % Materia Orgánica del suelo (%MOS). Método de Incineración

La determinación de la materia orgánica por el método de incineración, se basa en la cuantificación de la materia orgánica en muestras de suelos mediante la pérdida directa de peso por el calentamiento en un horno-mufla. Este método, evita la utilización de sustancias químicas contaminantes, además que es una técnica sencilla y rápida. [47] Este método se realizó en crisoles, los cuales fueron llevados a 550° C en la mufla por 1 hora, se dejaron enfriar y se pesó hasta peso constante. Luego a cada crisol se le agregó 5 g de suelo y se llevó nuevamente a la mufla a 105° C por 1 hora para eliminar la humedad del suelo. Se dejó enfriar y se registró ese peso. Después de esto, los crisoles junto con la muestra fueron calcinados a 550° C durante 3 horas se dejó enfriar y se pesó [47].

El % de materia orgánica del suelo se determinó de la siguiente manera:

$$\%MOS = \frac{(g \text{ de crisol + suelo seco}) - (g \text{ de crisol + muestra calcinada})}{(g \text{ de crisol + muestra}) - (g \text{ de crisol})} \times 100 \quad (2)$$

b. pH

Este parámetro permite conocer la concentración de protones en el suelo y así determinar la acidez o basicidad que este posee [1].

Para medir el pH se utilizaron dos métodos:

- Por extracción 1:1. Se pesó 20 g de suelo en una fiola y se añadió 20 mL de agua destilada, esta se agitó por 1 hora, luego se dejó reposar por 15 minutos, se filtró por succión, para eliminar todo el resto de suelo, y se midió el pH del extracto filtrado con un pHmetro [48].
- Por pasta saturada. Se pesó 100 g de suelo en un envase de vidrio y se fue agregando agua destilada hasta formar una pasta de superficie brillante. Esta se deja reposar por 24 horas. Luego se filtra por succión y se determina el pH con un pHmetro [49].

c. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica, proporciona un índice de la concentración total de las sales disueltas que puede contener la solución del suelo, por ello la importancia de este parámetro. Esta viene expresados en milisiemens por centímetro (mS/cm).

La CE, se midió de los extractos filtrados obtenidos en la determinación de pH siguiendo los dos métodos [48][49].

d. Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

La relación de la adsorción de sodio (RAS), determina la tendencia de la solución del suelo a producir sodio intercambiable. Y es definido por la ecuación:

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]}{2}}} \quad (3)$$

Para determinar la RAS, fueron determinados la cantidades de Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ , en el extracto obtenido por pasta saturada, realizado en la determinación de pH y CE, luego se empleo la ecuación anterior [49].

e. Bases Intercambiables (BI)

Las bases intercambiables, representa la sumatoria de los cationes básicos de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ en la solución del suelo disponible para las plantas. [1]

El procedimiento para su determinación consistió en pesar 10 g de suelo en una fiola se le agregó 100 mL de una solución extractora de acetato de amonio 1N y se dejó agitar por 1 hora. Luego, se filtró por succión y el extracto fue trasvasado a envases plásticos, y se procedió a la determinación de los cationes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ en el ICP [4].

Las bases intercambiables se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{BI} = \sum \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ \quad (4)$$

f. % Saturación de aluminio intercambiable (% Sat. Al³⁺)

Para determinar el % de saturación de aluminio intercambiable se cuantificó la fracción de Al³⁺, pesando 10 g de suelo en una fiola, luego se añadió 100 mL de cloruro de sodio 1N, que sirvió como solución extractora. Se agitó por 1 hora y se filtro por succión. El filtrado se recolectó en un envase y se procedió a determinar la concentración de Al³⁺ en el ICP [1].

Luego se aplicó la fórmula que permitió determinar el % de saturación de Al³⁺ fue:

$$\% \text{Sat. Al}^{3+} = \frac{\text{Al}^{3+} \text{ (cmol/Kg)}}{\text{CIC}} * 100 \quad (5)$$

g. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico corresponde a la cantidad de cationes ácidos y básicos, retenidos en forma intercambiable a un determinado pH, expresada en cmol/Kg [1].

La capacidad de intercambio catiónico, se calculó por la siguiente fórmula:

$$\text{CIC} = \sum \text{Al}^{3+} + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{H}^{+} \quad (6)$$

h. %Saturación de Bases (%SB)

La saturación de bases, es la proporción de la CIC que es ocupada por cationes básicos (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺). [1]

Se determinó a través de la ecuación siguiente:

$$\%SB = \frac{BI}{CIC} \times 100 \quad (7)$$

i. Cloruros (Cl⁻)

Esta determinación permite conocer la cantidad de sales de Cl⁻ que se encuentran en la solución del suelo, las cuales pueden afectar la mayoría de los procesos biológicos de suelo [1]. La técnica utilizada se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco. En las inmediaciones del punto de equivalencia al agotarse el ion cloruro, empieza la precipitación del cromato [50].

Para su cuantificación se pesaron 17 g de suelo en una fiola y se agregaron 83 mL de agua destilada de forma de extraer las sales de Cl solubles en el suelo, se agitó por 1 hora. Luego de dejarlo reposar por 15 minutos, se filtró por succión. Del extracto filtrado se tomó 10 mL, que fueron llevados a una fiola, en esta se agregó 90 mL de agua para diluirlo, y se midió el pH. Si el pH era mayor a 8, se llevó a la neutralidad con H₂SO₄ 1N diluido y si era menor a 6 se añadió unas gotas de NaOH 1N diluido para hacerlo neutro. Esto permitió que la solución tenga un pH de 6 – 8, rango de viraje del indicador. Una vez regulado el pH, se añadió 1 mL de cromato de potasio (indicador) y se tituló con AgNO₃ de 0,0108N, previamente estandarizado. También se realizó un blanco para la determinación de la concentración de cloruros [51].

j. Fósforo disponible

Este parámetro indica la concentración de fósforo disponible en su forma H_2PO_4^- , el cual se encuentra en la solución del suelo y es fuente nutritiva para microorganismos y plantas.

Para su determinación se pesó 1 g de suelo en una fiola y se agregó 20 mL de NaHCO_3 0,5M pH 8,5 para extraer todo el fósforo disponible, se dejó reposar 15 minutos y se trasvasó a un envase recolector de plástico posteriormente se midió en el ICP [52].

k. Metales totales

La determinación de metales totales, permitió conocer la concentración de bario, cadmio, cromo, plomo, zinc y plata en las muestras de suelo.

Se siguió el siguiente procedimiento, se pesó 0,5 g de suelo (previamente tamizado con un cedazo de 185 μm) en un envase de fluorocarbón, se agregó 9 mL de HNO_3 concentrado y 3 mL de HF concentrado, luego el envase es sellado y calentado en un microondas a una temperatura de 180°C, se deja enfriar el envase, se diluyó a un volumen de 50 mL con agua destilada y se midió en el ICP [53]

l. %Aceites y grasas (%A y G)

Los aceites y grasas son definidos como cualquier material recuperado como sustancias solubles en solventes. Esto incluye otros materiales extraídos por el solvente de una muestra ácida (compuestos sulfurados) y no volatilizados [54].

La determinación de aceites y grasas, se realizó a través de una extracción de diclorometano (CH_2Cl_2) en un equipo denominado Soxhlet. Se pesó 10 g de suelo en un

dedal de algodón, se le añadió 1 mL de HCl para llevar a un pH de 2 y luego se agregó sulfato de sodio monohidratado y se mezcló homogéneamente para extraer la humedad. En la parte superficial del dedal se coloca fibra de vidrio, para no contaminar el diclorometano (CH_2Cl_2) de la extracción. Se lleva la muestra al equipo Soxhlet y se hace la extracción por 6 horas. La muestra se filtró con sulfato de sodio (Na_2SO_4), para extraer el agua restante. Luego se lleva a un balón de 250 mL previamente pesado, se rotaevaporó, y se llevó la estufa por 24 horas a 36°C , se llevó al desecador y se pesó el extracto con el balón.

Para calcular el % de aceites y grasas, se considero la humedad de la muestra y se aplicó la ecuación siguiente:

$$\%A \text{ y } G = \frac{\text{Peso del extracto de A y G en balón} - \text{peso de balón vacío}}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad (8)$$

m. Saturación, aromáticos, resinas y asfaltenos

La composición de un crudo, pueden ser determinados por el método SARA, el cual permite determinar la fracciones de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, que constituyen el crudo [53]. Este método se basa en una cromatografía líquida, precedida por una precipitación de los asfaltenos, que permite separar a los demás componentes: saturados, aromáticos y resinas [54].

Los hidrocarburos que se consideran biodegradables son determinados a partir de las fracciones de saturados y aromáticos, los cuales se obtienen a partir del análisis de aceites y grasa. Una vez obtenido este extracto, se trasvasó a viales con diclorometano, y se llevó al laboratorio de analítica de PDVSA – Intevp, para realizar la determinación SARA.

2.3.2.2 Parámetros bioquímicos

a. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH)

Las enzimas son proteínas solubles de naturaleza orgánica y estado coloidal, elaboradas por células vivas que actúan independientemente de estas. Entre las enzimas encontradas en el suelo, tenemos la enzima deshidrogenasa, la cual se encarga de la oxidación biológica de los compuestos orgánicos mediante el proceso de deshidrogenación [56].

La determinación de la actividad enzimática deshidrogenasa (ADH), es un reflejo de las actividades oxidativas de la microflora del suelos.

El procedimiento para su determinación fue el siguiente. Se pesó 1-1,2 g de suelo en un tubo de ensayo, se mezcló con una pequeña cantidad de carbonato de calcio (CaCO_3) y se añadió 0,5 mL de cloruro de tetrazoilo (TTC) y 2 mL de agua destilada, se taparon los tubos y se mezcló bien durante 1 minuto. La muestra control se realizó añadiendo 2,5 mL de agua destilada. Se incubó a 37°C por 1 día. Luego se añadió 2,5 mL de metanol para detener la reacción se agitó el tubo de ensayo fuertemente por 1 minuto y se filtró la suspensión lavando con metanol, hasta que el papel de filtro no sea coloreado. Se anotó el volumen de aforo y se midió la absorbancia con el espectrómetro UV/visible. El método fue previamente calibrado con patrones de trifenil formazan (TPF) de 0, 1, 2, 4, 6 y 8 ppm a 485 nm usando como referencia el metanol. El TTC, es sensible a la luz, por ello se mantuvo alejado de esta [57].

b. Método de respiración edáfica (CO_2)

La respiración edáfica, es la producción de CO_2 por las plantas y mesofauna del suelo, su determinación permite evaluar la actividad biológica en el suelo [58].

Este parámetro se determinó usando 20 g de suelo, el cual fue tamizado con un tamiz de 2 mm, y se añadió una pequeña cantidad de glucosa. Esta cantidad fue determinada mediante una curva de calibración previamente realizada con diferentes dosis 25, 50, 100, 125, 150 y 200 mg de glucosa para 25 g de suelo tamizado.

La muestra de suelo tamizado se dejó secar durante 2 horas, luego se llevó a un respirómetro, en el cual se añadió 10 mL de NaOH 0,1N en una de sus secciones separado del suelo. Este se dejó durante 1 día a una temperatura de 22° C. Después de transcurrido este tiempo de incubación se llevó los 10 mL de NaOH del respirómetro a una fiola y se agregó 2 mL de cloruro de bario (BaCl_2) 0,5 M, para precipitar el CO_2 adsorbido, posterior a esto se colocó 3 gotas de fenoltaleína y se tituló con HCl 0,1N [58].

Los mg de CO_2 , se determinaron de la siguiente manera:

$$\frac{\text{mg}}{\text{Kg} \cdot \text{d}} \text{ de } \text{CO}_2 = \frac{(\text{B} - \text{V}) \times \text{N} \times \text{Z}}{\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}} \quad (9)$$

Donde:

B: mL de HCl de la titulación del blanco.

V: mL de HCl de la titulación de los 5 mL de KOH, después de la incubación

N: Normalidad del HCl

Z: peso de miliequivalentes de CO_2 (PM/2)

d: 1 día

2.3.3 Análisis de aguas lixiviadas

Para el estudio de las aguas lixiviadas, se tomó en cuenta el trabajo de Lobo D. y R. Vivas 1995 [59]. Para esto, se preparó inicialmente una muestra de cada tratamiento.

Una vez preparadas las muestras se conservaron una semana en el invernadero, con un riego interdiario, luego se les agregó 1 L de agua, en 2 porciones de 500 mL cada una, para simular una lluvia puntual.

