TESIS
IA2002
C6

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO.
DIRECCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO.
ÁREA DE INGENIERÍA.
POSTGRADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL.

LA FITORREMEDIACIÓN COMO MÉTODO NATURAL DE DISMINUCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELOS DE SANTA BÁRBARA (ESTADO MONAGAS).

Trabajo de grado para la Maestría de Ingeniería Ambiental,
presentado al Postgrado de Ingeniería Ambiental
por el estudiante Ingeniero Pedro P. Colombo O.

CARACAS, 2002.

"La fitorremediación como método natural de disminución de hidrocarburos en suelos de Santa Bárbara (Estado Monagas)".

COLOMBO O. PEDRO P.

TRABAJO DE GRADO SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LAS COMISIONES DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS DEL POSTGRADO DE INGENIERÍA AMBIENTAL COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAGÍSTER SCIENTIARUM.

Universidad Católica Andrés Bello.
Dirección general de los estudios de Postgrado.
Área de ingeniería.
Postgrado en Ingeniería Ambiental.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO.
Dirección general de los estudios de Postgrado.
Área de ingeniería.
Postgrado en Ingeniería Ambiental.
Caracas.

VEREDICTO.

Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por la Dirección general de los Estudios de Postgrado en el Área de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello, para evaluar el Trabajo de Grado Titulado:

"LA FITORREMEDIACIÓN COMO MÉTODO NATURAL DE DISMINUCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELOS DE SANTA BÁRBARA (ESTADO MONAGAS)".

Presentado por el Ing. Agr. COLOMBO O. PEDRO P, Cedula de identidad V-11.036872, quien cumple asi el requisito legal para optar al titulo de Magister Scientiarum, del Postgrado de Ingenieria Ambiental, ha su defensa pública el dia 10 de Mayo de 2.002, a la 2:00 PM. En el aula P1-1 del Edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello Caracas, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le formulamos. Decidimos aprobarle porque:

1. *Adiciona información de los primeros pasos en la utilización de la Fitorremediación como método natural de tolerar y/o disminuir las gasas y aceites en ripios de perforación en el suelo.*
2. *Genera información original y reciente de las posibles potencialidades de las gramineas en la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en ripios de perforación en el suelo.*

En Caracas, a los diez dias del mes de Mayo de dos mil dos.

Luis Sánchez	*Gisela Sánchez*	*Pedro Garcia*
Jurado	*Tutor*	*Jurado*

DEDICATORIA.

A mi madre Rosa Josefina Ocando de Colombo (†) y Padre David Hernán Colombo (†), que dios desde donde estén bendiga sus almas por la dicha de haber sido su hijo.

A mis hermanos: María Eugenia.
Elsa Cristina.
David Hernán.
Virginia Elizabet.
Miguel Fernando.

A mi cuñada: Helena Lobo de Colombo.

A mis sobrinos: Mariel Cristina.
Daniel Jesús.
Madelei Virginia.
Andreina Piedad.
Hernán José.
David Alejandro.
Paulo José.

A mis compadres: María Soledad y Ramón Alfonso.

A mi ahijada: María Antonieta.

A mis Amigos.

AGRADECIMIENTO.

Gracias de nuevo a Dios y a la Virgen Milagrosa, por haberme darme la firmeza para realizar esta segunda meta de mi vida.

A la empresa PDVSA-INTEVEP, por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.

A la Lic. Ms. Gisela Sánchez, por su tutoría, profesionalismo y principalmente paciencia para poder culminar este trabajo de investigación.

Al Personal del Departamento de Ecología y Ambiente por brindarme su amistad y apoyo en momentos difíciles.

Al Ing. Luis Sánchez por toda su dedicación en el diseño experimental del presente trabajo y a la Dr. Carmen Infante en la interpretación de datos.

A la Profesora Carmen Flor, por todo su apoyo y seguimiento en la aprobación del proyecto y presentación del mismo.

A la Lic. Julia Franquiz por su amor, apoyo y dedicación durante el transcurso del Postgrado, verdaderamente, es la persona que estaré siempre agradecido.

A Julieta Ziegler del Centro de Información Tecnológica (CIT) de PDVSA-INTEVEP, por su dedicación y esmero en la búsqueda de las referencias bibliográficas.

A los Profesores Pedro García y Laila Iskandar, por su aporte en las modificaciones y aprobación del proyecto.

A mi hermano, Lic. David Colombo, por las correcciones y recomendaciones para culminar este trabajo de Maestría.

Al Dr. Miguel Gómez, Director de los Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, por toda su atención en el transcurso de la carrera.

Al Profesor José Ochoa, Coordinador del Postgrado de Ingeniería Ambiental, por su colaboración para la culminación de esta tesis.

Al Profesor César Marín compañero y amigo, por facilitar algunas referencias bibliograficas en dicho trabajo.

Al personal del laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos: Carlina López, Eddie Zorrilla, Mauro Briceño, Alexander Delgado y Gustavo Alarcón.

Al laboratorio de Toxicología Instrumental: Juan Figuera y Enrique Abreu.

Al personal administrativo de la Universidad Católica Andrés Bello: Rocio, Zoraida, Lidia, Roger y Argenis por todas las gestiones concernientes a este Postgrado.

A mis amigos: Alfonso, María Soledad, Alexander, Argelia, Nidia, Mauro, Eddie, Carlina, Enrique, Moriel, Carmen, Juan, Rodrigo, Sonia, Maria Laura, César, Camilo, Gonzalo, Adolfo, Milagros, Raycellis, Nelson, Rosmary y Ángela.

A todas las personas que directas o indirectamente estuvieron involucrados en cumplir esta meta, Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Indice de Cuadros	xi
Indice de Figuras	xiii
Resumen	xiv
Abstract	
I. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, ALCANCE Y OBJETIVOS.	
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. ALCANCE	6
III. OBJETIVOS	7
1. OBJETIVOS GENERALES	7
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS	8
1.2. GENERALIDADES EN EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS (RIPIOS)	8
1.3. TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	12
1.3.1. Fluidos Base Aceite	12
1.3.2. Fluidos Base Sintética	13
1.3.3. Fluidos Base Agua	13
1.4. NORMATIVA VENEZOLANA REFERENTE AL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS DE PERFORACIÓN (RIPIOS)	14
1.5. TIPOS DE TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN	17
1.5.1. TÉCNICAS PARA LA DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN	17
a) Esparcimiento en suelo	17
1.5.2. TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN	17
1. Bioestimulación	18
2. Bioaugmentar	18

Pág.

3. Biorremediación Enzimática..... 19
a) Esparcimiento en suelo (contenidos de grasas y aceites ≥ 1)..... 19
b) Composteros..... 20
1.6. LA FITORREMEDIACIÓN COMO TECNOLOGÍA BIOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE SÓLIDOS CON HIDROCARBUROS 20
1.6.1. Proceso de fitorremediación..... 21
1.6.2. Tipos de Fitorremediación..... 22
a) Fitotransformación..... 23
b) Biorremediación Rizósfera..... 24
c) Fitoestabilización..... 24
d) Fitoextracción..... 24
e) Rizofiltración..... 24
f) Fitovolatilización..... 25
1.6.3. Aplicación, ventajas y limitaciones de la fitorremediación..... 25
1.6.4. Fitorremediación utilizando Gramíneas y otras especies vegetales... 28
1.6.5. Efecto al incorporar hidrocarburos al suelo en el crecimiento en las especies vegetales..... 29
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.
V. MATERIALES Y MÉTODOS..... 33
1. Ubicación..... 33
1.1. Características Agroecológicas del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)..... 33
1.1.1. Geología y relieve..... 33
1.1.2. Geomorfología y suelos..... 33
1.1.4. Climatología..... 33
a) Precipitación..... 34
b) Temperatura..... 34
c) Evaporación..... 35
d) Génesis de los suelos..... 35
e) Características dominantes del suelo..... 36
f) Uso potencial y actual..... 37
2. Métodos físico-químicos..... 38
2.1. Suelo..... 38
a) Método de "Relación de Absorción de Sodio" (RAS)..... 38
b) Método de "pH"..... 38
c) Método de "Conductividad eléctrica" (CE)..... 39
d) Método de "Salinidad"..... 39
e) Método de "Cloruros" (Cl^-)..... 39
f) Método de "Aluminio Intercambiable" (%Al)..... 40
g) Método de "Bases Intercambiables" (BI)..... 40
h) Método de "Capacidad de Intercambio Catiónico" (CIC)..... 41
i) Método de "Saturación de Bases" (%SB)..... 41

Pág.

j) Método de "Humedad" (%Humedad)..... 42
k) Método "Densidad Aparente" (Da)..... 42
2.2. Ripio base aceite mineral..... 43
a) Método del " pH"..... 43
b) Método de "Conductividad eléctrica" (CE)..... 43
c) Método de "Cloruros" (Cl^-)..... 43
d) Método de "Grasas y Aceites" (GyA)..... 43
e) Método de "Metales Totales"..... 44
f) Métodos de "Metales en Lixiviados"..... 45
2.3. Mezcla suelo-ripio base aceite mineral..... 46
3. Diseño Experimental..... 46
4. Métodos Estadísticos..... 47
a) Análisis estadístico de varianza o comparación de medias (prueba: t=tukey)..... 47
b) Análisis estadístico de regresión simple..... 49
5. Experimento 1. Determinación de la concentración máxima de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento del maíz (*Zea mays*)..... 50
5.1. Diseño experimental y Tratamientos..... 50
5.2. Manejo y caracterización físico-química del suelo..... 51
5.3. Manejo y caracterización físico-química del ripio base aceite mineral..... 51
5.4. Manejo y caracterización físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral..... 52
5.5. Descripción, manejo y mediciones de la especie vegetal maíz (*Zea mays*)..... 52
a) Descripción..... 53
b) Manejo..... 53
b.1. Pregerminación del maíz (*Zea mays*)..... 53
b.2. Fertilización del maíz (*Zea mays*)..... 53
c) Mediciones y/o determinaciones..... 54
6. Experimento 2. Determinación de la tolerancia y/o disminución de aceites y grasas por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales de gramíneas (*Urochloa decumbens*)..... 55
6.1. Diseño experimental y Tratamientos..... 55
6.2. Manejo y caracterización físico-química del suelo..... 56
6.3. Manejo y caracterización físico-química del ripio base aceite mineral..... 56
6.4. Manejo y caracterización físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral..... 56
6.5. Descripción, manejo y mediciones de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*..... 56
6.5.1. Descripción..... 57
a) Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*)..... 57