Se tomó 50 mL del agua lixiviada de cada tratamiento, para determinar el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez, con un pHmetro, un conductímetro y un turbidímetro, respectivamente. También se determinó los metales lixiviados (bario, cadmio, cromo, nitrógeno, plata y plomo)

De la porción restante de las muestras, se midió 700 mL y se determinó el % de aceites y grasas de las aguas lixiviadas, para esto se usó un embudo de separación donde se colocó la muestra con 2 mL de HCl al 50% para acidificar el medio, luego se hizo una extracción con 100 mL de diclorometano, en tres porciones la primera de 50 mL y las otras dos de 25 mL, de esta manera se aseguró una extracción total. Luego se procedió de la misma manera descrita en el epígrafa I del punto 2.3.2.2, pág 49.

2.4 Cuarta etapa. Procesamiento de datos

En esta etapa se realizó el tratamiento estadístico de datos de los resultados obtenidos, para esto se utilizó el programa Statistica 8.0, con el cual se hizo pruebas de homogeneidad y normalidad a los resultados. Una vez cumplidas estas pruebas, es decir que los datos cumplían con la homogeneidad y la normalidad, se hizo un ANOVA de 1 vía, tratamientos (variables independientes) vs propiedades medidas (variables dependientes), a los diferentes tiempos 0, 30 y 60 días. Posterior a esto, se aplicó el análisis estadístico de varianza o comparación de medias, prueba Tuckey.

Finalmente para relacionar las propiedades medidas con los tratamientos a los diferentes tiempos, se realizó un análisis de componentes principales, con la ayuda del software MVSP (Multivariate Statistical Package).

F. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos y su discusión, según las etapas de investigación descritas en la sección de materiales y métodos.

Los resultados son presentados en tablas que indican el promedio y la desviación estándar. El análisis estadístico, se muestra mediante una o varias letras que permiten agrupar los valores, según aquellos que posean una o dos letras en común, no poseen diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$), mientras que los valores cuyas letras no coincidan, poseen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

1. Primera etapa. Caracterización del suelo de Santa Bárbara

Los valores obtenidos de la caracterización del suelo son presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Caracterización del suelo de Santa Bárbara

Santa Bárbara	pH	CE (mS/cm)	BI cmol/Kg	% Sat. Al ⁺³	CIC cmol/Kg	%SB
Promedio	6,32	0,4	1,5	0,8	1,5	98,5

Estos datos indican que el suelo de Santa Bárbara proporcionado para este estudio, es ligeramente ácido (pH = 6,32) [1], con una CIC baja (1,6 cmol/Kg) lo que revela, que es un suelo pobre en nutrientes y que el lavado de bases procedentes de la erosión es muy alto [11]. Además, no tiene problemas de toxicidad de aluminio según el % Sat. Al⁺³ el cual fue de 0,8%, que corresponde a 0,01 cmol/Kg valor que se encuentra por debajo de los límites que presenta el decreto 2.635 [60], esto también se refleja en el %SB el cual fue alto (98,5%).

Al comparar estos datos con los de la Tabla 1 se aprecian notables diferencias entre ellos, lo que se presume es que estos suelos fueron fertilizados y cultivados durante

varios años, posteriormente fueron abandonados lo que produjo que con el tiempo sus propiedades químicas, específicamente en los valores de pH, BI, CIC y %Sat de Al, se hayan modificado incrementando sus valores.

A través de la CE se puede conocer la salinidad del suelo, si los valores de esta propiedad son de un valor muy elevado, puede afectar el crecimiento de las plantas. Para el suelo de Santa Bárbara la CE es de 0,4 mS/cm, lo cual refleja que este suelo no tiene problemas de salinidad, y no afecta el desarrollo de los cultivos [11]

2. Segunda etapa. Elección del tipo de emulsión y dosis apropiada

Las Tablas 13 y 14, presentan los resultados de los parámetros analizados %humedad, %AEA, ADH, %MO, pH, BI, %Sat. de Al y CIC, de las muestras de suelo con las diferentes dosis de emulsión.

Tabla 13. Propiedades físicas y biológicas del suelo con las diferentes dosis de emulsión.

Emulsión	Dosis %	% Humedad	% AEA	ADH ($\mu\text{g TFF/g}^{\circ}\text{d}$)
Control	Control	1,01 \pm 0,09 ab	21 \pm 3 ab	42 \pm 1 a
Emulsión Aniónica	0,5	1,03 \pm 0,02 ab	19 \pm 8 ab	52 \pm 3 a
	1	1,02 \pm 0,06 ab	21 \pm 3 ab	45 \pm 4 a
	1,5	1,02 \pm 0,02 ab	20 \pm 3 ab	39 \pm 8 a
	2	1,03 \pm 0,03 ab	23 \pm 2 ab	59 \pm 6 a
	2,5	0,93 \pm 0,03 a	19 \pm 4 ab	59 \pm 8 a
	3	0,98 \pm 0,98 ab	22 \pm 3 ab	47 \pm 7 a
Emulsión Catiónica	0,5	1,08 \pm 0,06 bc	21 \pm 2 ab	66 \pm 8 a
	1	1,04 \pm 0,09 abc	24 \pm 2 b	302 \pm 165 b
	1,5	1,06 \pm 0,02 abc	13 \pm 5 a	262 \pm 38 ab
	2	1,17 \pm 0,06 c	16 \pm 4 ab	230 \pm 110 ab
	2,5	1,00 \pm 0,04 ab	51 \pm 2 c	304 \pm 82 b
	3	1,04 \pm 0,03 abc	23 \pm 2 ab	359 \pm 167 b

Tabla 14. Propiedades químicas del suelo con las diferentes dosis de emulsión.

Emulsión	Dosis %	% MOS	pH	BI (cmol/Kg)	% AI	CIC (cmol/Kg)
Control	0	2,78 ± 0,06 a	6,4 ± 0,3 ab	1,6 ± 0,1 abc	1,0 ± 0,5 a	1,6 ± 0,2 a
Emulsión Aniónica	0,5	2,94 ± 0,07 ab	6,28 ± 0,009 a	1,5 ± 0,2 ab	2,0 ± 0,8 b	1,5 ± 0,2 a
	1	2,94 ± 0,05 ab	6,35 ± 0,09 a	1,68 ± 0,06 abc	0,65 ± 0,02 a	1,70 ± 0,06 a
	1,5	3,3 ± 0,2 ab	6,36 ± 0,07 ab	1,43 ± 0,05 a	1,0 ± 0,4 a	1,45 ± 0,04 a
	2	3,5 ± 0,1 abc	6,9 ± 2 b	1,7 ± 0,1 bc	0,64 ± 0,06 a	1,7 ± 0,1 a
	2,5	4,0 ± 0,2 c	6,6 ± 0,3 ab	1,4 ± 0,2 a	0,78 ± 0,09 a	1,43 ± 1 a
	3	3,6 ± 0,2 abc	6,5 ± 0,3 ab	1,51 ± 0,05 ab	0,73 ± 0,02 a	1,53 ± 0,05 a
Emulsión Catiónica	0,5	2,9 ± 0,2 ab	6,5 ± 0,2 ab	1,9 ± 0,1 c	0,9 ± 0,4 a	2,0 ± 0,1 a
	1	3,08 ± 0,06 ab	6,62 ± 0,08 ab	1,89 ± 0,07 c	0,58 ± 0,02 a	1,91 ± 0,07 a
	1,5	3,8 ± 0,9 bc	6,3 ± 0,1 a	1,6 ± 0,1 ab	1,3 ± 0,4 ab	1,6 ± 0,1 a
	2	3,4 ± 0,6 abc	6,3 ± 0,2 a	1,7 ± 0,2 abc	0,5 ± 0,2 a	4 ± 2 b
	2,5	4,0 ± 0,6 c	6,6 ± 0,1 ab	1,66 ± 0,04 abc	0,67 ± 0,02 a	1,64 ± 0,04 a
	3	3,5 ± 0,4 abc	6,58 ± 0,05 ab	1,54 ± 0,05 ab	0,8 ± 0,2 a	1,57 ± 0,04 a

Como se puede observar las diferentes dosis de emulsión asfáltica aniónica y catiónica, no mostraron cambios significativos en las propiedades del suelo, sin una tendencia definida de una dosis óptima, se encontraron valores por encima del promedio en algunas propiedades, con el contenido de emulsiones catiónicas, como se observa con las dosis de 2; 2,5 y 3%.

El % MOS aumenta con la adición de las emulsiones asfálticas, por estar compuestas de hidrocarburos, impulsando la agregación del suelo debido a su papel estabilizador y su carácter cementante [11], permite el incremento del %AEA como se observa con la dosis de 2,5% emulsión catiónica, la cual aumentó de manera significativa a 51%, brindándole al suelo una mayor estabilidad al humedecimiento [60]. Sin embargo en las demás muestras no se pudo ver este efecto posiblemente porque los 15 mL de agua que se utilizó para realizar la mezcla no fue suficiente para dispersar la emulsión en el suelo.

Del mismo modo, la CIC varió de manera estadísticamente significativa (4 cmol/Kg) con la dosis de 2% emulsión catiónica, permitiendo notar que la emulsión asfáltica ayuda a retener cationes básicos en el suelo, y desplazar los cationes ácidos como se demuestra con la disminución del % de saturación de aluminio intercambiable (0,5%) obtenido con esta dosis, que aunque no fue una variación estadísticamente significativa, se observa cómo se relacionan estas propiedades [1].

Uno de los parámetros de importancia es la actividad deshidrogenasa, pues sirve como indicador de la actividad biológica del suelo y viene siendo un reflejo de las condiciones fisicoquímicas que este posee [62]. La determinación de este parámetro en las muestras de estudio permitió determinar en la dosis de un 3% de emulsión catiónica, el mayor valor promedio de 359 $\mu\text{g TFF/g}\cdot\text{d}$, con una variación estadísticamente significativa con respecto al control, dado que la cantidad de emulsión asfáltica utilizada para este tratamiento es lo suficientemente apreciable para permitir una mezcla homogénea con mayor facilidad, fue la dosis escogida para la tercera parte de la metodología experimental, pues la actividad microbiana tiene una gran influencia en el suelo debido a que la materia orgánica no ayuda a que se formen agregados estables, por lo que se requiere de la intervención de los microorganismos para que a través de la descomposición de dicha materia se forme el humus que ayudan a la formación de agregados, y con ellos a la variación de las demás propiedades físicas y químicas del suelo [63].

3. Tercera etapa. Efectos de la emulsión escogida en el suelo y sus aguas lixiviadas

3.1 Características de la emulsión asfáltica catiónica

Las características determinadas de la emulsión asfáltica catiónica, se encuentran en la Tabla 15 que se presenta a continuación:

Tabla 15. Características químicas de la emulsión asfáltica escogida.

pH	CE mS/cm	Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Níquel	Plata
		mg/L					
1,35	14,38	0,01	ND	ND	ND	ND	ND

ND: no detectable por el método empleado

Estos resultados indican que la emulsión asfáltica tiene un carácter ácido [11], ya que es inducido por la estabilización de la amina cuaternaria (sal comúnmente utilizada como surfactante para dispersar las gotas de crudo en el agua), en medio acuoso con HCl a un pH ~ 2.

Con respecto a la CE, el valor obtenido es alto en la emulsión asfáltica indicando una gran cantidad de sales disueltas, es decir altamente salino [11],

Los resultados de los metales lixiviados indican que esta no posee metales pesados, esta es una condición ventajosa, por lo que es una sustancia no tóxica, según el decreto de manejo de desechos sólidos [60].

3.2 Efectos de la emulsión asfáltica en el suelo

3.2.1 Propiedades Físicas

a. % Agregados estables al agua (%AEA)

La aplicación de la emulsión asfáltica catiónica a los diferentes tratamientos varió las propiedades físicas del suelo, como se observa en los datos de %AEA que presenta la Tabla 16, en la cual se indica que los tratamientos T1, T3, T4 y T5 registraron un incremento significativo al inicio de la incubación, gracias al aporte de materia orgánica proveniente de la emulsión asfáltica y la gallinaza (esta última para T3 y T4), las cuales

actúan como agentes cementantes al incrementar la cohesión entre partículas, y como agentes enlazantes que forman puentes con cationes polivalentes [64].

Al transcurrir el tiempo de incubación, se observa como esta propiedad aumenta en los primeros meses de experimentación debido a la acción de los microorganismos del suelo los cuales procesan la materia orgánica promoviendo la formación de agregados la estabilidad de los mismos [65]. Sin embargo, para los 120 días el %AEA disminuye, posiblemente al descenso de la actividad microbiana que se refleja más adelante en la Tabla 40, lo cual pudo deberse a la disminución de los valores de pH mostrados en la Tabla 19 para este tiempo, como indican los investigadores Ramos, E. y Zúñiga, D. (2008), la actividad microbiana está influenciada por el pH del suelo, a pH = 6,10 ó 8,20 la ADH disminuye, pero a pH = 7,80 aumenta considerablemente [62].

Tabla 16. % agregados estables al agua (%AEA)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	26 ± 2 a	27 ± 6 a	40 ± 3 a	31 ± 6 a
T1: S + EC	66,7 ± 0,5 c	69 ± 3 c	60 ± 11 bc	32 ± 4 a
T2: S + EC + F	25 ± 4 a	43 ± 3 b	50 ± 11 ab	41 ± 8 ab
T3: S + EC + AO	51 ± 4 b	47 ± 6 b	62 ± 9 bc	57 ± 10 bc
T4: S + EC + F + AO	46 ± 5 b	75 ± 3 c	68 ± 2 c	61 ± 14 c
T5: S + EC + Cal	64 ± 4 c	66 ± 5 c	53 ± 6 abc	36 ± 6 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Estos resultados coincide con los trabajos de Salem, *et al* 1985 [29], Frede, *et al* 1994 [30] y Fortún y Fortún 2005 [31], los cuales al utilizar las emulsiones asfálticas notaron que estas mejoran la estructura del suelo significativamente.

b. %Humedad

La agregación del suelo permite la retención de humedad, sin embargo en esta investigación no fue posible ver este efecto debido a que los tratamientos no fueron preparados el mismo día, por lo que hubo variaciones en las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestos afectando los valores obtenidos, los cuales se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. % humedad.

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	12,9 ± 0,2 a	13,7 ± 0,6 bc	11,0 ± 0,3 a	11,7 ± 0,5 a
T1: S + EC	13,0 ± 0,6 a	14,2 ± 0,6 c	10,8 ± 0,6 a	11,9 ± 0,6 a
T2: S + EC + F	15,5 ± 0,3 c	12,5 ± 0,7 a	12,3 ± 0,3 b	13,8 ± 0,8 b
T3: S + EC + AO	14,2 ± 0,4 b	16,1 ± 0,1 d	15,1 ± 0,6 c	14,6 ± 0,4 b
T4: S + EC + F + AO	17,6 ± 0,8 d	14,6 ± 0,3 c	14,4 ± 0,3 c	17 ± 1 c
T5: S + EC + Cal	12,8 ± 0,6 a	12,9 ± 0,2 ab	12,8 ± 0,4 b	11,6 ± 0,4 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Para los tratamientos T0, T1 y T5 no se encontró una diferencia significativa entre ellos, sin embargo T1 y T5 muestran una tendencia a tener pequeños incrementos con respecto al control, posiblemente se debe al efecto que producen las emulsiones asfálticas en el suelo.

De forma contraria, los tratamientos T3 y T4 mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a T0 en los cuatro tiempos de muestreo, debido a los aportes de material seco provenientes de la gallinaza, que permiten una mayor absorción de agua elevando la capacidad de retención de esta en el suelo [41].

Esto indica que las emulsiones asfálticas y los fertilizantes, ayudan a mejorar la infiltración de agua, disminuyendo las pérdidas por escorrentía y por evaporación directa, reduciendo los riesgos de erosión [66].

Estos resultados no son tan similares a los registrados por Pla, *et al* 1983 [26], Lobo, *et al* 1984 [27] y Jiuzhi y Bongtong 1985 [28], puesto que aunque se observó un ligero incremento del % de humedad, ellos indicaron que este fue significativo con la aplicación de las emulsiones asfálticas, esto puede deberse a diferencias en la preparación de las muestras, debido a que estos investigadores aplicaron las emulsiones por aspersión en la superficie del suelo, mientras que en este diseño experimental se hizo una mezcla de ellas con el suelo.

3.2.2 Propiedades químicas

a. % Materia orgánica del suelo (%MOS)

La Tabla 18, muestra el %MOS y como se esperaba, esta varió con la adición de la emulsión asfáltica y los fertilizantes.

Tabla 18. % materia orgánica en el suelo (%MOS)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	2,71 ± 0,06 a	2,76 ± 0,08 a	2,59 ± 0,08 a	2,82 ± 0,02 a
T1: S + EC	4,7 ± 0,4 b	4,9 ± 0,3 b	4,5 ± 0,2 b	4,9 ± 0,4 b
T2: S + EC+ F	4,8 ± 0,2 b	4,66 ± 0,05 b	4,50 ± 0,08 b	4,7 ± 0,1 b
T3: S + EC+ AO	7,2 ± 0,2 c	7,1 ± 0,2 d	6,9 ± 0,3 c	7,1 ± 0,3 c
T4: S + EC + F + AO	6,8 ± 0,1 c	6,7 ± 0,1 c	6,81 ± 0,09 c	7,1 ± 0,8 c
T5: S + EC+ Cal	4,7 ± 0,1 b	4,66 ± 0,08 b	4,46 ± 0,08 b	5,0 ± 0,3 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Al añadir la emulsión asfáltica al suelo, se nota como esta influye en su coloración notablemente, pasando de un color marrón claro a un color marrón oscuro, Figuras 10 – 15, evidenciando el aumento del contenido de materia orgánica en las muestras de suelo [4].

Figura 11. Tratamiento T0: Suelo control



Figura 12. Tratamiento T1: S + EC



Figura 13. Tratamiento T2: S + EC + F



Figura 14. Tratamiento T3: S + EC + AO



Figura 15. Tratamiento T4: S + EC + F + AO



Figura 16. Tratamiento T5: S + EC + Cal



Los resultados obtenidos separan los tratamientos en dos grupos que se diferencian significativamente del T0, el primer grupo T1, T2 y T5, que solo tienen emulsión asfáltica incrementan el %MOS a un porcentaje cercano a 5%, mientras que el segundo grupo T3 y T4, con la adición de la gallinaza impulsa este porcentaje a un promedio de 7%. Estos valores, se mantuvieron durante los 120 días del experimento indicando que el empleo de esta enmienda orgánica, es efectiva y perdurable en este lapso de tiempo.

Con la adición de materia orgánica al suelo, se produjeron variaciones en las demás propiedades químicas y biológicas, debido a su gran influencia en ellas.

b. pH

Para la determinación del pH se emplearon dos técnicas distintas la dilución de 1:1 y por pasta saturada. Los resultados se muestran en las Tablas 19 y 20 respectivamente. Aún cuando estos resultados arrojaron valores distintos, el comportamiento que reflejan sigue la misma tendencia.

Tabla 19. pH del suelo por 1:1

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	6,4 ± 0,1 a	6,76 ± 0,06 c	6,29 ± 0,09 b	6,09 ± 0,04 b
T1: S + EC	6,42 ± 0,03 a	6,53 ± 0,04 b	6,13 ± 0,04 a	5,9 ± 0,2 b
T2: S + EC+ F	7,70 ± 0,02 cd	7,00 ± 0,08 cd	6,12 ± 0,09 a	5,2 ± 0,3 a
T3: S + EC+ AO	7,57 ± 0,09 c	7,5 ± 0,2 e	6,85 ± 0,06 d	6,7 ± 0,1 c
T4: S + EC + F + AO	7,9 ± 0,1 d	7,2 ± 0,1 d	6,59 ± 0,08 c	6,6 ± 0,2 c
T5: S + EC+ Cal	6,9 ± 0,1 b	6,29 ± 0,05 a	6,69 ± 0,07 c	6,57 ± 0,07 c

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Los valores de pH de todos los tratamiento mostraron variaciones temporales con respecto al control, que en algunos casos no fueron estadísticamente significativas, demostrando que las emulsiones asfálticas no tiene un impacto directo con el pH del

suelo a pesar de que este sea fuertemente ácido, esto se debe a que los hidronios que provienen del surfactante, no se encuentran disponibles pues el bitumen se adhiere al suelo haciéndolo hidrofóbico, al repeler el agua no modifica su pH

Tabla 20. pH del suelo por pasta saturada

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	6,33 ± 0,07 a	6,41 ± 0,06 ab	6,70 ± 0,06 b	6,41 ± 0,09 b
T1: S + EC	6,26 ± 0,04 a	6,57 ± 0,08 bc	6,7 ± 0,2 b	6,01 ± 0,09 a
T2: S + EC+ F	7,6 ± 0,2 b	6,3 ± 0,2 a	5,7 ± 0,1 a	6,33 ± 0,08 ab
T3: S + EC+ AO	7,5 ± 0,1 b	7,5 ± 0,1 d	7,1 ± 0,1 c	7,0 ± 0,3 c
T4: S + EC + F + AO	7,7 ± 0,2 b	6,8 ± 0,1 c	6,6 ± 0,2 b	6,6 ± 0,2 b
T5: S + EC+ Cal	6,31 ± 0,05 a	6,78 ± 0,09 c	6,6 ± 0,1 b	6,5 ± 0,1 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Para los tratamientos T2, T3 y T4, se notó un incremento significativo generado por la aplicación de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, llevándolos a valores cercanos a la neutralidad ($\text{pH} = 7$) y en algunos casos a valores ligeramente básicos ($\text{pH} > 7$), como en este último caso [1].

Sin embargo, esta propiedad va disminuyendo al transcurrir el tiempo del experimento y con una gran rapidez para los tratamientos en los que se empleó los fertilizantes inorgánicos 12 24 12 y urea, evidenciando que hubo un exceso en la dosis aplicada al suelo también observado en el análisis de sus aguas lixiviadas pág. 85 , lo que produjo una nitrificación por los componentes de amonio de los fertilizantes que por la intervención de los microorganismos producen la siguiente reacción, que genera el ácido nítrico [66].



En el tratamiento T5, se nota un significativo aumento del pH con respecto al control a partir de los 30 días del experimento, tiempo en que los iones de calcio y magnesio aplicados a través de la cal agrícola han percolado, manteniéndose de manera disponible en el suelo. Este incremento se mantuvo hasta cumplirse los 120 días, comportamiento que es reflejado de una mejor forma a través de la técnica de pasta saturada.

c. Conductividad eléctrica (CE)

Con respecto a la conductividad eléctrica, también se utilizaron las dos técnicas de dilución 1:1 y pasta saturada los valores obtenidos se muestran en las Tablas 21 y 22.

Tabla 21. Conductividad eléctrica del suelo por 1:1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0,089 \pm 0,001 a	0,095 \pm 0,003 a	0,202 \pm 0,006 a	0,322 \pm 0,006 a
T1: S + EC	0,181 \pm 0,003 a	0,164 \pm 0,003 b	0,245 \pm 0,007 a	0,356 \pm 0,058 a
T2: S + EC + F	0,34 \pm 0,07 a	0,328 \pm 0,004 d	0,693 \pm 0,008 b	1,03 \pm 0,02 b
T3: S + EC + AO	2,9 \pm 0,2 c	1,976 \pm 0,005 e	2,0 \pm 0,1 c	2,06 \pm 0,09 c
T4: S + EC + F + AO	1,9 \pm 0,1 b	2,045 \pm 0,003 f	2,81 \pm 0,09 d	2,3 \pm 0,1 c
T5: S + EC + Cal	0,21 \pm 0,04 a	0,23 \pm 0,02 c	0,307 \pm 0,002 a	0,401 \pm 0,038 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Tabla 22. Conductividad eléctrica del suelo por pasta saturada ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0,23 \pm 0,02 a	0,33 \pm 0,02 a	0,72 \pm 0,02 a	0,902 \pm 0,006 a
T1: S + EC	0,474 \pm 0,005 ab	0,45 \pm 0,03 a	0,66 \pm 0,04 a	0,85 \pm 0,06 a
T2: S + EC + F	1,3 \pm 0,2 b	1,216 \pm 0,006 b	2,3 \pm 0,1 b	2,47 \pm 0,02 b
T3: S + EC + AO	6,750 \pm 0,005 d	3,3 \pm 0,1 c	5,6 \pm 0,2 c	5,37 \pm 0,09 c
T4: S + EC + F + AO	4,6 \pm 0,5 c	6,7 \pm 0,2 d	6,3 \pm 0,1 d	7,4 \pm 0,1 d
T5: S + EC + Cal	0,88 \pm 0,02 ab	0,65 \pm 0,04 a	0,93 \pm 0,04 a	1,00 \pm 0,04 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Los dos métodos de determinación difieren significativamente en los valores reportados, lo que puede llevar a diferencias en las interpretaciones que estos generan, sin embargo los tratamientos muestran la misma tendencia en las dos formas de análisis.