Pág.
a.1. Características agronómicas..... 57
b) Pasto Estrella de Puerto Rico (*Cynodon nlemfuensis*)..... 57
b.1. Características del género..... 58
c) Manejo..... 58
1. Semillas comerciales (sexuales) de *Urochloa decumbens*..... 58
1.1. Pregerminación del Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*)... 58
2. Semillas silvestre (asexuales) de *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensi*..... 59
3. Fertilización de las especies *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*. 59
4. Mediciones y/o determinaciones. 60
CAPITULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.
VI. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 61
1. **Experimento 1.** Determinación de la concentración máxima de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento del maiz (*Zea mays*)..... 61
1.1. Composición físico-química del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas)..... 61
1.2. Composición físico-química del ripio base aceite mineral..... 62
1.3. Efectos de diferentes concentraciones de grasas y aceites en el ripio base aceite mineral sobre el crecimiento de la especie bioindicadora de maiz (*Zea mays*)..... 63
1.4. Selección de la máxima concentración de grasas y aceites para el crecimiento del maiz (*Zea mays*)..... 66
2. **Experimento 2.** Determinación de la tolerancia y/o disminución de aceites y grasas por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon*) semillas comerciales de gramineas (*Urochloa decumben*)..... 68
2.1. Efectos de la composición físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral en la disminución de la concentración de grasas y aceites a los 86 días por las gramineas seleccionadas..... 68
2.2. Efecto de la concentración de 3% de grasas y aceites en el ripio en la altura y biomasa seca total de las especies vegetales de *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre)..... 72
2.3. Balance del contenido de grasas y aceites y posibles procesos de semillas fitorremediación de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (silvestre) en la disminución de grasas y aceites en suelos..... 81
VII. CONCLUSIONES..... 86
VIII. RECOMENDACIONES..... 87
IX. GLOSARIO..... 88
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 93

ÍNDICE DE CUADROS

CUADROS		Pág.
1	Principales preocupaciones ambientales que cualquier método / tecnología debe enfrentar	11
2	Tipos de fluidos de perforación	13
3	Tipos de fitorremediación para constituyentes inorgánicos	26
4	Tipos de fitorremediación para constituyentes orgánicos	27
5	Datos Climatológicos de la Estación de Viento Fresco. (Período 1.972-1.985)	34
6	Balance hídrico del Campo Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias	35
7	Clasificación taxonómica del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas)	37
8	Características Físico-química del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas) del INIA	37
9	Tratamientos para la determinación de la máxima concentración de grasas y aceites que tolera el maíz (*Zea mays*)	51
10	Fertilización del maíz (*Zea mays*)	53
11	Tratamientos para la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*	55
12	Tratamiento y proporciones de suelo-ripio, para la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*	56
13	Fertilización para las especies *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*	59
14	Análisis Físico-químico Inicial del Suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas)	62
15	Análisis de Saturación con Bases (%SB), Bases Intercambiables (BI), Aluminio Intercambiable (%Al), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Relación de Absorción de Sodio (RAS) del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas)	62
16	Análisis Físico-químico Inicial del ripio base aceite mineral	62
17	Análisis de metales totales de los ripios base aceite mineral	63
18	Análisis de metales en el lixiviado de los ripios base aceite mineral.	63
19	Promedios de Altura, Área Foliar y Biomasa seca total de Plantas de Maíz (*Zea mays*) por tratamiento a los 40 días	64
20	Análisis Físico-químico de la Mezcla Suelo-Ripio Base Aceite Mineral por Tratamiento a los 40 días	66
21	Análisis de Varianza (t= tukey, p<0.005) de biomasa seca total por tratamientos de la planta bioindicadora de maíz (*Zea mays*)	67
22	Análisis Físico-químico final por tratamiento a los 86 días	39
23	Análisis de Saturación con Bases (%SB), Bases Intercambiables (BI), Aluminio Intercambiable (%Al), Capacidad de Intercambio	

CUADROS **Pág.**

Catiónico (CIC) y Relación de Absorción de Sodio (RAS) a los 86 días..... 68

24 Análisis de cationes en la mezcla suelo-ripio en la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales (*Urochloa decumbens*) de Gramíneas a los 86 días..... 72

25 Altura y Biomasa seca total de las especies vegetales de *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre) a los 86 días..... 72

26 Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre)..... 75

27 Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (semillas comerciales)..... 75

28 Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales *Urochloa decumbens* silvestre Vs. *Urochloa decumbens* semillas comerciales al 3% de grasas y aceites..... 76

29 Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales *Urochloa decumbens* silvestre Vs. *Urochloa decumbens* semillas comerciales (controles)..... 77

30 Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especie vegetal: *Cynodon nlemfuensis* silvestre.....

31 Promedios de disminución de grasas y aceites realizadas por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre)..... 81

32 Análisis estadístico de Varianza (t= tukey, p<0,005) de la *Urochloa* disminución cuantitativa grasas y aceites de las especies vegetales: *decumbens* (silvestre y semillas comerciales) *y Cynodon nlemfuensis* (silvestre)..... 82

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURAS **Pág.**

1	Manejo de Ripios de Perforación.....	9
2	Esquema del flujo químico del oxígeno, agua, nutrientes y compuestos químicos en la relación suelo-planta-aire.....	22
3	Tipos de Fitorremediación.....	23
4	Efectos del exceso de sales sobre la fisiología de las plantas.....	30
5	Curvas de Precipitación y Evaporación potencial, Estación Viento Fresco Período 1.972-1.985.....	36
6	Crecimiento de la planta bioindicadora de maíz (*Zea mays*) con diferentes concentraciones de grasas y aceites en ripio con suelo.....	64
7	Crecimiento de la *Urochloa decumbens* (semillas comerciales y silvestre) y *Cynodon nlemfuensis* con 0 y 3% de grasas y aceites en ripio con suelo.....	74
8	Promedios de biomasa total de plantas de *Urochloa decumbens* (Silvestre).....	78
9	Promedios de biomasa seca total de plantas de *Urochloa decumbens* (semillas comerciales).....	79
10	Promedios de biomasa seca total de plantas de *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre).....	79
11	Crecimiento del sistema radical de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (semillas comerciales y silvestre) y *Cynodon nlemfuensis* con 0 y 3% de grasas y aceites en ripio con suelo.....	83

RESUMEN.

Pensando en la necesidad de encontrar técnicas para el tratamiento de ripios de perforación en diferentes lugares de Venezuela donde se explota y produce el petróleo, se evaluó el uso de especies vegetales (fitorremediación) como método natural de disminución de hidrocarburos en suelos de Santa Bárbara, Estado Monagas. La finalidad de este trabajo de investigación, radica en realizar estudios a nivel de invernadero con especies vegetales silvestres provenientes de Santa Bárbara, con el objetivo de evaluar las posibles potencialidades de estas plantas en tolerar y/o disminuir las grasas y aceites en ripio con suelo, de manera tal de utilizar esta técnica a escala de campo y así cumplir con las exigencias estipuladas en la Normativa Venezolana en su Decreto 2.635.

El trabajo esta dividido por los siguientes capítulos: un primer capitulo que comprende el planteamiento del problema, donde se especifica la definición, justificación, alcance y los objetivos del trabajo de investigación. Un segundo capítulo, donde se realiza la revisión bibliográfica del tema de investigación, con la finalidad de conocer la generación los ripios impregnados con fluidos de perforación, así como las técnicas para la disposición y tratamiento de estos desechos propuesta por la Legislación Venezolana mediante su Decreto 2.635, publicado el 12 de Febrero de 1.998. Además, señala el proceso, tipos y estudios realizados en la fitorremediación como tecnología para la disminución de hidrocarburos en el suelo. Un tercer capítulo presenta los materiales y métodos, donde se describe el diseño experimental (tratamientos), utilización de materiales, equipos, estadística y análisis de laboratorio. Finalmente, un cuarto capítulo que señala la presentación de resultados y discusión del trabajo de investigación.

Los experimentos se realizaron entre los meses Marzo y Agosto en el Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos e invernadero de PDVSA-INTEVEP. El suelo y las especies vegetales *Urochloa decumbens* (silvestre) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre), utilizadas para estos experimentos, se recolectaron en el campo experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, ubicado en Santa Bárbara, Estado Monagas.

Así, en un primer experimento, se determinó la máxima dosis de grasas y aceites en ripio para el crecimiento del maíz (*Zea mays*) tomada como bioindicadora, utilizando recipientes con un área de 0,015 m^2 (2 Kg.) y fertilizándolos a razón de 1,54 g.N/recipiente. En un segundo experimento se evaluó la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en ripio por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre), *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre) tomando como referencia la dosis para el crecimiento de la planta bioindicadora determinada en el primer experimento; los recipientes tenían un área de 0,031 m^2 (5 Kg.) y se fertilizó a razón de 3,14 g.N/recipiente.

En el primer experimento, se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cinco repeticiones para evaluar seis tratamientos: un control con el suelo Santa Bárbara con la especie bioindicadora maíz (*Zea mays*) y cinco tratamientos con el suelo Santa Bárbara mezclado con el 1, 2 3, 4 y 5% de grasas y aceites en ripio sembrada con maíz (*Zea mays*). Para ello se partió del valor obtenido en el laboratorio de grasas y aceites (7,12%) y se mezcló el ripio con el suelo en las concentraciones antes citadas. A los 40 días de estudio

se cosecho el maiz para determinar la biomasa seca total, los resultados fueron los siguientes: el control obtuvo 168,77 mg/m^2 y del suelo mezclado con ripio al 1, 2, 3, 4 y 5%, se obtuvieron: 40,42; 32,20; 24,10; 10,69 y 0,61 mg/m^2 respectivamente. Los resultados estadísticos realizados en la biomasa seca total, presentaron diferencias altamente significativas (P<0,000001) con dosis del 1, 2 3, 4 y 5% de grasas y aceites en ripio con respecto al control. Finalmente, considerando los resultados estadisticos obtenidos en este primer experimento, a la Normativa Venezolana mediante su Decreto 2.635 y a los estudios realizados por diferentes investigadores, se consideró, el 3% de grasas y aceites en ripio como dosis máxima de tolerancia para el crecimiento de las plantas.

Una vez determinada la dosis máxima de grasas y aceites en ripio que tolera el maiz (*Zea mays*), se procedió a realizar un segundo experimento con la finalidad de evaluar la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en ripio por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre), *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre). El diseño experimental fue completamente aleatorizado con seis repeticiones, donde se evaluó siete tratamientos de la siguiente manera: cuatro controles que comprendian: suelo Santa Bárbara sembradas sin ripio con la especie vegetal *Urochloa decumbens* (silvestre), suelo Santa Bárbara sin ripio sembradas con la especie vegetal *Urochloa decumbens* (semillas comerciales), suelo Santa Bárbara sin ripio sembradas con *Cynodon nlemfuensis* (silvestre) y un control con suelo mezclado con el 3% de grasas y aceites en ripios base aceite mineral sin especie vegetal. Los tres tratamientos restantes fueron: suelo Santa Bárbara mezclado con el 3% de grasas y aceites en ripios sembrada con la especie *Urochloa decumbens* (silvestre), suelo Santa Bárbara mezclado con el 3% de grasas y aceites en ripios sembradas con la especie *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y suelo Santa Bárbara mezclado con el 3% de grasas y aceites en ripios sembradas con la especie *Cynodon nlemfuensis* (silvestre).

Las gramineas seleccionadas para este segundo experimento, fueron recolectadas en Santa Bárbara (Edo. Monagas), el criterio para la escogencia de las especies vegetales fue la dominancia y alta adaptación en las áreas donde se realiza la disposición y tratamiento de los ripios de perforación. La biomasa seca promedio de los controles a los 86 dias fueron: *Urochloa decumbens* (silvestre): 3595,60 mg/m^2, *Urochloa decumbens* (semillas comerciales): 926,61 mg/m^2 y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre): 643,52 mg/m^2 respectivamente, mientras que los tratamientos bajo el efecto del ripio impregnados con el 3% de grasas y aceites con las mismas especies vegetales obtuvieron: 348,85 mg/m^2 para la *Urochloa decumbens* (silvestre), 52,75 mg/m^2 en la *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y 254,25 mg/m^2 con *Cynodon nlemfuensis* (silvestre), presentándose diferencias altamente significativas entre los controles sin ripio y el 3% de grasas y aceites en ripios en las dos primeras especies (P<0,0534 y P<0,0097). La *Cynodon nlemfuensis* (silvestre), por su parte, no tuvo diferencias significativas entre el control y el 3% de grasas y aceites en ripio (P<0,2784).

Se realizaron análisis en el laboratorio y estadísticos para observar la disminución de grasas y aceites en cada recipiente, indicando que no hubo diferencias significativas (P<0,3786) entre las especies vegetales *Urochloa decumbens* (silvestre), *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre) a los 86 días del estudio. Se puede concluir entonces, que la concentración máxima de grasas y aceites

minerales en ripio con suelo que tolera la especie vegetal bioindicadora maiz (*Zea mays*) y Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre, es del 3%, siendo la dosis límite para su crecimiento. Al incorporar concentraciones del 1 hasta 5% de grasas y aceites al suelo, se produce altas restricciones de crecimientos en todas las especies estudiadas con respecto al tratamiento control (sin ripio), siendo la relación de absorción de Sodio (RAS), el pH y conductividad eléctrica (CE), los que restringen considerablemente en el rendimiento de estos cultivos. Además de esto, las posibles disminuciones cuantitativas de grasas y aceites encontradas con las especies vegetales: Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*) silvestre y semillas comerciales y Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre no son representativas a los 86 días, siendo un tiempo muy corto para tener respuestas satisfactorias.

Finalmente el uso de la fitorremediación como método natural de disminución en el suelo es muy reciente, siendo este trabajo de investigación, los primeros pasos para realizar investigaciones posteriores con otras especies vegetales autóctonas o introducidas, para evaluar las posibles disminuciones de grasas y aceites en ripios.

ABSTRACT.

Thinking of the necessity of finding technical for the treatment of perforation drill cuttings in different places of Venezuela where you explodes and it produces the petroleum, the use of vegetable species was evaluated (phytorremediation) natural method of decrease of hydrocarbons in floors of Santa Bárbara, State Monagas. The purpose of this investigation work, resides in carrying out studies at hothouse level with wild vegetable species coming from Santa Bárbara, with the objective of evaluating the possible potentialities of these plants in to tolerate and/or to diminish the fats and oils in drill cuttings with floor, in a such way of using this technique to field scale and this way to fulfill the demands specified in the Normative Venezuelan in its Ordinance 2.635.

The work this divided by the following chapters: a first chapter that understands the position of the problem, where you specific the definition, justification, reach and the objectives of the investigation work. A second chapter, where is carried out the bibliographical revision of the investigation topic, with the purpose of knowing the generation the rubbles impregnated with perforation fluids, as well as the techniques for the disposition and treatment of these waste proposed by the Venezuelan Legislation by means of their Ordinance 2.635, published February 12 1.998. Also, it points out the process, types and studies carried out in the phytorremediation like technology for the decrease of hydrocarbons in the floor. A third chapter presents the materials and methods, where the experimental design is described (treatments), use of materials, teams, statistic and laboratory analysis. Finally, a fourth chapter that points out the presentation of results and discussion of the investigation work.

The experiments were carried out among the months March and August in the Laboratory of Tratabilidad of Solid Waste and hothouse of PDVSA-INTEVEP. The floor and the vegetable species *Urochloa decumbens* (wild) and *Cynodon nlemfuensis* (wild), used for these experiments, they were gathered in the experimental field of the Institute of Agricultural Investigations, located in Santa Bárbara, State Monagas.

This way, in a first experiment, the maximum dose was determined of oil and grease in drill cuttings for the growth of the corn (*Zea mays*) taken as bioindicadora, using recipients with an area of 0,015 m^2 (2 Kg) and fertilizing them to reason of 1,54 g.N/recipient. In a second experiment it was evaluated the tolerance and/or decrease of oil and grease in drill cuttings for the vegetable species: *Urochloa decumbens* (wild), *Urochloa decumbens* (commercial seeds) and *Cynodon nlemfuensis* (wild) taking like reference the dose for the growth of the plant bioindicadora determined in the first experiment; the recipients had an area of 0,031 m^2 (5 Kg) and it was fertilized to reason of 3,14 g.N/recipient.

In the first experiment, an experimental design was used totally randomized with five repetitions to evaluate six treatments: a control with the floor Santa Bárbara with the species indicative corn (*Zea mays*) and five treatments with the floor Santa Bárbara mixed with the 1, 2 3, 4 and 5% of oil and grease in drill cuttings sowed with corn (*Zea mays*). For it left it of the value obtained in the laboratory of oil and grease (7,12%) and mixed the rubble with the floor in the concentrations before mentioned. To the 40 days of study you harvests the corn to determine the total dry biomass, the results were the following ones: the control obtained 168,77 mg/m^2 and of the blended floor with drill cuttings at the 1, 2, 3, 4 and 5%, they were obtained: 40,42; 32,20; 24,10; 10,69 and

0,61 mg/m^2 respectively. The statistical results carried out in the total dry biomass, presented highly significant differences (P <0,000001) with dose of the 1, 2 3, 4 and 5% of oil and grease in drill cuttings with regard to the control. Finally, considering the statistical results obtained in this first experiment, to the Normative Venezuelan by means of their Ordinance 2.635 and to the studies carried out by different investigators, it was considered, 3% of oil and grease in drill cuttings like maximum dose of tolerance for the growth of the plants.

Once certain the maximum dose of oil and grease in drill cuttings that tolerates the corn (*Zea mays*), you proceeded to carry out a second experiment with the purpose of evaluating the tolerance and/or decrease of oil and grease in drill cuttings for the vegetable species: *Urochloa decumbens* (wild), *Urochloa decumbens* (commercial seeds) and *Cynodon nlemfuensis* (wild). The experimental design was totally randomized with six repetitions, where it was evaluated seven treatments in the following way: four controls that they understood: floor Santa Bárbara sowed without drill cuttings with the vegetable species *Urochloa decumbens* (wild), floor Santa Bárbara without drill cuttings sowed with the vegetable species *Urochloa decumbens* (commercial seeds), floor Santa Bárbara without drill cuttings sowed with *Cynodon nlemfuensis* (wild) and a control with blended floor with 3% of oil and grease in drill cuttings base oil mineral without vegetable species. The three remaining treatments were: floor Santa Bárbara mixed with 3% of oil and grease in drill cuttings sowed with the species *Urochloa decumbens* (wild), floor Santa Bárbara mixed with 3% of oil and grease in drill cuttings sowed with the species *Urochloa decumbens* (commercial seeds) and floor Santa Bárbara mixed with 3% of oil and grease in drill cuttings sowed with the species *Cynodon nlemfuensis* (wild).