Para el tratamiento control T0, se observa un incremento de la CE al transcurrir los días de incubación, lo que lleva a pensar que el agua de chorro le está aportando iones al suelo, estas aguas según Casanova, 2005 [1] puede tener una CE entre 0 a 15 mS/cm indicando que posiblemente los iones que se encuentran disueltos están siendo retenidos en el suelo durante los 120 que comprende la investigación.

Los tratamientos T1 y T5 no presentan diferencias significativas con respecto al control sin embargo, se observa un incremento al utilizar las emulsiones asfálticas, por el gran contenido de sales que esta contiene. De esta manera, se evidencian los efectos positivos que estas ejercen, aumentando la CE pero manteniéndola dentro del rango de 0 – 2 mS/cm, condición del suelo que indica que no es salino y es apto para todo tipo de cultivos [11].

Como era de esperarse el tratamiento T2, aumentó significativamente con la adición de los fertilizantes, pues este trae consigo sales que pasan a estar disueltas en el suelo, esto se ve reflejado en el tiempo de 60 días que muestra un incremento con respecto al tiempo de 0 y 30 días, debido a la adición de 50 mL de la solución de los fertilizantes inorgánicos, que se realizó a los 30 días del experimento. De igual manera este incremento mantuvo el rango de CE entre 0 – 2 mS/cm, valores ideales para el desarrollo de los cultivos [11].

Los tratamientos T3 y T4, son los que registraron mayores valores por las sales de que aportan los fertilizantes orgánico e inorgánico, este último en el caso del T4. Con la determinación del método de dilución 1:1, muestra que estos tratamientos alcanzaron valores superiores a los 2 mS/cm, lo que representa un suelo de escasa salinidad,

donde algunos cultivos sensibles a esto pueden tener problemas en su desarrollo. Mientras que con el método de pasta saturada, se muestran valores entre 4500 a 7400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que indican una salinidad moderada que afecta el desarrollo de cultivos no tolerantes a la presencia de sales [1]. Lo que estos análisis tienen en común es que la cantidad de fertilizante usado fue superior a la que el suelo requería provocando un exceso de salinidad en el suelo.

d. Relación de absorción de sodio (RAS)

Otro parámetro muy relacionado a la CE es la RAS, el cual permite determinar la tendencia de la solución del suelo para producir sodio intercambiable [1], los resultados obtenidos de esta propiedad se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Relación de absorción de sodio (RAS)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0,2643 \pm 0,0004 a	0,20 \pm 0,03 a	0,84 \pm 0,02 a	1,04 \pm 0,04 a
T1: S + EC	0,192 \pm 0,002 a	0,224 \pm 0,005 a	0,85 \pm 0,05 a	1,00 \pm 0,03 a
T2: S + EC+ F	0,36 \pm 0,04 a	0,295 \pm 0,003 b	1,5 \pm 0,2 b	0,853 \pm 0,006 a
T3: S + EC+ AO	2,33 \pm 0,09 c	1,32 \pm 0,02 c	4,2 \pm 0,1 c	4,80 \pm 0,05 b
T4: S + EC + F + AO	1,57 \pm 0,02 b	1,266 \pm 0,004 c	4,5 \pm 0,1 d	4,7 \pm 0,2 b
T5: S + EC+ Cal	0,3 \pm 0,1 a	0,21 \pm 0,01 a	1,026 \pm 0,004 a	1,01 \pm 0,02 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Casanova, 2005 [1], indica que a una CE = 2,25 mS/cm el valor de RAS debe ser menor a 4 para no tener problemas de toxicidad de sodio. Sin embargo, en el decreto 2635 [59] se muestra que el valor límite es < 5 , tomando como referencia este último vemos que ningún tratamiento tiene problemas de sodicidad, aún para los que han obtenido los mayores valores significativos, como es el caso de T3 y T4 debido a la adición de abonos orgánicos realizados. Los demás tratamientos no muestran cambio significativo con respecto al control.

e. Bases intercambiables (BI) y capacidad de intercambio iónico (CIC)

De la misma manera vemos, que en las propiedades de BI y CIC, las cuales son proporcionales, y se representan en las Tablas 24 y 25 respectivamente, los fertilizantes y la cal agrícola inducen cambios significativos en el suelo, debido a su aporte de nutrientes como se observa en los tratamientos T3, T4 y T5.

Tabla 24. Bases intercambiables (cmol/Kg)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	1,0 ± 0,1 a	1,063 ± 0,005 a	1,32 ± 0,03 a	1,50 ± 0,04 a
T1: S + EC	1,1 ± 0,2 ab	1,2 ± 0,2 a	1,48 ± 0,08 a	1,8 ± 0,1 ab
T2: S + EC+ F	1,07 ± 0,07 ab	1,41 ± 0,07 ab	1,352 ± 0,006 a	1,91 ± 0,02 ab
T3: S + EC+ AO	8,3 ± 0,4 d	8,6 ± 0,2 d	8,9 ± 0,2 c	9,4 ± 0,2 c
T4: S + EC + F + AO	5,9 ± 0,3 c	7,4 ± 0,2 c	9,5 ± 0,1 d	11,6 ± 0,8 d
T5: S + EC+ Cal	1,6 ± 0,2 b	1,8 ± 0,1 b	2,20 ± 0,03 b	2,51 ± 0,07 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Tabla 25. Capacidad de Intercambio catiónico (cmol/Kg)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	1,1 ± 0,1 a	1,10 ± 0,05 a	1,34 ± 0,03 a	1,64 ± 0,04 a
T1: S + EC	1,1 ± 0,1 a	1,2 ± 0,2 ab	1,51 ± 0,08 a	1,72 ± 0,08 ab
T2: S + EC+ F	1,10 ± 0,07 a	1,43 ± 0,07 b	1,5 ± 0,1 a	1,97 ± 0,05 ab
T3: S + EC+ AO	8,4 ± 0,3 c	8,7 ± 0,2 e	9,09 ± 0,03 c	9,5 ± 0,2 c
T4: S + EC + F + AO	5,9 ± 0,3 b	7,4 ± 0,2 d	9,5 ± 0,1 d	11,7 ± 0,8 d
T5: S + EC+ Cal	1,6 ± 0,2 a	1,8 ± 0,1 c	2,18 ± 0,09 b	2,53 ± 0,07 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Los tratamientos T3 y T4 fueron los tratamientos que mostraron los valores de CIC más altos, los cuales indican según la bibliografía [11] que el suelo a incrementado sus condiciones para los cultivos, de una manera aceptable por su incremento de nutrientes.

Los demás tratamientos T1 y T2, no muestran cambios estadísticamente significativos sin embargo se nota un ligero incremento en ellos, nuevamente por el efecto que está ejerciendo las emulsiones asfálticas de mantener los cationes básicos en los sitios de intercambio del suelo, también evidenciado en los valores de CE de las aguas lixiviadas mostrados en la Tabla 42, los cuales son mucho menores al del T0.

f. % Saturación de aluminio (% Sat. de Al)

Inversamente proporcional a la propiedad de BI se tiene el % Sat. de Al, pues a medida que aumenta los cationes básicos van desplazando a los cationes ácidos disminuyendo los iones de aluminio intercambiable[1] y con ello su % como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. % saturación de aluminio (%Sat. de Al)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	4,5 ± 0,6 a	3,2 ± 0,5 a	0,84 ± 0,03 a	4,4 ± 0,5 a
T1: S + EC	0,88 ± 0,004 bc	0,7 ± 0,3 b	0,74 ± 0,04 b	6,6 ± 0,3 b
T2: S + EC+ F	1,01 ± 0,06 b	0,75 ± 0,01 b	0,809 ± 0,004 ab	2,4 ± 0,4 c
T3: S + EC+ AO	0,3 ± 0,1 c	0,49 ± 0,06 b	0,50 ± 0,02 c	0,12 ± 0,02 d
T4: S + EC + F + AO	0,19 ± 0,01 c	0,19 ± 0,02 b	0,112 ± 0,008 d	0,45 ± 0,04 d
T5: S + EC+ Cal	0,75 ± 0,04 bc	0,62 ± 0,03 b	0,499 ± 0,007 c	0,44 ± 0,01 d

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Todos los tratamientos mostraron un cambio significativo con respecto al T0 en el tiempo de 0 días, la cual sigue avanzando en el caso del T3. Sin embargo para los demás tratamientos se muestra un ligero incremento al transcurrir los días del experimento como en T1, T4 y T5, y de una manera más significativa en el T2, reflejando en este último el problema de acidez que se está produciendo con el empleo de los fertilizantes, y que también se mostraba en la propiedad del pH.

g. % Saturación de Bases (%SB)

El %SB como propiedad que es función de la CIC muestra un aumento significativo en todos los tratamientos diferentes al control. En la Tabla 27 se representa como al agregar la emulsión asfáltica esta propiedad se incrementa casi hasta llegar al valor óptimo (%SB = 100).

Como se observa, nuevamente los tratamientos T3 y T4 son los que reportan los valores más altos pues los cationes básicos son los que están dominando los sitios de intercambio como se registró en la Tabla 25 de CIC.

Tabla 27. % saturación de bases (%SB)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	90,4 ± 0,5 a	94,7 ± 0,3 a	98,35 ± 0,03 a	91 ± 1 a
T1: S + EC	98,24 ± 0,07 bc	98,33 ± 0,09 b	98,53 ± 0,07 a	98 ± 1 c
T2: S + EC+ F	98,0 ± 0,1 b	98,46 ± 0,09 b	98,5 ± 0,1 a	95 ± 1 b
T3: S + EC+ AO	99,4 ± 0,2 d	99,2 ± 0,2 d	99,12 ± 0,2 b	99,773 ± 0,007 c
T4: S + EC + F + AO	99,59 ± 0,07 d	99,6 ± 0,1 e	99,78 ± 0,02 c	99,14 ± 0,01 c
T5: S + EC+ Cal	98,6 ± 0,2 c	98,8 ± 0,1 c	98,98 ± 0,4 b	99,13 ± 0,02 c

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

Un valor resaltante en los resultados se muestra en el T2 a los 120 días, el cual muestra una disminución estadísticamente significativa, nuevamente reflejando el exceso de fertilizante usado en el suelo.

h. Cloruros

Otros nutrientes importantes en el suelo son los cloruros y el fósforo, los cuales se muestran en las Tablas 28 y 29, respectivamente.

Los cloruros son micronutrientes esenciales para los cultivos, que se presenta en el suelo formando sales con cationes como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y NH_4^+ los cuales tienen gran movilidad en el suelo [1] [68]. Su determinación se hace en su forma de Cl^- , los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 28.

Las cantidades de cloro en el suelo requerido para un buen desarrollo de las plantas son concentraciones bajas entre 2 y 2500 mg/L, un valor superior a este se considera un ambiente tóxico [60] [68]. En los resultados obtenidos se observa como la aplicación de emulsiones asfálticas incrementó de una manera significativa las concentraciones de cloruros en la solución del suelo, y estas se mantienen al transcurrir los 120 días de incubación.

Tabla 28. Cloruros en el suelo (mg/L)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	3,83 ± 0,05 a	5 ± 2 a	5 ± 2 a	3 ± 2 a
T1: S + EC	11,49 ± 0,05 b	12 ± 2 b	10 ± 2 b	11,49 ± 0,05 b
T2: S + EC+ F	10 ± 2 b	10 ± 2 b	11,49 ± 0,05 b	10 ± 2 b
T3: S + EC+ AO	68 ± 2 d	62 ± 2 c	73 ± 3 c	70 ± 2 c
T4: S + EC + F + AO	53,60 ± 0,05 c	68 ± 2 d	68,91 ± 0,05 c	72,74 ± 0,05 c
T5: S + EC+ Cal	9 ± 2 b	10 ± 2 b	10 ± 2 b	10 ± 2 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Los valores más altos son alcanzados en T3 y T4, por el aporte de cloruros que se adicionan al agregar la gallinaza al suelo, manteniéndose dentro de los límites requeridos para un buen crecimiento de las plantas.

i. Fosforo disponible

En cuanto a la concentración de fósforo disponible que se encuentra en el suelo, este se ve principalmente influenciado por la gallinaza, fuente importante de P, aplicada a los

tratamientos T3 y T4, pues estos fueron los que mostraron un incremento significativo, sin embargo al transcurrir el tiempo se nota como estas concentraciones decaen, posiblemente a que están siendo retenidos por el suelo.

Tabla 29. Fósforo disponible en el suelo (mg/L)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	19,5 ± 0,3 a	19,7 ± 0,1 a	18 ± 2 a	19,1 ± 0,5 a
T1: S + EC	19,3 ± 0,7 a	18,3 ± 0,9 a	19 ± 1 a	19,8 ± 0,2 a
T2: S + EC+ F	19,3 ± 0,7 a	19,3 ± 0,4 a	18 ± 1 a	19,4 ± 0,5 a
T3: S + EC+ AO	539 ± 1 c	522 ± 6 b	495 ± 8 c	261 ± 11 b
T4: S + EC + F + AO	476,9 ± 0,8 b	516 ± 4 b	467 ± 6 b	311 ± 4 c
T5: S + EC+ Cal	19,1 ± 0,6 a	18,7 ± 0,1 a	18 ± 2 a	19,7 ± 0,1 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Los tratamientos T0, T1, T2 y T5, no presentan diferencia estadísticamente significativa, debido a que estos no tuvieron ningún aporte de fósforo, indicando que ni los fertilizantes inorgánicos ni las emulsiones asfálticas, influyen en este parámetro.

j. Metales totales

La determinación de los metales totales en el suelo, nos permiten conocer si las emulsiones asfálticas, pueden tener un impacto perjudicial en el suelo. La Tabla 30, 31, 32 y 33 contiene las concentraciones de los metales que pueden ser tóxicos en el suelo, por los 0, 30, 60 y 120 días de muestreo respectivamente.

Tabla 30. Metales totales del suelo a los 0 días

Tratamiento	Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Plata
	mg/L					
T0	65,52	1,98	19,65	4,95	17,95	4,95
T1	618,92	1,98	18,18	4,95	24,18	4,95
T2	493,92	1,98	17,95	4,95	39,18	4,95
T3	1175,92	1,98	18,71	4,95	55,92	4,95
T4	53,92	1,98	18,88	4,95	70,58	4,95
T5	40,15	1,98	16,48	4,95	16,58	4,95

Tabla 31. Metales totales del suelo a los 30 días

Tratamiento	Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Plata
	mg/L					
T0	196,42	1,98	17,73	4,95	17,55	4,95
T1	32,72	1,98	14,08	7,15	13,60	4,95
T2	39,67	1,98	12,73	4,95	12,35	4,95
T3	131,92	1,98	16,23	36,50	62,80	4,95
T4	50,50	1,98	14,93	14,85	37,40	4,95
T5	100,92	1,98	14,53	4,95	9,59	4,95

Tabla 32. Metales totales del suelo a los 60 días

Tratamiento	Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Plata
	mg/L					
T0	238,9	1,98	20,38	4,95	12,35	4,95
T1	43,42	1,98	17,03	4,95	14,40	4,95
T2	66,90	1,98	16,23	4,95	10,64	4,95
T3	155,92	1,98	16,85	18,60	48,15	4,95
T4	41,52	1,98	16,68	4,95	31,95	4,95
T5	33,92	1,98	25,13	4,95	9,18	4,95

Tabla 33. Metales totales del suelo a los 120 días

Tratamiento	Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Plata
	mg/L					
T0	50,62	1,98	21,98	4,95	13,10	4,95
T1	113,52	1,98	21,93	4,95	13,00	4,95
T2	35,82	1,98	16,13	4,95	10,06	4,95
T3	61,22	1,98	20,13	7,30	38,40	4,95
T4	44,32	1,98	14,78	5,39	27,60	4,95
T5	36,92	1,98	18,78	4,43	13,75	4,95

En la Tabla 34, se muestran los valores límites de los metales totales en el suelo, que presenta el decreto 2635 de desechos en el suelo [60].

Tabla 34. Límites de metales totales en el suelo

Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Zinc	Plata
mg/L					
20.000	8	300	150	300	5

Según se observa en las Tablas anteriores, ninguno de los tratamientos sobrepasó los valores límites presentados de los diferentes metales en el suelo. Sin embargo, se muestra que las concentraciones de bario y zinc aumentan (el primero de una manera más evidente que el segundo) con la aplicación de las emulsiones asfálticas y los fertilizantes, este último influyendo de manera considerable como se nota en el T3 el cual indicó la mayor concentración de este elemento, el cual va disminuyendo al transcurrir los días de incubación.

Las concentraciones de cromo en el suelo, no muestran un cambio tan evidente en ninguno de los tratamientos, y estas se mantienen en el tiempo. De la misma manera, se observa que las concentraciones de cadmio y plata no cambian en ningún tiempo de muestreo.

El elemento plomo, se muestra afectado a los 30 días de incubación en el tratamiento T1, T3 y T4, estos dos últimos demostrando grandes cambios en sus concentraciones. A los 60 días, se produce una disminución en los tres tratamientos que se mantiene hasta los últimos días de incubación.

k. % Aceites y grasas

Una propiedad muy importante es el %A y G pues al agregar hidrocarburos al suelo puede producirse un ambiente tóxico en el suelo, en la Tabla 35, se muestran los porcentajes que posee cada tratamiento de aceites y grasas.

Tabla 35. % aceites y grasas (% A y G)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0,109 ± 0,004 a	0 ± 0 a	0 ± 0 a	0,244 ± 0,001 a
T1: S + EC	2,3 ± 0,1 bc	2,1 ± 0,2 b	2,2 ± 0,1 b	2,1 ± 0,1 b
T2: S + EC+ F	2,11 ± 0,07 b	2,2 ± 0,1 b	2,1 ± 0,1 b	2,12 ± 0,08 b
T3: S + EC+ AO	2,5 ± 0,1 c	2,3 ± 0,2 b	2,7 ± 0,3 c	2,6 ± 0,2 c
T4: S + EC + F + AO	2,2 ± 0,3 bc	2,4 ± 0,1 b	2,5 ± 0,1 bc	2,2 ± 0,2 b
T5: S + EC+ Cal	2,15 ± 0,07 b	2,3 ± 0,2 b	2,2 ± 0,2 b	2,0 ± 0,1 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Como era de suponer el %A y G aumenta significativamente para todos los tratamientos con respecto al suelo control por la adición de las emulsiones asfálticas, la cual al ser agregada en las mismas dosis, no se observan diferencias significativas en los demás tratamientos, salvo el T3 el cual refleja un valor más elevado, posiblemente promovido por el uso de gallinaza, la cual puede contener en su composición algunos compuestos grasos que son extraídos al realizar el análisis correspondiente.

Además, se observa en los resultados obtenidos que todos los tratamientos cumplen con la ley de hidrocarburos en el suelo, la cual indica que el %A y G debe ser < 3 , de esta manera se nota que la dosis aplicada fue suficiente para no exceder los límites de contaminación en el suelo.

I. Saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos

El crudo que contienen las emulsiones asfálticas, están compuestos por saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, al extraerlos de acuerdo al método de %A y G se determina el parámetro SARA y permitió conocer los g del compuesto/g de suelo seco, valores que se muestran en las Tablas 36,37,38 y 39, respectivamente.

Tabla 36. g saturados/g muestra seca

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0 a	0 a	0 a	0 a
T1: S + EC	0,0106 c	0,0062 b	0,0104 b	0,0070 b
T2: S + EC+ F	0,0041 ab	0,0088 c	0,0098 b	0,0030 ab
T3: S + EC+ AO	0,0074 bc	0,0150 d	0,0180 c	0,0030 ab
T4: S + EC + F + AO	0,0578 d	0,0392 e	0,0094 b	0,0060 b
T5: S + EC+ Cal	0,0040 ab	0,0082 c	0,0061 b	0,0037 ab

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Aunque los valores no muestran una tendencia muy clara de cómo los compuestos saturados se comportan en el tiempo, vemos que todos disminuyen a los 120 días de muestreo, debido a su carácter biodegradable que permite su descomposición por medio de los microorganismos del suelo.

Los compuestos aromáticos aunque también son biodegradables, no muestran una disminución tan significativa como los aromáticos, más bien tienden a mantenerse en el suelo.

Tabla 37. g aromáticos/g muestra seca

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0 a	0 a	0 a	0 a
T1: S + EC	0,075 b	0,077 b	0,080 bc	0,069 bc
T2: S + EC+ F	0,078 b	0,085 b	0,093 c	0,061 b
T3: S + EC+ AO	0,115 c	0,071 b	0,098 c	0,084 c
T4: S + EC + F + AO	0,079 b	0,078 b	0,071 b	0,076 bc
T5: S + EC+ Cal	0,056 b	0,086 b	0,078 bc	0,018 a

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Los valores obtenidos de los g de resinas/g de muestra seca, muestran un ligero aumento en algunos casos significativos, el cual viene dado por la porción de saturados que se ha perdido en los diferentes tratamientos y no por alguna producción de este compuesto en el suelo.

Tabla 38. g resinas/g muestra seca

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0 a	0 a	0 a	0 a
T1: S + EC	0,096 b	0,090 b	0,081 bc	0,096 b
T2: S + EC+ F	0,079 b	0,095 b	0,067 b	0,105 bc
T3: S + EC+ AO	0,086 b	0,127 c	0,105 cd	0,131 bc
T4: S + EC + F + AO	0,103 b	0,094 b	0,126 d	0,135 c
T5: S + EC+ Cal	0,104 b	0,090 b	0,098 cd	0,138 c

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

En cuanto a los valores de asfaltenos que se encuentran en el suelo, se observa que estos no se ven alterados significativamente al transcurrir los días de estudio en cada tratamiento. Las posibles variaciones encontradas en estos dos últimos compuestos pueden deberse a la falta de homogeneidad en las mezclas realizadas inicialmente.

Tabla 39. g asfaltenos/g muestra seca

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	0 a	0 a	0 a	0 a
T1: S + EC	0,038 b	0,030 bc	0,030 bc	0,028 b
T2: S + EC+ F	0,043 b	0,027 b	0,034 bc	0,035 b
T3: S + EC+ AO	0,041 b	0,026 b	0,038 c	0,033 b
T4: S + EC + F + AO	0,045 b	0,037 c	0,029 b	0,030 b
T5: S + EC+ Cal	0,040 b	0,031 bc	0,031 bc	0,029 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

3.2.3 Parámetros bioquímicos

a. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH)

La aplicación de las enmiendas orgánicas y fertilizantes inorgánicos y orgánicos al suelo, proporcionan cantidades de materia orgánica que como se ha visto influyen en las diferentes propiedades físicas y químicas de este, pero también intervienen en las propiedades biológicas. En la Tabla 40, se muestran los resultados obtenidos de la determinación de la ADH.

Tabla 40. Actividad enzimática deshidrogenasa (ADH) ($\mu\text{g TFF/g}\cdot\text{d}$)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	29 \pm 6 bc	13 \pm 5 a	14 \pm 2 a	31 \pm 3 a
T1: S + EC	20 \pm 7 b	11 \pm 8 a	119 \pm 10 b	28 \pm 2 a
T2: S + EC+ F	5 \pm 2 a	2 \pm 1 a	106 \pm 20 b	33,2 \pm 0,2 a
T3: S + EC+ AO	26 \pm 5 bc	98 \pm 14 b	139 \pm 19 bc	87,6 \pm 0,7 c
T4: S + EC + F + AO	35 \pm 9 c	98 \pm 5 b	163 \pm 11 c	89 \pm 4 c
T5: S + EC+ Cal	16 \pm 7 ab	11 \pm 6 a	231,6 \pm 0,6 d	48 \pm 2 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 00,5$)

En esta tabla se observa que en el tiempo de 0 días, los tratamientos T2 y T4 muestran cambios significativos. En el primero se observa una gran disminución de la ADH causada por la aplicación de los fertilizante, que posiblemente, al añadir una dosis mayor del que el suelo necesitaba inhibió la actividad de los microorganismos; en el segundo se muestra un aumento de esta actividad enzimática como consecuencia de la aplicación de materia orgánica a través de las emulsiones asfálticas y del abono orgánico, los cuales tienen un mayor contenido de compuestos fácilmente biodegradables [69]. Los demás tratamientos no sufrieron cambios significativos con respecto al control.

En los días siguientes todos los tratamientos muestran una clara tendencia a aumentar significativamente su actividad deshidrogenasa con respecto al control, llegando a sus valores máximos a los 60 días de incubación. Después de este tiempo se observa como esta propiedad va disminuyendo, debido a que el aporte de nutrientes y carbono fácilmente mineralizable tiende a agotarse, por lo que la población microbiana va decreciendo hasta que finalmente muere [70].