The gramineous ones selected for this second experiment, they were gathered in Santa Bárbara (Edo. Monagas), the approach to choose the vegetable species was the high adaptation in the areas where is carried out the disposition and treatment of the perforation drill cuttings. The biomass dry average of the controls to the 86 days was: *Urochloa decumbens* (wild): 3595,60 mg/m^2, *Urochloa decumbens* (commercial seeds): 926,61 mg/m^2 and *Cynodon nlemfuensis* (wild): 643,52 mg/m^2 respectively, while the treatments under the effect of the drill cuttings impregnated with 3% of oil and grease with the same vegetable species obtained: 348,85 mg/m^2 for the *Urochloa decumbens* (wild), 52,75 mg/m^2 in the *Urochloa decumbens* (commercial seeds) and 254,25 mg/m^2 with *Cynodon nlemfuensis* (wild), presenting differs highly significant between the controls without drill cuttings and 3% of oil and grease in drill cuttings in the first two species (P <0,0534 and P <0,0097). The *Cynodon nlemfuensis* (wild), on the other hand, didn't have significant differences between the control and 3% of oil and grease in drill cuttings (P <0,2784).

They were carried out analysis in the laboratory and statistical to observe the decrease of oil and grease in each recipient, indicating that there were not significant differences (P<0,3786) among the vegetable species *Urochloa decumbens* (wild), *Urochloa decumbens* (commercial seeds) and *Cynodon nlemfuensis* (wild) to the 86 days of the study. You can conclude then that the maximum concentration of mineral grease and oils in drill cuttings with floor that tolerates the species vegetable indicative corn (*Zea mays*) and Pasture it Shatters (*Cynodon nlemfuensis*) wild, it is of 3%, being the dose limit for their growth. When incorporating concentrations of the 1 up to 5% of oil and grease to the floor, takes place high restrictions of growths in all the species

studied with regard to the treatment control (without drill cuttings), being the relationship of absorption of Sodium (RAS), the pH and electric conductivity (EC), those that restrict considerably in the yield of these cultivations. Besides this, the possible quantitative decreases of oil and grease found with the vegetable species: pasture Barrier (*Urochloa decumbens*) wild and commercial seeds and Pasture it Shatters (*Cynodon nlemfuensis*) wild they are not representative to the 86 days, being a very short time to have satisfactory answers.

Finally the use of the phytoremediation like natural method of decrease in the floor are very recent, being this investigation work, the first steps to carry out later investigations with other autochthonous or introduced vegetable species, to evaluate the possible decreases of oil and grease in drill cuttings.

I. INTRODUCCIÓN.

Con los recientes aumentos de las actividades petroleras en las diferentes áreas de Venezuela, se deben mantener normas básicas aceptables para minimizar los impactos al ambiente. Para ello existe la Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635 (Reforma parcial del Decreto N° 2.289 del 18 de Diciembre de 1.997), publicado con fecha 12 de Febrero de 1.998; el cual establece los parámetros para el manejo de los desechos de la explotación y producción petrolera. En el Capítulo III, Sección II (Artículo N° 46, 50, 53 y 54) de este decreto, se señala como tratar estos desechos petroleros y bajo que condiciones deben manejarse y disponerse para la protección del ambiente

Los desechos considerados en el decreto mencionado comprenden los generados por las actividades de explotación y producción de petróleo, incluyendo fluidos y ripios de perforación, lodos aceitosos, arenas de producción, suelos contaminados con hidrocarburos y los materiales remanentes de la separación, concentración y extracción de carbón y minerales de menas, que exhiban características de peligrosidad al ambiente. Para el caso de los ripios y fluidos de perforación elaborados en base agua, este decreto establece las siguientes prácticas: confinamiento en el suelo, esparcimiento en suelo, disposición final en cuerpos de aguas superficiales e inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998).

Para aquellos en base aceite mineral de emulsión inversa o que contengan aceites de motor u otro tipo de hidrocarburos, el decreto establece las siguientes prácticas: inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados, biotratamiento, esparcimiento en suelos e incineración (Decreto 2.635). Para cada una de las técnicas para ripios base agua y aceite, se deben cumplir con limites de los parámetros físico-químicos establecidos por el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Renovables (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998).

Con estas técnicas de tratamiento y disposición de ripios de perforación en suelos propuestas por la Legislación Venezolana en su Decreto 2.635, surge la búsqueda de nuevos métodos que garanticen un manejo adecuado de estos desechos y dar cumplimiento a esta normativa ambiental. Con esta inquietud, los investigadores se han preocupado en encontrar técnicas para la disminución de hidrocarburos en suelos, entre ellas se encuentra la fitorremediación, la cual es una tecnología que se está evaluando y utiliza especies vegetales, ya sean autóctonas o cultivadas con el propósito de extraer los contaminantes del suelo, aire y agua. Esta técnica consiste en la absorción, acumulación y transformación de metales y ciertos compuestos orgánicos vía lignificación, volatilización, metabolización o mineralización de manera de descomponer las moléculas orgánicas complejas en moléculas simples para obtener finalmente CO_2 y H_2O, aumentando el oxígeno y la actividad microbiana en la rizósfera, a través de la liberación de químicos exudados por los tejidos de las raíces (Muñoz, 1.997).

La aplicación de la fitorremediación como tecnología en la industria petrolera Venezolana ha sido poco estudiada. Recientemente, se está investigando las posibles interacciones en la rizósfera de las especies vegetales con los microorganismos, de manera de disminuir los hidrocarburos presente en los suelos (Nichols *et al.* , 1.997; Chaineau *et al.* , 2.000). Actualmente, se esta utilizando como una de las herramientas para remediar las áreas afectadas por contaminantes tóxicos al ambiente (metales,

pesticidas, solventes, hidrocarburos de petróleo e hidrocarburos aromáticos, entre otros) (Muñoz, 1.997; Miller *et al.* , 1.980a).

En Venezuela, se ha venido investigando recientemente sobre la utilización de especies vegetales (fitorremediación) con la finalidad de disminuir hidrocarburos en el suelo. Sánchez *et al.* , (2.000), estudiaron el efecto de los derrames de crudos pesado, mediano y liviano en un Ultisol de las Sabanas Orientales de Venezuela, cultivados con maíz *(Zea mays)*, fríjol (*Vigna unguiculata*) y pasto barrera (*Urochloa decumbens*) para disminuir los hidrocarburos en el suelo. Estos investigadores concluyen que el pasto barrera se perfila como una planta fitorremediadora de suelos ácidos contaminados con derrames petroleros.

Una de las ventajas de la fitorremediación para remover contaminantes del ambiente, es la diversidad de modalidades que presenta, entre las cuales se encuentran: fitoextracción, rizofiltración, fitodegradación, fitoestabilización, fitovolatilización y rizodegradación, las cuales disminuyen considerablemente los impactos en el ambiente (EPA, 1.999a; Newman *et al.* , 2.001).

Con la conciencia ambiental de PDVSA, se han realizado diferentes investigaciones en relación a la disposición y tratamiento de ripios de perforación, de manera de minimizar los impactos al ambiente (Sánchez, *et al.* , 1.999; Vasquez, *et al.* , 1.998). De lo antes expuesto, es de destacar la importancia de la realización de este tipo de estudio en nuestro país, ya que las actividades de exploración y producción de petróleo, generan grandes volúmenes de desechos de perforación, lo que requiere utilizar una técnica adecuada para su disposición y tratamiento.

Para ello, se realizó un estudio con suelos y ripios base aceite mineral provenientes de Santa Bárbara, Estado Monagas; utilizando plantas silvestres dominantes en esta zona. El diseño experimental consistió en dos experimentos. El primero, se determinó la dosis máxima de tolerancia de grasas y aceites en ripio de la especie vegetal de maíz (*Zea mays*) y un segundo experimento, con la finalidad de determinar la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en ripio mezclado con suelo (concentración determinada en el primer experimento), utilizando las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* silvestre. Estos experimentos se realizaron en el invernadero en PDVSA-INTEVEP, con el alcance de utilizar la técnica de fitorremediación a nivel de campo.

El crecimiento de especies vegetales en zonas donde se realiza la disposición y tratamiento de ripios de perforación, trae como interrogante; cómo estas plantas tienen la capacidad de adaptarse y sobrevivir a los cambios físico-químicos al incorporar el ripio en el suelo. Para poner en práctica esta hipótesis, es necesario realizar estudios a nivel de invernadero, con el objetivo, de evaluar la capacidad de las especies vegetales en tolerar y/o disminuir las grasas y aceites en ripio con suelo y así cumplir con las especificaciones de la Normativa Ambiental Venezolana, mediante su Decreto 2.635.

CAPITULO I.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, ALCANCE Y OBJETIVOS.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En el proceso de extracción del petróleo, es necesario realizar la perforación de un pozo, para ello las industrias petroleras utilizan el método de perforación rotatoria, en el cual un taladro va girando rápidamente realizando una perforación constante. A medida que progresa la perforación, hay que retirar del fondo los fragmentos de rocas triturados (**ripios**), cortados por la mecha, este trabajo es realizado por un fluido de perforación, el cual se inyecta a presión por el espacio anular libre entre las tuberías y las paredes laterales del pozo. Los fluidos de perforación utilizados en la industria petrolera Venezolana, son principalmente: base agua, base aceite y base sintética. Estos ripios impregnados con fluidos de perforación, son una fuente de contaminación ambiental (sales e hidrocarburos) si no se tratan y disponen adecuadamente en el ambiente (Marín, 2.000).