Otros investigadores han estudiado esta propiedad en el suelo coincidiendo con los resultados obtenidos, entre ellos encontramos a Acosta y Paolini. 2005 [69] y Mederos, *et al.* 2008 [69], los cuales indican que la ADH incrementa con el uso de abonos orgánicos. También Baran *et al.* 2004 [71] investigó como la presencia de hidrocarburos, en un suelo contaminado por aceite diesel, estimuló esta actividad enzimática significativamente.

b. Respiración edáfica (CO₂)

Otra propiedad biológica que indica como las enmiendas orgánicas influyen en los microorganismos del suelo es la respiración del suelo, medido a través del CO₂, producido por la estimulación de la presencia y actividad microbiana [72]. En la Tabla 41, se muestran los valores obtenidos con los diferentes tratamientos.

Tabla 41. Producción de CO₂ (ppm)

Tratamiento	0 días	30 días	60 días	120 días
T0 (Control): S	152,1 ± 0,2 a	117 ± 31 a	81 ± 10 a	10,16 ± 0,01 a
T1: S + EC	199 ± 49 ab	139 ± 20 ab	105 ± 24 ab	127 ± 65 b
T2: S + EC+ F	403 ± 26 c	155 ± 40 ab	101 ± 27 ab	10,15 ± 0,01 a
T3: S + EC+ AO	312,5 ± 0,9 bc	226 ± 25 b	221 ± 34 c	208 ± 8 b
T4: S + EC + F + AO	291 ± 1 bc	168 ± 39 ab	149 ± 15 b	157 ± 7 b
T5: S + EC+ Cal	236 ± 48 ab	111 ± 48 a	129 ± 21 ab	134,6 ± 0,1 b

NOTA: letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$)

Estos valores reflejan como la aplicación de materia orgánica incrementa la producción de CO_2 en el suelo, de manera significativa, principalmente en los tratamientos T2, T3 y T4.

Al transcurrir el tiempo de incubación estos valores tienden a disminuir debido al consumo del material orgánico biodegradable, sin embargo se aprecia que los tratamientos que poseen las emulsiones asfálticas, con excepción del T2, impiden que la producción de CO_2 decaiga significativamente como ocurre en el T0 y el T2.

A través del análisis de componentes principales, obtenidos con el software MVSP, se pueden correlacionar los diferentes tratamientos con las propiedades del suelo, como se presenta en la Figura 10, para el tiempo 0.

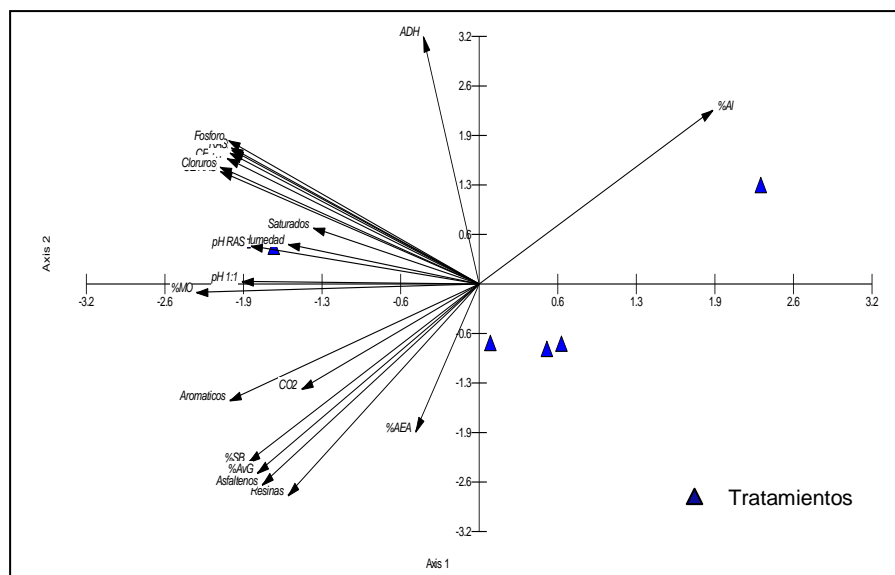


Figura 17: Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 0 días.

Esta gráfica muestra como los tratamientos se dividen en tres grupos bien definidos, observados en la Figura 11, el grupo A, que representa el T0, se diferencia de los demás por su alto %Sat. de AI y valores bajos en las demás propiedades.

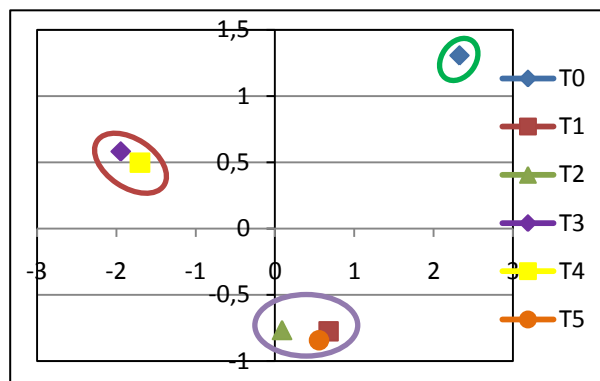


Figura 18. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 0 días por grupos.

En el grupo B, se encuentran los tratamientos T1, T2 y T5, los cuales registraron un incremento del %AEA, %A y G, %SB, su contenido de aromáticos resinas y asfaltenos y su producción de CO₂ en el suelo, diferenciándolo de los demás grupos. Y por último, el grupo C conformado por T3 y T4, diferenciados principalmente por sus altos valores de CE, RAS, CIC y altas concentraciones de fósforo y cloruros.

Para el tiempo de 30 días las gráficas, Figuras 12 y 13, vuelven a clasificar los mismos tratamientos en los tres grupos mencionados.

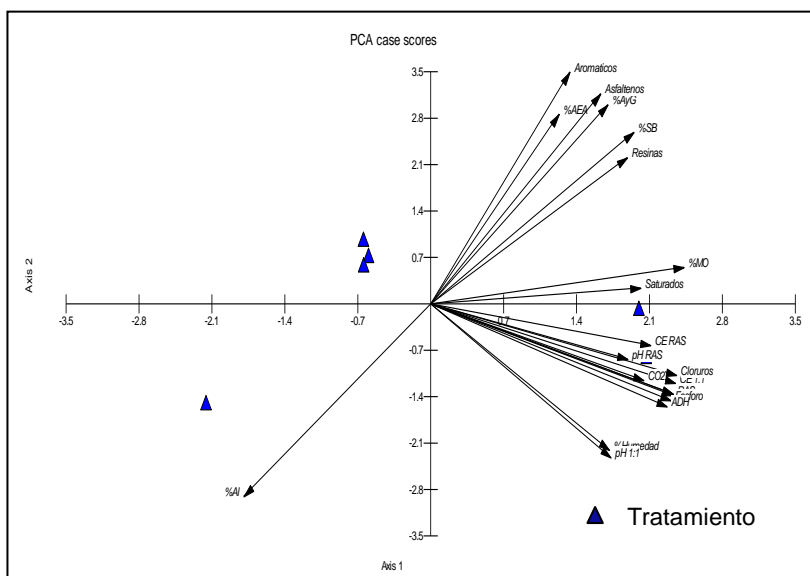


Figura 19. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 30 días.

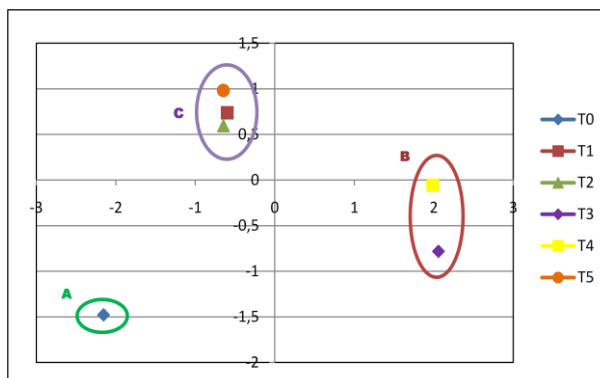


Figura 20. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 30 días por grupos.

Las diferencias que se observan en este tiempo es la propiedad de ADH, la cual aumentó de una manera más significativa para el grupo B, en el cual el T4 se desplaza hacia el eje X alejándose del T3, por una disminución en el pH método 1:1 y el % de humedad.

Las Figuras 20 y 21, representan el análisis de componentes al tiempo de 60 días

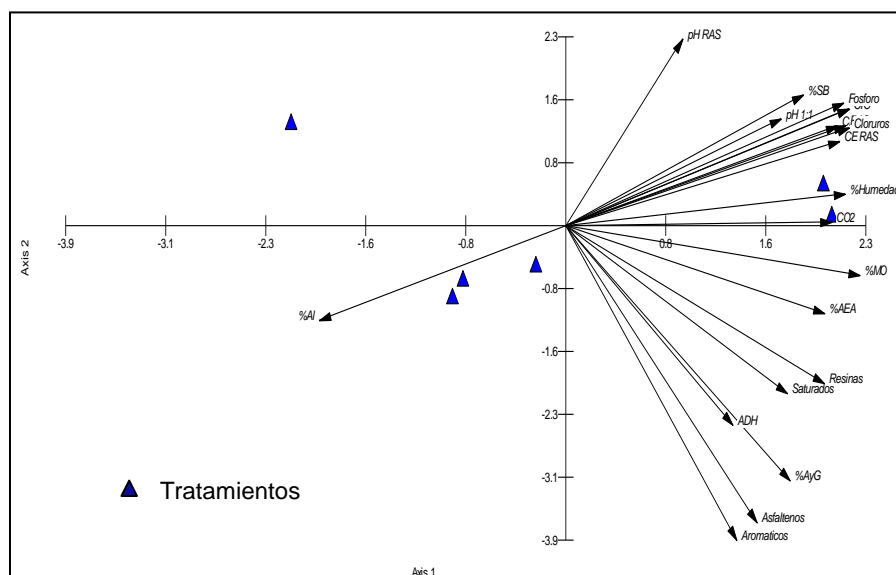


Figura 21. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 60 días.

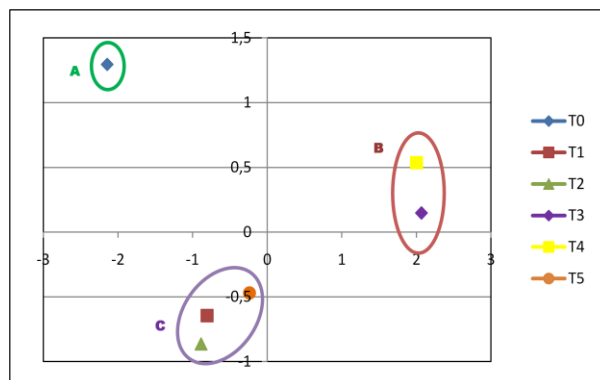


Figura 22. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 60 días por grupos.

Para este tiempo, se muestra que el %Sat. de Al registra un pequeño aumento en los tratamientos pertenecientes al grupo C, disminuyendo sus valores en las demás propiedades. Los demás grupos se mantienen igual que en los tiempos anteriores.

En el tiempo de 120 días, las Figuras 22 y 23, no muestran cambios con los otros tiempos, salvo el grupo C que vuelve a registrar una ligera disminución en el %Sat. de Al, mostrando que esta propiedad registró pequeñas variaciones durante el tiempo de incubación, afectando proporcionalmente los demás parámetros.

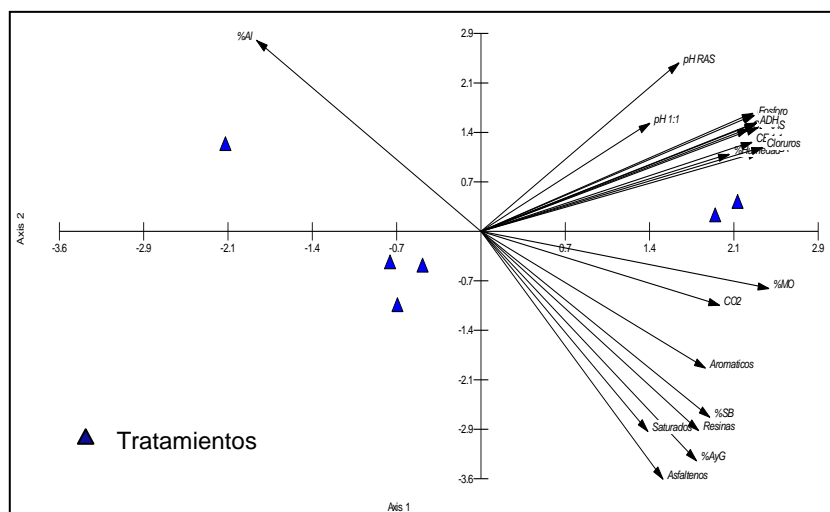


Figura 23. Gráfica de MVSP de los tratamientos en el tiempo de 120 días.