Algunos productos de fluido de perforación, contienen fracciones que pudieran ser activamente tóxicas después de haber estado sujetas al sistema de perforación y se deberían disponer y tratar adecuadamente al ambiente. A pesar, que los ripios de perforación generados en la industria nacional, contienen bajos niveles de metales pesados y en lixiviados, es de destacar que ellos presentan la tendencia de reaccionar con los sólidos y arcillas de perforación, haciéndose pocos móviles en el ambiente y no logran biodegradarse, es decir, pueden bioacumularse y pasar a la cadena alimenticia, causando problemas de salud. Adicionalmente, el contenido de sales puede inhibir el crecimiento de plantas interfiriendo en su capacidad de absorber agua del suelo. Concentraciones de sales más elevadas en agua dulce también pueden ser tóxicas para peces, plantas y otros organismos acuáticos (Leuterman 1.990).

Los hidrocarburos u otros productos especiales utilizados para la extracción de petróleo (químicos orgánicos de tratamiento utilizados en los fluidos de perforación, solventes y limpiadores utilizados en los equipos, etc), puede ser de toxicidad aguda (produciendo efectos instantáneos como la muerte), crónica (efectos a tiempo retardado), o pueden bioacumular, causando cáncer o defectos congénitos de nacimiento en animales y humanos si no son dispuestos y tratados adecuadamente al ambiente. Los compuestos orgánicos son sumamente móviles y pueden viajar a través del aire, agua y suelo aumentando de este modo su área de impacto (Leuterman 1.990).

Por la demanda de soluciones generadas para el manejo de desechos de perforación y su impacto ambiental, en nuestro país se ha normado el manejo de los desechos de la explotación y producción petrolera, la Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998, especifica las condiciones y parámetros a los cuales se deben disponer y tratar los ripios de perforación. : Los tratamientos señalados en el Decreto 2.635, son principalmente: Disposición (Esparcimiento con contenidos de grasas y aceites ≤ 1) y Tratamientos (Esparcimiento con contenidos de grasas y aceites ≥ 1 y Composteros).

Recientemente, sé esta evaluando una tecnología denominada fitorremediación, con la finalidad de disminuir los hidrocarburos presentes en el ripio cons suelo, ya sean base agua o aceite. Básicamente, la fitorremediación es el uso de especies vegetales silvestres o introducidas, para "limpiar o "remediar" ambientes contaminados. La utilización de estas especies vegetales, es debida en gran parte a su capacidad fisiológica y

características bioquímicas en absorber, concentrar, precipitar y retener contaminantes, tales como metales, compuestos orgánicos, petroquímicos, y otros (Muñoz, 1.997).

El planteamiento concreto del problema, es proponer una técnica alternativa de remediación de suelos contaminados con ripios de perforación distinta a las señaladas en la normativa Venezolana (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998). Para ello, se realizó un estudio a nivel de invernadero aplicando la técnica de la fitorremediación, donde se evaluó la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en suelos de Santa Bárbara, Estado Monagas. Dependiendo de las características del suelo, topografía, drenaje, clima, etc., las especies que encontramos son: Leguminosa: *Mimosa pudica*, Helecho: *Blechnum serrulatum*, Gramineas: *Paspalum fasciculatum, Urochloa decumbens, Cynodon dactylon*; Cyperaceas: *Cyperus haspa*, entre otras (FONAIAP, 1.990).

Es importante destacar, que se utilizaron especies vegetales silvestre (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*), que presentan alta dominancia en las áreas cercanas donde se realizan la disposición y tratamiento de los ripios de perforación, ubicado en Santa Bárbara, Estado Monagas. Además, se observó el comportamiento del crecimiento de estas plantas asociados al cambio físico-químico al incorporar el ripio en el suelo, así como las posibles disminuciones de grasas y aceites en ripios con suelo.

2. JUSTIFICACIÓN.

Considerando que los desechos de perforación tienen diferentes contaminantes que pueden ser perjudiciales al ambiente (principalmente hidrocarburos y sales disueltas), la industria petrolera nacional, dispone y trata de la mejor forma posible estos desechos, de manera de minimizar los impactos al ambiente. Los problemas generados por los hidrocarburos al esparcir el ripio (desechos de perforación) en el suelo trae como consecuencia la búsqueda de tecnologías capaces de disminuir los hidrocarburos a niveles exigidos por la normativa venezolana (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998), y no ocasionar impactos al ecosistema de la zona.

Los métodos de tratamientos y disposición de desechos de perforación comúnmente utilizados en la industria petrolera Venezolana son: Disposición (**Esparcimiento con contenidos de grasas y aceites ≤ 1), Tratamientos (Esparcimiento con contenidos de grasas y aceites ≥ 1 y Composteros)**. Es de destacar que el manejo, tratamiento y disposición de ripios de perforación involucra un esfuerzo para biorremediar las zonas donde se realiza la explotación de petróleo con la finalidad de disminuir los impactos ambientales.

En la búsqueda de métodos de alta eficiencia y bajo costo que disminuyan los contaminantes en el suelo con desechos de perforación, en 1.980 (EPA, 1.999ayb); propuso una técnica aplicable a una gran variedad de contaminantes, tales como, pesticidas, herbicidas, petróleo, gasolina y metales pesados, entre otros. Este método, denominado biodegradación, se basa en la utilización de sistemas biológicos, tales como enzimas y bacterias, que producen rupturas o cambios moleculares de tóxicos, contaminantes y sustancias de importancia ambiental en suelos, aguas y aire, y generan compuestos de menor o ningún impacto ambiental. Las degradaciones o cambios que se involucran en la biodegradación usualmente ocurren de forma natural, sin embargo, la velocidad de tales cambios es baja. Mediante una adecuada manipulación, estos

sistemas biológicos pueden ser optimizados para aumentar la velocidad de cambio o degradación y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes, no obstante estos sistemas de biorremediación suelen ser costosos, y pueden generar contratiempos al establecerse competencia con bacterias o enzimas del sistema a remediar. Bajo estos mismos lineamientos, en 1.988 (EPA, 1.999ayb); comenzó las primeras investigaciones sobre la utilización de especies vegetales (autóctonas o introducidas); para remediar zonas impactadas, principalmente con hidrocarburos y metales pesados, surgiendo así la técnica de la fitoremediación, la cual se ha impuesto como un método que es utilizado para "bioremediar" sitios con una alto nivel de contaminación con una buena eficiencia y a un bajo costo.

Básicamente, la fitoremediación es el uso de especies vegetales para "limpiar" o "remediar" ambientes contaminados, debido a la capacidad fisiológica y características bioquímicas que poseen algunas plantas de **absorber y concentrar** una amplia gama de contaminantes, tales como metales, compuestos orgánicos, compuestos radioactivos, petroquímicos, y otros. La fitorremediación se ha incursionado para la evaluación de la reducción de contaminantes en el suelo, aire y agua.

Una de las ventajas que se encuentran la utilización de la fitorremediación para remover contaminantes del ambiente, es la diversidad de modalidades que presenta, entre las cuales se encuentran: fitoextracción, rizofiltración, fitodegradación, fitoestabilización, fitovolatilización y rizodegradación, que disminuyen considerablemente los impactos en el ambiente (EPA, 1.999b; Newman *et al.* , 2.001).

A pesar de lo antes expuesto; la aplicación de la fitorremediación como tecnología de remediar sitios contaminados, ha sido poco estudiada en la industria petrolera Venezolana, recientemente se está investigando las posibles interacciones en la rizósfera de las especies vegetales con los microorganismos de manera de disminuir los hidrocarburos presente en los suelos (Nichols *et al.* , 1.997; Chaineau *et al.* , 2.000).

Así, en los últimos años en Venezuela, la empresa petrolera ha venido realizando diferentes estudios de los métodos para biorremediar zonas afectadas con hidrocarburos; de manera de aumentar las posibilidades de recuperación de suelos en zonas cercanas a la explotación de petróleo, disminuir los impactos al ambiente y cumplir con las exigencias de la normativa de la Ley Penal del Ambiente (Gaceta Oficial 5.212; Decreto 2.635).

Con estas premisas, surgen las siguientes interrogantes:

1. ¿Las especies vegetales (autóctonas o introducidas) son capaces de disminuir las grasas y aceites en ripios mezclado con suelo?
2. ¿Cuál es la concentración de grasas y aceites en ripio mezclado con el suelo, que estas especies vegetales pueden tolerar?
3. ¿Cómo es el crecimiento de las especies vegetales al incorporar el ripio en el suelo?
4. ¿Cuáles son los cambios físico-químicos que ocurren al incorporar el ripio en el suelo?

De lo antes expuesto, es evidente la necesidad de realizar una investigación que contribuya en la búsqueda de una técnica ó método, diferente a las indicadas en el

Decreto 2.635, que disminuya los hidrocarburos en el suelo. Con esta inquietud, se realizó un estudio en PDVSA-INTEVEP, con suelos y ripios base aceite mineal provenientes de Santa Bárbara, Estado Monagas, con el objetivo de aplicar la fitorremediación como técnica natural para la disminución de grasas y aceites en ripos mezclado con suelo. Para ello, se realizó un diseño experimental conformado por dos experimentos. Un primer experimento con la especie vegetal maíz (*Zea mays*), utilizada como bioindicadora, con la finalidad de determinar la máxima concentración de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento de esta planta. Posteriormente, se realizó un segundo experimento utilizando la concentración máxima de grasas y aceites determinada en el primer experimento con las especies vegetales silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*); recolectadas en zonas cercanas en donde se realizan el tratamiento de ripios de perforación. Este último experimento, tiene el objetivo de evaluar la tolerarancia y/o disminución de grasas y aceites en ripio con suelo. Además se evaluó los efectos de la incorporación del ripio base aceite mineral, sobre la composición físico-química del suelo y las plantas seleccionadas.

3. ALCANCE.

El alcance de esta investigación, radica en la utilización de la fitorremediación a nivel de campo, con la finalidad que sea aplicada como ayudante de la biorremediación de hidrocarburos en suelo, en diferentes lugares de Venezuela donde se realice la disposición y tratamientos de ripios de perforación.

III. OBJETIVOS.

1. OBJETIVOS GENERALES:

1.1. Evaluar el comportamiento de las especies *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre) en la tolerancia y/o disminución de las grasas y aceites en suelo con ripio.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

2.1. Determinar la máxima concentración de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento con la planta bioindicadora maíz (*Zea mays*).

2.2. Evaluar los efectos de la incorporación del ripio base aceite mineral, sobre la composición química del suelo y las plantas seleccionadas.

2.3. Contribuir con los estudios de fitorremediación en la industria petrolera Venezolana, de manera de utilizar una tecnología ambientalmente amigable que minimice los impactos ambientales y reduzca los costos en el tratamiento de ripios de perforación.

CAPITULO II.
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS.

Para la extracción del petróleo del subsuelo es necesario realizar la perforación de un pozo, para ello las industrias petroleras utilizan el método de perforación rotatoria, en el cual un taladro va girando rápidamente realizando una perforación constante. En la Figura 1, se observa que a medida que progresa la perforación hay que retirar del fondo del pozo los fragmentos de rocas triturados (ripios), que son cortados por la mecha del taladro, para tal fin es necesario utilizar fluidos de perforación, el cual es inyectado a presión por el interior de la tubería de perforación y regresa a la superficie arrastrando los ripios por el espacio anular libre entre la tubería y las paredes laterales del pozo.

Marin (2.000), señala que un fluido de perforación debe cumplir las siguientes funciones:

- Arrastre de los cortes o ripios generados, conduciéndose a la superficie, evitando que los trozos de rocas cortados caigan en el fondo.
- Controlar por medio del peso del fluido la presión que puedan tener las formaciones que cortan la barrena.
- Enfriar la mecha, esta tiende a calentarse con el rozamiento continuo al girar la broca. Como el fluido circula a temperatura normal, actúa como refrigerante.
- Actúa como un lubricante, lo cual ayuda a mantenerse la rotación de los elementos cortantes de la barrera.
- Depositar sobre la pared del hoyo un revoque delgado y flexible y lo más impermeable posible, que impida la filtración excesiva de la fase liquida del fluido hacia las formaciones.
- Transmisión de energía a la broca de perforación.

1.2. GENERALIDADES EN EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS (RIPIOS).

Con los recientes aumentos de las actividades petroleras en las diferentes áreas de Venezuela, se deben mantener normas básicas aceptables para la protección del ambiente. Por lo tanto, se debe prever todo el programa ambiental durante la construcción de un pozo para minimizar el impacto ecológico.

Vergara (1.995), indica que existen tres áreas de control en la explotación petrolera que han evolucionado rápidamente como fuerzas protectoras del ambiente:

- El establecimiento de una normativa oficial de obligatorio cumplimiento.
- La vigilancia permanente de comunidades cada vez más organizadas que claman una mayor calidad de vida.
- Las organizaciones no gubernamentales, nacionales e internacionales, dedicadas a evitar la contaminación ambiental, principalmente en lo que se refiere a cuerpos de agua y a la ubicación de desechos sólidos en sitios seguros.

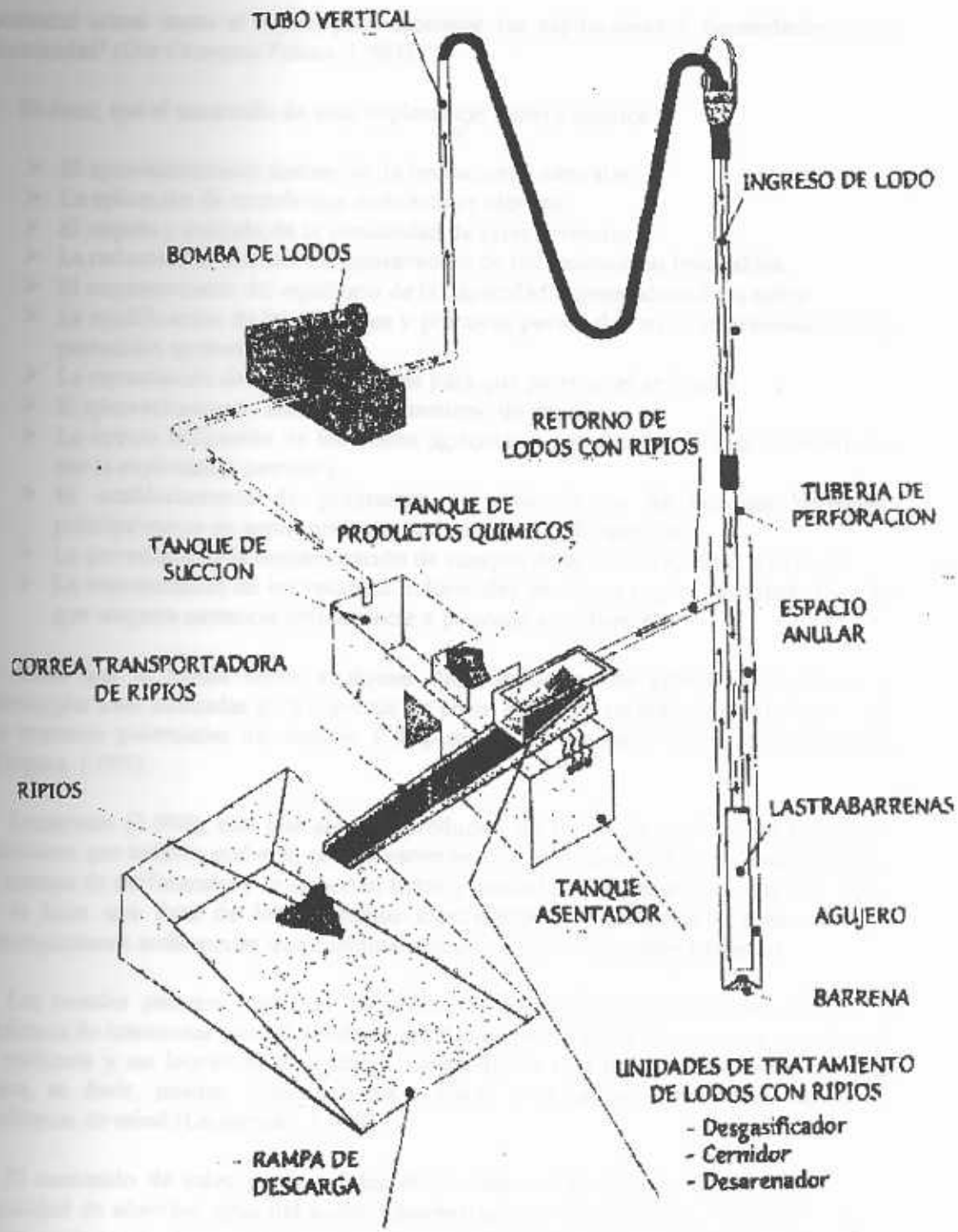


Figura 1. Manejo de Ripios de Perforación.

Además, señala que la actividad petrolera dependerá de los principios del Desarrollo Sustentable, el cual establece que es preciso: "Un proceso de cambio en donde la explotación de recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional están en armonía y procuran mejorar tanto el

potencial actual como el futuro para acometer las aspiraciones y necesidades de la humanidad" (Our Common Future, 1.987).

Es decir, que el desarrollo de toda explotación minera implica:

- El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- La aplicación de tecnologías ambientales idóneas.
- El respeto y cuidado de la comunidad de seres vivientes.
- La reducción al mínimo del agotamiento de los recursos no renovables.
- El mantenimiento del equilibrio de la capacidad regeneradora de la tierra.
- La modificación de las actitudes y prácticas personales en lo relacionado con la protección ambiental.
- La capacitación de las comunidades para que protejan el ambiente.
- El aprovechamiento eficiente del consumo de energía.
- La óptima utilización de los suelos agrícolas y ganaderos que sean intervenidas por la explotación petrolera.
- El establecimiento de programas de reforestación de bosques perennes, principalmente en zonas protectoras de cuencas hidrográficas.
- La protección de la contaminación de cuerpos de agua dulce, lagos y océanos.
- La manipulación de los residuos industriales en forma segura, cerciorándose de que ninguna sustancia tóxica afecte a personas y ambiente.

Antes que se pueda tomar cualquier decisión acerca de productos, sistemas y tecnologías a ser utilizadas para construir un pozo, es crítico un entendimiento básico de los impactos potenciales del manejo y disposición de fluidos y ripios de perforación (Vergara, 1.995).

Leuterman (1.990), cita que algunos productos de fluido de perforación contienen fracciones que todavía pudieran ser activamente tóxicas después de haber estado sujetas al sistema de perforación y se deberían tratar y descartar adecuadamente. En el Cuadro 1, se hace una lista de los productos clasificados por categoría y menciona las preocupaciones ambientales que cualquier método o tecnología debe enfrentar.

Los metales pesados, tanto de los productos como de las formaciones, tienen la tendencia de reaccionar con los sólidos y arcillas de perforación, no son muy móviles en el ambiente y no logran biodegradarse, causando de esta manera problemas a largo plazo, es decir, pueden bioacumularse y pasar a la cadena alimenticia, causando problemas de salud (Leuterman, 1.990).

El contenido de sales puede inhibir el crecimiento de plantas interfiriendo en su capacidad de absorber agua del suelo. Concentraciones de sales más elevadas en agua dulce también pueden ser tóxicas para peces, plantas y otros organismos acuáticos (Leuterman 1.990).