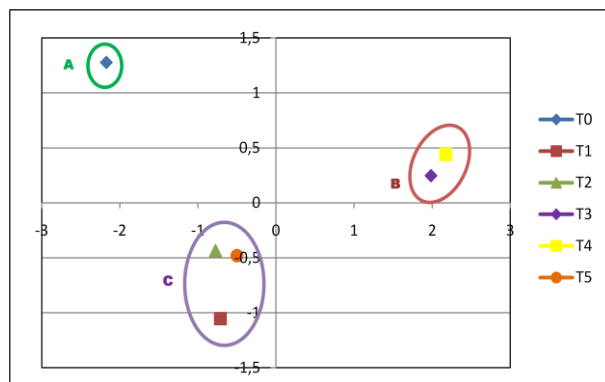


Figura 24. Gráfica de los tratamientos en el tiempo de 120 días por grupos

En las Figuras N° 24 y 25 siguientes se muestra el análisis de componentes principales con todos los tratamientos durante los cuatro tiempos de incubación, el cual una vez más diferencia los tres grupos mostrados en las gráficas para cada uno de los tiempos.

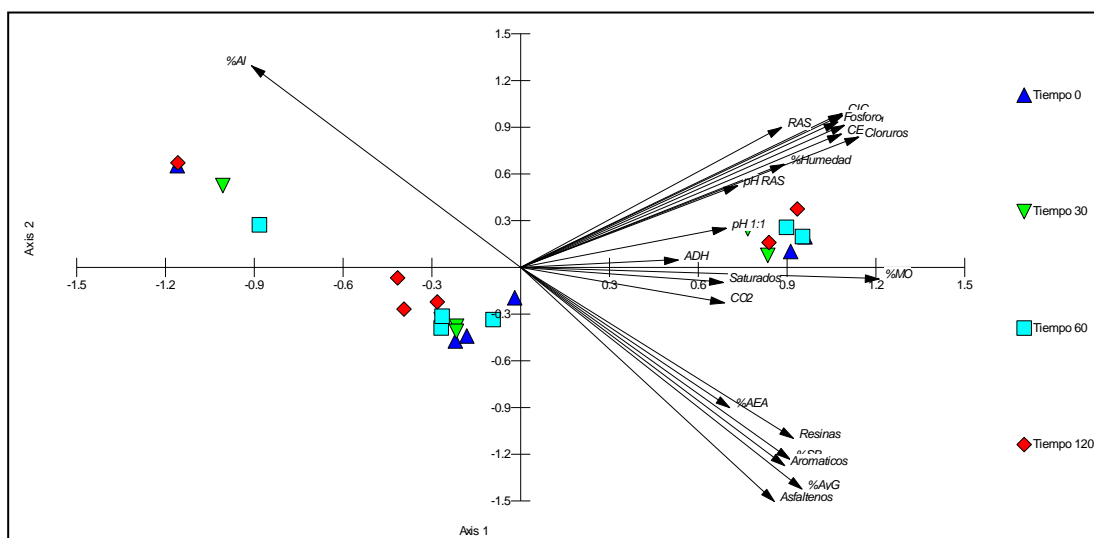


Figura 25. Gráfica de MVSP de todos los tratamientos

Estos grupos están bien diferenciados por dos propiedades notables en la gráfica el %Sat. de AI, divide el grupo A por su alto valor y el %MO, que divide el grupo B y C, el primero muestra un mayor %MO coincidiendo que son los tratamientos en los que se

uso las emulsiones asfálticas y el abono orgánico. El grupo C, posee un menor valor de esta propiedad por ello se diferencia de los demás.

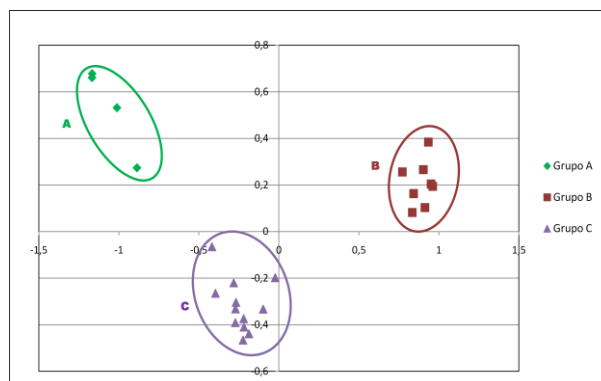


Figura 26. Gráfica de todos los tratamientos por grupos.

3.3 Análisis de aguas lixiviadas

Las diferentes propiedades determinadas de las aguas lixiviadas de los tratamientos estudiados se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42. Propiedades de las aguas lixiviadas

Tratamiento	pH	CE (mS/cm)	RAS	Turbidez (NTU)	AyG (mg/L)	Metales lixiviados (ppm)					
						Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Níquel	Plata
T0 (Control): S	6,21	1,980	0,61	191,8	0,00	0,05	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
T1: S + EC	6,49	0,325	0,48	5,6	8,57	0,07	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05
T2: S + EC+ F	6,77	0,379	0,49	60,4	1,86	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
T3: S + EC+ AO	7,70	1,720	2,27	59,4	430,57	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
T4: S + EC + F + AO	7,51	1,992	3,61	70,6	205,86	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
T5: S + EC+ Cal	7,45	1,837	0,60	4,8	9,43	0,10	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05

En la Tabla 43 se muestran los valores límites de pueden presentar las aguas que son descargadas de forma directa o indirecta en ríos, lagos, estuarios y embalses, según el decreto N° 883, en el artículo 18 [72].

Tabla 43. Valores límites de las propiedades de las aguas lixiviadas

pH	AyG (mg/L)	Metales lixiviados (ppm)					
		Bario	Cadmio	Cromo	Plomo	Níquel	Plata
6 - 9	20	5	0,2	2	0,5	2	0,1

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de las emulsiones asfálticas a los tratamientos provoca ligeros cambios en el pH en las aguas lixiviadas del suelo, como es el caso del T1 y T2. Los demás tratamientos T3, T4 y T5, reportaron un incremento de esta propiedad con valores superiores a los 7,5, demostrando que la aplicación de los fertilizantes orgánicos y la cal agrícola ejercen una influencia en la solución del suelo, pues neutralizan el aluminio intercambiable y elevan el pH [1].

Según los límites de pH, observamos que todos los tratamientos, cumplen con la norma para el control de la calidad de los cuerpos de agua, pues se encuentran dentro de los valores permitidos [72].

La conductividad eléctrica también se ve afectada con los tratamientos realizados al suelo, de esta manera vemos que para los tratamientos T1 y T2 la CE disminuye significativamente con respecto al control, demostrando que estos reducen la lixiviación de las sales del suelo. Con los tratamientos T3, T4 y T5 las aguas lixiviadas poseen valores similares a los presentados por el T0, demostrando que las emulsiones asfálticas también muestran un efecto positivo, no obstante de la entrada de grandes cantidades de sales a la solución del suelo por medio de los fertilizantes orgánicos y la cal agrícola, la pérdida de estas no es tan significativa. Según el decreto ya mencionado (artículo 10) todos los lixiviados de estos tratamientos son considerados aguas de muy buena calidad, pues tienen una CE < 2,5 mS/cm.

En el análisis de RAS realizado, se nota un incremento de este parámetro en el T3 y T4 indicando que la cantidad de sodio es mayor en estos tratamientos que en los del control y los otros restantes, los cuales estos últimos no muestran grandes cambios.

La turbidez de las aguas lixiviadas se miden en unidades de NTU (Unidad Nefelométrica de turbidez), estos resultados muestran una disminución significativa con los tratamientos T1 y T5 indicando que las emulsiones asfálticas ayudan a disminuir la cantidad de sedimentos arrastrados por el agua, por ello presentan muy poca cantidad de partículas suspendidas. Los tratamientos T2, T3 y T4, también disminuyen su turbidez en comparación con T0, mostrando que los valores que estos reportan vienen dados más por la influencia de los fertilizantes aplicados que generan partículas suspendidas en el suelo, lo que se demuestra con su apariencia turbia y de color marrón provenientes de la gallinaza, en el caso del T3 y T4 [73]. Las aguas de todos los tratamientos pueden ser clasificadas como aguas de buena calidad por poseer una turbidez < 250 NTU, según el decreto N° 883 [72].

En cuanto al valor de A y G (mg/L) en las aguas lixiviadas aumentan con la adición de la emulsión asfáltica, lo cual se refleja en los valores obtenidos de los tratamientos diferentes al control. Los mayores valores fueron obtenidos con los T3 y T4, reflejando que la gallinaza aporta compuestos aceites y grasos, que tienden a ser arrastrados por el agua. Sin embargo, los valores de estos últimos dos tratamientos no cumplen con el límite reportado en la Tabla 43, considerándose aguas contaminantes para el medio ambiente [72].

Los metales determinados en todos los tratamientos no mostraron cambios en sus valores de esta manera, las aguas lixiviadas en todos los tratamientos cumplen con los valores límites indicados en la Tabla 43.

G. CONCLUSIONES

- La emulsión asfáltica que mostró cambios significativos en las propiedades del suelo fue la emulsión catiónica en sus mayores dosis, evidenciado por los parámetros de %AEA y ADH.
- Las emulsiones asfálticas catiónicas con el aporte de cantidades de materia orgánica los ejercen cambios evidentes en las propiedades físicas, incrementando el %AEA y las propiedades biológicas del suelo, que a su vez impulsa la actividad enzimática microbiana (ADH) y la liberación del CO₂, sin embargo no refleja cambios significativos en las propiedades químicas durante los 120 días de investigación.
- La combinación de los fertilizantes con las emulsiones asfálticas en los tratamientos T3 y T4, elevaron los valores de %AEA y la retención de agua en el suelo, por el contenido de material seco que se añade al suelo a través del abono orgánico, el cual aporta grandes cantidades de cationes básicos, que incrementan la CIC y disminuyen el %Sat. de Al y de nutrientes, que aumentan las concentraciones de cloro y fósforo de manera significativa.
- La cal agrícola usada como enmienda orgánica junto con las emulsiones asfálticas incrementó el %AEA gracias al aporte de iones de calcio que aumenta la estabilidad de los agregados, la CIC y el %SB.
- El estudio de las aguas lixiviadas, indicó que las emulsiones asfálticas redujeron la lixiviación de las sales y el arrastre de sedimentos, evidenciado por la disminución de la CE y la turbidez, respectivamente. Los aceites y grasas de todos los tratamientos aumentaron con respecto al control, sin embargo el T3 y T4 excedió

los límites de contaminación sugeridos en el artículo 18 del decreto 883, de las descargas de cuerpos de agua.

H. RECOMENDACIONES

- Repetir la experiencia dividiendo la metodología experimental en varias partes: comparar los efectos entre la emulsión aniónica y catiónica en el suelo, determinar la mejor dosis, conocer el efecto de las emulsiones asfálticas en el suelo, realizar comparaciones usando las emulsiones asfálticas con fertilizantes y sin él, con abonos orgánicos y con cal para una mayor profundización de los aspectos de interés.
- Usar suelos de sabana mucho más ácido, que tenga un pH entre 4,5 y 5,5.
- Una vez realizada las mezclas de emulsión asfáltica – suelo fertilizado o sin fertilizar no separar las réplicas en envases distintos, de manera de que se pueda conservar las mismas condiciones en toda la muestra.
- Preparar las muestras de diferentes tratamientos el mismo día, para que estén sometidos a los mismos niveles de evaporación.
- Para el estudio del % de humedad no llevar las muestras a las condiciones iniciales de humedad, sino establecer un volumen de agua como riego para todas las muestras.

I. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Casanova, E.** 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. UCV. Caracas, Venezuela. 482 pág.
- [2] **López-Hernandez, D. y A. Ojeda.** 1996. Alternativas en el manejo de los suelos de las sabanas del norte de Suramérica. *Ecotrópicos*.9 (2): 101-117.
- [3] **UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA).** 2006. Soil Survey Staff, Keys to Soil Taxonomy, 10th edition. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- [4] **Brady, N. y R. Weil.** 1999. The Nature and Properties of Soils. Twelfth Edition. New Jersey, USA. Capítulos 1,7 y 10.
- [5] **Tarbuck, E. y F. Lutgens.** 2005. Ciencias de la Tierra. Editorial Pearson Prentice Hall. Octava edición. Madrid, España. 186-191 pág.
- [6] **Miller, R. y D. Gardiner.** 2001. Soil in our Environment. Editorial Prentice Hall. 9th edición. New Jersey, USA. Capítulos 1,7 y 8.
- [7] **Díaz, N.** 2005. Transformación de fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana tratado con enmiendas orgánicas. Tesis de grado. Facultad de Ciencias. UCV. Caracas, Venezuela.
- [8] Fertilizantes orgánicos: ayudan al desarrollo de cultivos y plantas sin efectos secundarios. <http://www.jardinyplantas.com/suelos-y-fertilizantes/fertilizantes-organicos.html>. Último día de consulta: 30/10/08.
- [9] **Singer, M. y D. Munns.** 1999. Soils an Introduction. Editorial Prentice Hall. Fourth Edition. New Jersey, USA. Capítulos 1, 2, 3, 8 y 11.
- [10] **Steubing, L, R. Godoy y M. Alberdy.** 2002. Métodos de ecología vegetal. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile, Chile. Capítulo 3.
- [11] Programa de edafología primer curso de ciencias ambientales. Área de edafología y química agrícola, facultad de ciencias. Lección 4 y 5. <http://www.unex.es/edafo/CAEdProgTeor.html>. Último día de consulta: 02/09/2009.
- [12] **Edwards, A y Bremner, J.** Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*1967, 18. 64 -73.

- [13] **Tisdall, J. y Oades, J.** Organic matter and wáter-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci*, 1982, 33. 141 - 163.
- [14] **Tate, R.** 1995. *Soil microbiology*. John wiley & Sons, New York.
- [15] **Cuevas, J., J. Dörner y A. Ellies.** 2004. Elementos de gísica y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 4 (2). 1 - 13. Termuco - Chile.
- [16] **Foth, H.** 1990. *Fundamentals of Soil Science*. Editorial John Wiley & Sons. Eighth Edition. USA. 28-34 y 165-169 pág.
- [17] **Feuchter, F.** 2000. *Recuperación de suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- [18] **Finck, A.** 1988. *Fertilizantes y fertilización: Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Editorial Reverté. 13 – 18 y 43pág.
- [19] *Abonos y Fertilizantes I. Generalidades y Fabricación*. http://www.canalsocial.net/GER/ficha_GER.asp?id=10366&cat=quimica. Último día de consulta el 03/11/08.
- [20] **Gear, A.** 1993. *Abonos Verdes*. Revista La Era Agrícola # 16. Marzo – Abril. Mérida, Venezuela.
- [21] **Rodríguez, R., V. Castaño y M. Martínez.** 2001. *Emulsiones asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte. Sefandila, Querétano, México. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Documento Técnico No. 23.
- [22] *Los fertilizantes y su uso*. FAO. Cuarta edición Roma, 1965. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>. Último día de consulta: 02/09/09.
- [23] **Rivera, G.** 1987. *Emulsiones Asfálticas*. Representaciones y Servicios de Ingeniero, S.A. 3era Edición. México. 1-19 pág.
- [24] **Martín, I.** 1989. *Aplicación de emulsiones asfálticas en Venezuela*. Trabajo especial de graso. Universidad Politécnica de las Fuerzas Armadas Nacionales. Maracay, Venezuela.

- [25] **Voets, J., M. Meerschman y W. Verstraete.** 1973. Microbiological and biochemical effects of the application of bituminous emulsions as soil conditioners. *Plant and Soil*. 39: 433-436,
- [26] **Pla, I., D. Lobo y A. Florentino.** 1984. Uso de emulsiones de asfalto para incrementar la productividad de sorgo en un Alfisol franco-arenoso de los llanos ondulados del norte del estados Guárico – Sector Chaguaramas. *Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, Venezuela.*
- [27] **Lobo, D., I. Pla y A. Florentino.** 1983. Uso de emulsiones de asfalto para incrementar y regular la productividad de maní en un Ultisol arenoso de la mesa de Guanipa. *Agronomía Tropical*. 34(1-3): 43-48. Maracay, Venezuela.
- [28] **Jiuzhi, W y W. Bongtong.** 1985. Effects of Bitumen Emulsion on Soil Physicals Properties. *Colloquium on Energy Flux at the Soil Atmosphere Interface. ICTF-IAEA-UNESCO. Trieste (Italia).*
- [29] **Salem, N., M. Verloo y M. de Boodt.** 1985. Effects of bituminous emulsions on retention and release of some chemical elements in two soil samples. *Elsevier Sciences Publishers B.V. Amsterdam, Holland. Geoderma*. 35:241-249.
- [30] **Frede, H. G., D. Lütkemöller, A. Genead y H. Neuruer.** 1994. Effects of bituminous mulch on soil structure and on evaporation control in soils of arid regions. *Soil Technology*. 7: 47-55.
- [31] **Fortún, C y A. Fortún.** 2005. Quantification of Soils Aggregates Treated with Bitumenous Emulsions and Other Organic Amendments by Using scanning Electron Microscope. *Arid Land Research and Management*. 19: 183-195.
- [32] **Rodríguez, M. y U. Manrique.** 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. *Agronomía Tropical*. 48 (2): 157 - 174.
- [33] Formación, Mesa. <http://www.pdvsa.com/lexico/m40w.htm>. Última día de consulta: 11/10/09.
- [34] Alcaldía del Municipio Santa Bárbara. <http://www.monagas.gob.ve/index.php?option>

=com_content&view=article&id=79&Itemid=59. Última día de consulta: 11/10/09.

[35] **Coplanarh**, 1974. Inventario nacional de tierras centro oriental. Publicación 35. Caracas.

[36] **FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP)**. 1990. Estudio Agropecuario del Campo Experimental Santa Bárbara – estaso Monagas. Estación Experimental Monagas. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Zona 12. Maturín. Edo. Monagas, Venezuela.

[37] **Colombo, P.** 2002. La Fitorremediación como método natural de disminución de hidrocarburos en suelos de Santa Bárbara (Estado Monagas). Tesis de Magister de Ingeniería Ambiental. UCAB. Caracas, Venezuela.

[38] **Ojeda, A.** 1995. Transformación del fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana, sometido a distintas alternativas de manejo agroecológico. Tesis doctoral, UCV. Caracas. Pág. 23.

[39] Urea. <http://www.textoscientificos.com/quimica/urea>. Último día de consulta: 26/10/08.

[40] El llanero 12 24 12. Fertilizantes. Pequiven Petroquímica de Venezuela, S. A. http://www.pequiven.com/pqv_new/elllanero.pdf. Último día de consulta: 02/09/09.

[41] **Estrada, M.** 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de investigación. Vol 2. No.1. 43 – 48.

[42] **Lazcano-Ferrat, I.** Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos. [http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/\\$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf). Último día de consulta: 25/08/09.

[43] **ENVIRONMENTAL PROTECTION (EPA 1311)**. Julio, 1992. TCLP. Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad.

[44] **Skoog, D., D. West, F. Holler y S. Crouch.** 2005. Fundamentos de química analítica. Octava edición. Editorial Thomson. Pág. 855 – 860.

[45] **UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)**. Agosto, 1999. Guía para la Evaluación de la calidad y Salud del Suelo.

- [46] **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (ISO 11465).** 1993. Determinación del peso seco y del contenido de agua en masa.
- [47] **NORMA IRAM-SAGPyA 29571-1.** Marzo 2007. Determinación de materia orgánica en suelos.
- [48] **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA 9045C).** 1980. Método de medición del pH.
- [49] **AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.** 1992b. Standard Method of the examination of Water or Wastewater (SMEWW 2520A). Medición de Conductividad Eléctrica y Salinidad. Washinton, D.C.
- [50] **Martínez, C., I. Herrera y M. Vega.** 2003. Determinación de cloruros. Comisión municipal de agua potable y alcantarillado de la zona conurbada de la desembocadura del río Panuco en el estado de Tamaulipas. México.
- [51] **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM 4500).** 1988, Medición de cloruros.
- [52] **Brito, G., I. López y Pérez.** Manual de métodos y procedimientos de referencia. Escuela de Agronomía. UCLA. Serie N°26. Maracay, Venezuela.
- [53] **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA 3052).** 1995. Método de medición de metales pesados y no pesados.
- [54] **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA 3540).** Septiembre 1994. Método de extracción Soxhlet para medición de grasa y aceites.
- [55] Wauquier, J. 2004. El refinado del petróleo. Ediciones Díaz de Santos. Madrid – España. Pág. 82.
- [56] **Casida, L. Jr., D. Klein y T. Santoro.** 1964. Soil dehydrogenase activity. Soil Sci. 98:371-376.
- [57] **Alef, K. y Nannipieri, P.** 1995. Methods in applied Soil Micrology and Biochemistry. Academic Preess. Inglaterra. Harcart Brace & Company Publishers.
- [58] **Paolini, J.** 2002. Determinación de la biomasa microbiana por el método de la respiración inducida por sustrato, 278h. Caracas, Venezuela.

- [59] **Lobo, D. y R. Vivas.** 1995. Efectos de la erosión simulada y manejo de residuos sobre la productividad de un alfisol del estado Guárico, bajo cultivos de sorgo (*Sorghum bicolor*). Revista VENESUELOS 3(1): 17-24
- [60] **Gaceta Oficial Nº 5.245. Decreto Nº 2.635 (2002).** Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Artículo 50.
- [61] **Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista de la facultad de agronomía UCV. No. 32. 38 – 40. Maracay – Venezuela.
- [62] **Ramos, E. y Zúñiga, D.** 2008. Efecto de la humedad temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecología aplicada 7(1,2). 123- 130. Lima, Perú.
- [63] Factores que afectan la formación de agregados. <http://sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/18hoja.html>. Último día de consulta: 29/08/09.
- [64] **Oades, J.** 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implication for management. Plantand Soil 76: 319 – 337.
- [65] **Pla, I y G. Campero,** 1971. Algunas propiedades estructurales de suelos de los llanos altos occidentales de Venezuela y su relación con ciertas características. Agronomía Tropical 21 (5): 433 – 447. Maracay – Venezuela.
- [66] **Rivero, C. y J. Paolini.** Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. Revista VENEZUELOS 2(1): 19-25.
- [67] Contenido de nutrientes minerales del suelo. <http://articulos.infojardin.com/articulos/Nutrientes.htm>. Último día de visita: 24/09/09.
- [68] **Navarro, S. y G. Navarro,** 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-Prensa libros. Segunda edición 413 - 416 págs.

- [69] **Acosta, Y. y J. Paolini**, 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agronomía Tropical* v.55 n. 2. Maracay – Venezuela.
- [70] **Mederos, A., F. Bastidas y otros**, 2008. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades bioquímicas y microbiológicas del suelo. Murcia – España.
- [71] **Baran, J., E. Bieli y P. Oleszczuk**, 2004. Enzymatic activity in an Airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Geoderma* 118: 221 – 232.
- [72] **Gaceta Oficial N° 4.418. Decreto N° 883 (2005)**. Normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua. Artículos 10 y 18.
- [73] Turbidez. <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>. Último día de visita: 27/09/09.

J. Anexos

Equipos empleados.

- **Balanzas**



Modelo: Mettler Toledo PE 24
Sensibilidad $\pm 1\text{g}$



Modelo: Mettler Toledo PM3000
Sensibilidad $\pm 0,01\text{g}$

- **Balanzas analíticas**



Modelo: Mettler Toledo AB204-S
Sensibilidad $\pm 0,1\text{mg}$



Modelo: Mettler Toledo AT201
Sensibilidad $\pm 0,1\text{mg}$

- **Balanza de humedad**



Modelo: Mettler Toledo LJ16

Sensibilidad $\pm 0,01\%$

- **pHmetro y conductímetro**



pHmetro Brinkmann

Modelo: Metrohm 691

Exactitud $\pm 0,01$



Conductímetro Thermo SCIENTIFIC

Modelo: Orion 5 star

Sensibilidad $\pm 0,001 \mu\text{S/cm}$

- **Turbidímetro**



Hach portable turbidity

Modelo: 2100P

Rango de medición: 0 a 100 NTU

Sensibilidad $\pm 0,01$ NTU

- **Pistola de secado para %AEA**



Master mite
Modelo: 10008

- **Estufas**



1600 Hafo Series
Modelo: VWR 1670



GS Blue M. Electric
Modelo: 146 size Oven

- **Mufla y microondas**



Mufla Fisher Scientific



Microondas Mars Xpress
Modelo: hp 8452A

- **Espectrofotómetro UV-Visible**



Hewlett Packard

Modelo: 8452A

Rango: 190 – 820 nm

- **Agitador para metales totales**



- **Aparato Soxhelt**