Los desechos orgánicos a menudo son sumamente perjudiciales para el ambiente. Estos tipos de desechos pueden ser tan simples como los desechos de origen humano y de animales que aumentan la carga de demanda de oxígeno en arroyos y ríos y llevan consigo enfermedades; o tan complejos como desechos industriales, tales como hidrocarburos de petróleo u otros productos especiales. La toxicidad puede ser aguda (produciendo efectos instantáneos como la muerte), crónica (efectos a tiempo

retardado), o pueden bioacumular, causando cáncer o defectos congénitos de nacimiento en animales y humanos. Los compuestos orgánicos son sumamente móviles y pueden viajar a través del aire, agua y suelo aumentando de este modo su área de impacto (Leuterman 1.990).

Cuadro 1. Principales preocupaciones ambientales que cualquier método/tecnología debe enfrentar.

	FUENTES	PREOCUPACIONES
Metales pesados Cromo, plomo, zinc, arsénico, Bario, mercurio, cadmio	Aditivos de fluidos de perforación para roscas de tuberías, formaciones nativas, inhibidores de corrosión.	No logran biodegradarse, causando de esta manera problemas a largo plazo, es decir, pueden bioacumularse y pasar a la cadena alimenticia.
Cloruros KCl, $CaCl_2$, NaCl	Las fuentes incluyen los aditivos de fluidos de perforación, formaciones nativas, flujo de agua salada.	Inhibe el crecimiento de plantas interfiriendo en su capacidad de absorber agua del suelo. Concentraciones de sales más elevadas en agua dulce también pueden ser tóxicas para peces, plantas y otros organismos acuáticos
Hidrocarburos Aceite mineral, petróleo crudo, aceite lubricante, aceite hidráulico.	Aditivos de fluidos de perforación, formaciones nativas, máquinas utilizadas en el sitio de la perforadora, productos químicos orgánicos de tratamiento utilizados en los fluidos de perforación, solventes y limpiadores utilizados en el equipo de perforación.	La toxicidad puede ser aguda (produciendo efectos instantáneos como la muerte), crónica (efectos a tiempo retardado), o pueden bioacumular, causando cáncer o defectos congénitos de nacimiento en animales y humanos. Los compuestos orgánicos son sumamente móviles y pueden viajar a través del aire, agua y suelo aumentando de este modo su área de impacto

Fuente: Leuterman 1.990.

Los ácidos y las bases provenientes de los desechos de perforación, pueden cambiar el pH, perjudicando considerablemente la fauna silvestre. La reacción del pH en el suelo producto de la disposición inapropiada de estos desechos (líquidos o sólidos), interrumpen inmediatamente el ecosistema del lugar. Esto se puede evitar planeando adecuadamente la utilización técnicas de tratamiento para los desechos de perforación para minimizar los impactos al ambiente.

El total de sólidos en suspensión (TSS) puede ser perjudicial a las aguas de superficie cercanas a los ríos y mares, no sólo estéticamente sino también mediante la reducción de la cantidad y calidad de luz disponible necesaria para el crecimiento de las plantas. Esta carga adicional también puede afectar la fauna mediante la toxicidad mecánica, es decir, la fatiga o revestimiento de los órganos respiratorios. La cantidad aumentada de sólidos en suspensión contiene compuestos orgánicos que, a medida que se degradan, empobrecen de oxígeno de las aguas circundantes (Vergara, 1.995).

Leuterman (1.990), señala que a causa de la toxicidad inherente de los fluidos base diesel y de los problemas causados por su descarte, sus ventajas para satisfacer los requisitos de rendimiento frecuentemente son sobrepasadas por los costos de limpieza. Además de la toxicidad de los hidrocarburos, se ha demostrado que el cloruro de calcio utilizado en la fase acuosa de los fluidos de aceite inhibe el crecimiento de plantas. La utilización de fluidos base de aceite sólo es recomendada si se puede conseguir una tecnología eficaz para tratar las contaminaciones de hidrocarburo y de sales que se consiguen en los desechos de estos fluidos. Además, encontramos que los fluidos base

diesel contienen hasta un 60% de hidrocarburos aromáticos tóxicos para el organismo humano. Cuando es necesario utilizar fluidos base aceite, diesel o mineral, se debe utilizar un sistema cerrado, con pozos de reserva aislados, es decir tanques o contenedores forrados, para evitar la contaminación de la tierra y agua subterránea circundante. La reutilización/reciclado de la porción líquida del sistema de fluido forma una parte integral para minimizar el volumen de desechos, del costo del fluido, y de la contaminación del lugar. Cuando se utilizan fluidos de aceite, se deben mantener separados de los pozos de reserva de agua; este es el método más simple para reducir el volumen de materiales contaminados con aceite.

Leuterman (1990), concluye que una planificación en el tratamiento de los desechos, entre el perforador y la compañía productora de fluidos base aceite, creará un programa apropiado para: estipular el muestreo del área antes de la perforación para determinar los niveles de fondo de los diversos parámetros, permitir una perforación segura, rápida, económica y aceptable para el ambiente, minimizar el volumen de desechos creados y incluir planes de manejo, almacenamiento, tratamiento y/o descarte.

Este tipo de planificación detallada no viene sin un compromiso o sin un costo. Productos y sistemas altamente refinados, diseñados y más sensibles hacia el ambiente son más caros que muchos de los tradicionales. El costo más bajo ya no puede ser más un factor decisivo, especialmente en áreas sensibles. (Leuterman, 1990).

1.3. TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

Actualmente la industria petrolera ha venido trabajando con tres tipos de fluidos de perforación: base agua, base aceite y sintético Aunque existen diferentes opciones descritas en el Cuadro 2. (Leuterman, 1.990).

1.3.1. Fluidos Base Aceite.

Lagoven (1.983), señala que el uso del fluido base aceite es utilizado generalmente en pozos profundos y tiene como ventajas: disminución del riesgo de obstrucción de la tubería, reducción del torque excesivo por el arrastre asociado a la perforación direccional y horizontal, mejoramiento de la velocidad de penetración en una determinada formación geológica y lubricación de la barrena alargando su vida útil.

En pozos de desviación controlada, a altas temperaturas y de profundidad o formaciones que contienen lutitas, se utilizan fluidos base aceite para proveer una estabilidad apropiada en la perforación de pozos (Lagoven, 1.983). Estos fluidos son utilizados tradicionalmente en la industria petrolera nacional, aunque actualmente, el Ministerio de Ambiente y los Recursos Renovables supervisa el manejo, tratamiento y disposición de estos tipos de fluidos de manera de minimizar los impactos al ecosistema donde se encuentra la exploración y explotación del petróleo. (Decreto 2.635, 1.998).

1.3.2. Fluidos Base Sintética.

La búsqueda a desarrollar fluidos de perforación que actúen como fluidos base de aceite pero que sean iguales de aceptables para el ambiente como lo son los fluidos base de agua, ha conducido al desarrollo de sistemas de fluidos base de ésteres, éteres y polialfaolefinas como alternativas para la minimización del impacto ambiental ya que

son sustancias biodegradables y no tóxicas. La Agencia de Protección Ambiental, describe un modelo de fluido de perforación con una formulación consistente de 47% peso en base fluida sintética, 33% de sólidos y 20% de agua (EPA, 1.993). Por su parte Marín (2.000), señala, desde el punto de vista económico el fluido representa, aproximadamente, entre 6 y 10% del costo total de perforación y a medida que aumenta la profundidad, el costo del fluido tiende a incrementarse.

Cuadro 2. Tipos de fluidos de perforación.

FLUIDOS	TIPO
BASE ACEITE	Diesel Aceite Mineral Desaromatizados
BASE SINTÉTICA	Ester Éter Polialfaolefina
BASE DE AGUA	Lignito/Lignosulfonato dispersado Cromo Potasio/KCl Cal Yeso Polímero catiónico Alta temperatura con cromo Alta temperatura sin cromo Sal-KCl ó NaCl
ADITIVOS ESPECIALES PARA PROBLEMAS ESPECÍFICOS	Eliminadores de espuma, inhibidores de corrosión, barredores de H_2S, lubricantes, píldoras para tuberías atascadas, inhibidores de lutitas, aditivos de control de fluido, modificadores de reología y bactericidas

Fuente: Leuterman 1.990.

1.3.3. Fluidos Base Agua.

Están compuestos principalmente de agua y de una sustancia coloidal de origen volcánico, llamada bentonita, compuesta de sílice y alúmina pulverizada, al ser debidamente acondicionada se expande al mojarse, multiplicando su volumen, dando así un resultado favorable para la formación del revoque sobre la pared del pozo; a este fluido hay que agregarle barita (sulfato de Bario), para que la presión ejercida contra los estratos compense adecuadamente las presiones subterráneas que se puedan encontrar durante la perforación.

Al evaluar las propiedades de los ripios de perforación, se persigue definir cual es la forma de tratarlo o disponerlo en el ambiente sin traer como consecuencia la contaminación del aire, agua o suelo (Marín, 2.000).

Los sólidos de perforación se pueden considerar de forma general como contaminantes de los fluidos, los cuales deben ser removidos de los mismos para volverlos a utilizar en la perforación de pozos. Los ripios son fragmentos de roca triturados extraídos por la barrena junto con el fluido. El tipo de fluido de perforación influye sobre la separación de los desechos fluido-sólidos, los de base acuosa generalmente son más difíciles de remover que los de base aceite/sintética, debido a la separación en la fase acuosa de estos fluidos a base agua. Esta separación se realiza en los sistemas de control de sólidos, los cuales son diferentes para los fluidos a base acuosa comparado a los de base aceite/sintéticos. Equipos como hidrociclones y

unidades de floculación química son algunas veces empleados, para este fin. (Leuterman 1.990).

Dependiendo del programa de perforación, existen sistemas de control de sólidos para fluidos base de agua, estos comprenden: trampas de arena, agitadores primarios y secundarios que ejecutan la separación inicial de cortes y agitador secante o centrifuga que recuperan los fluidos de perforación de los cortes y remueven los sólidos de menor diámetro del sistema de fluidos de perforación.

Al separar los fluidos de perforación de los desechos (ripios), se reutilizan nuevamente inyectándose al pozo de petróleo, el resto del ripio es tratado con la finalidad de evitar contaminación al ambiente. Los grandes volúmenes de ripios producidos en la perforación de cada pozo, han llevado a muchos expertos en esta área a implantar técnicas de tratamiento y disposición de estos desechos para disminuir los problemas de contaminación de agua, suelo y aire (Leuterman 1.990).

1.4. NORMATIVA VENEZOLANA REFERENTE AL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS DE PERFORACIÓN (RIPIOS).

En los siguientes artículos se presentan la normativa establecida por el Decreto 2.635 para la disposición de desechos contaminados con hidrocarburos:

En la Normativa Venezolana en el Decreto N° 2.635, Capítulo III (Del Manejo de los Desechos Peligrosos de Actividades de Exploración y Producción de Petróleo y de Exploración y Explotación de Minerales) sobre el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligroso, especifica:

Artículo 46: Los desechos considerados en este Capítulo comprenden los generados en las actividades de explotación y producción de petróleo, incluyendo fluidos y ripios de perforación, lodos aceitosos, arenas de producción, suelos contaminados con hidrocarburos y los materiales remanentes de la separación, concentración y extracción de carbón y minerales de menas, que exhiban una o más características de peligrosidad indicadas en el artículo 6 (Ver Decreto N° 2.635) y no sean recuperables. No incluye los desechos provenientes de la refinación de petróleo y procesos metalúrgicos destinados a purificar o modificar con fines industriales los minerales y los combustibles fósiles extraídos.

La Sección II de las Disposiciones Técnicas para el Manejo de Desechos Peligrosos Generados por la Explotación y Producción de Petróleo, señala en su artículo 48, para los ripios y fluidos de perforación elaborados en base agua, que se podrán disponer conforme a las siguientes prácticas:

1. Confinamiento en el suelo.
2. Esparcimiento en suelo.
3. Disposición final en cuerpos de aguas superficiales.
4. Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.

Artículo 49° : La práctica de confinamiento en el suelo se realizará cumpliendo con las siguientes condiciones:

1) El área de disposición final no debe ser inundable y poseer una capa o membrana impermeabilizante en sus paredes, fondo y tope. Cuando el desecho exceda las concentraciones máximas permisibles en lixiviado establecidas en el Anexo D, deberá ser tratado hasta cumplir con dichos limites.

2) Los desechos deberán ser mezclados con suelo autóctono otro material absorbente que les confiera la resistencia capacitación del suelo circundante.

3) La mezcla suelo desecho resultante no debe exceder 50% de humedad y deberá cumplir los parámetros indicados en la lista que figura en este mismo artículo.

4) El tope de la mezcla resultante se encontrará por lo menos a 1 metro de la superficie.

5) La profundidad del acuífero aprovechable más superficial será mayor de 6 metros y el fondo de la fosa se encontrará por lo menos a 1.5 metros por encima del mismo.

6) El área de confinamiento deberá sellarse con suelo y restablecer la cobertura vegetal, empleando plantas preferiblemente de especies propias de la localidad, que no sean frutales y que se adapten a las condiciones presentes.

Limites de la mezcla suelo-desecho con fines de confinamiento en el suelo son los siguientes:

pH	6-9
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	<12
Relación de adsorción de sodio (RAS)	<12
Aceites y grasas (porcentaje en peso)	<3%
Arsénico	40 m/kg
Bario	40.000 mg/kg
Cadmio	l0 mg/kg
Mercurio	l0 mg/kg
Selenio	l0 mg/kg
Plata	10 mg/kg
Cromo	500 mg/k
Zinc	500 mg/kg
Plomo	500 mg/kg

Artículo 50: La práctica de esparcimiento en suelos se llevará a cabo cumpliendo con las siguientes condiciones:

1. El área de disposición final debe estar alejada por lo menos 500 m. de cuerpos de agua o fuera de la planicie de inundación de dichos cuerpos, de acuerdo a la información hidrológica existente.
2. La topografía del área de disposición final deberá tener una pendiente menor de 3% orientada hacia el cuerpo de agua superficial más cercano.
3. El desecho no debe exceder las concentraciones máximas permisibles en lixiviados, establecidas en el Anexo D (Ver Decreto N° 2.635).

La mezcla suelo/desecho debe cumplir con los parámetros establecidos en la lista siguiente:

pH	5-8
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	< 3.5
Cloruros totales (ppm)	< 2.500
Relación de absorción de sodio (RAS)	< 8
Aluminio intercambiable (meq/100 g.)	< 1.5
Saturación con bases (%)	> 80
Aceites y grasas (% en peso)	≤ 1
Arsénico	25 mg/kg.
Bario	20.000 mg/kg.
Cadmio	8 mg/kg.
Mercurio	1 mg/kg.
Selenio	2 mg/kg.
Plata	5 mg/kg.
Cromo	300 mg/kg.
Zinc	300 mg/kg.
Plomo	150 mg/kg.

Fuente: Decreto 2.635, 1.998.

Artículo 51° : Los desechos indicados en el artículo 48 pueden disponerse en cuerpos de aguas marino-costero y oceánicos cumpliendo las medidas derivadas de la evaluación ambiental correspondiente, para definir la distancia, profundidad y condiciones de la descarga que aseguren la dispersión y protección del medio. La práctica no podrá realizarse si los desechos tienen una cantidad de barita que de acuerdo al fabricante, no exceda de 1,0 mg/ kg de mercurio o 3,0 mg/kg de cadmio, o presenten aceite libre.

Artículo 52: Los ripios y fluidos de perforación elaborados en base aceite mineral de emulsión inversa o que contengan aceites de motor u otro tipo de hidrocarburos, podrán disponerse conforme a las siguientes prácticas:

1. Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.
2. Biotratamiento.
3. Esparcimiento en suelos, conforme a las condiciones indicadas en el artículo 50.
4. Incineración conforme a lo estipulado en el Capítulo V del Título III del Decreto 2.635.

El Decreto 2.635 de la Normativa Venezolana (Capítulo III, Sección II), estipula para el desarrollo de biotratamientos, las pautas siguientes:

Artículo 53: La práctica de biotratamiento se llevará a cabo cumpliendo con las siguientes condiciones:

1. Contenido de hidrocarburos biodegradables en el desecho entre 1 y 10%.
2. El desecho no exceda las concentraciones máximas permisibles en lixiviados establecidas en el Anexo D (Ver Decreto 2.635).
3. El desecho tenga un pH entre 6-8.
4. Para la aplicación de la técnica de biotratamiento sobre el suelo arable:

4.1. El área de disposición final debe ser conformada por suelos de textura franca, o franco arenoso o franco limosa o franco arcillosa, o acondicionado artificialmente.
4.2. La profundidad del nivel freático debe ser mayor de 4 metros.
4.3. El área de disposición final no debe ser inundable. (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998).

En el caso de suelos impregnados con hidrocarburos, el Decreto 2.635, señala:

Artículo 54: Las arenas de producción, suelos contaminados con hidrocarburos y lodos aceitosos provenientes de fondos de tanques de almacenamiento de crudos y separadores crudo-agua, podrán disponerse conforme a las siguientes prácticas:

1. Biotratamiento, de acuerdo a las condiciones indicadas en el artículo 53.
2. Esparcimiento en suelos, conforme a las condiciones indicadas en el artículo 50.
3. Incineración, según las condiciones indicadas en el Capítulo V del Título III del Decreto 2.635.

Para cada una de las técnicas referidas en la sección II, se deben de cumplir con límites de parámetros físico-químicos establecidos para el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Renovables (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998).

1.5. TIPOS DE TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN.

1.5.1. TÉCNICAS PARA LA DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN.

a) Esparcimiento en el suelo.

Esta técnica consiste en esparcir el ripio base agua en el suelo, cuando este presenta concentraciones de hidrocarburos $\leq 1\%$, y de metales pesados que no superen a las permitidas en el Decreto 2.635, Artículo 50.

Al esparcir los ripios base agua al suelo, los microorganismos autóctonos y la volatilización principalmente actúan disminuyendo los hidrocarburos presentes en el ripio. De esta manera el ripio puede ser trasladado a otra área y aplicarle técnicas biológicas (Esparcimiento en suelo con contenidos de grasas y aceites ≥ 1 y composteros) para su tratamiento. Gealt *et al.* , (1.995) señala, que los microorganismos autóctonos de la zona impactada pueden reducir los hidrocarburos en el ripio en menos de 20 semanas y cumplir de esta manera con los niveles establecidos en la normativa.

1.5.2. TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN.

Las técnicas para el tratamiento de ripios de perforación, comprenden principalmente esparcimiento en suelo (contenidos de grasas y aceites ≥ 1) y composteros. Estás técnicas están basadas en la biodegradación de compuestos orgánicos presentes en los ripios base aceite.

La biodegradación es un proceso donde los microorganismos autóctonos o introducidos (hongos, bacterias, y otros microbios) degradan y/o metabolizan las

sustancias orgánicas encontraron en el suelo, agua y aire. En la presencia de oxígeno suficiente (condiciones aeróbicas), los microorganismos convierten las sustancias orgánicas en dióxido de carbono, agua y masa de células microbianas. En la ausencia de oxígeno (anaeróbicas), los contaminantes orgánicos se metabolizan finalmente en metano, dióxido de carbono y hidrógeno en forma de gas en cantidades limitadas (EPA, 1992b).

Muñoz (1.997), señala que la biorremediación se ocupa de la utilización de sistemas biológicos, tales como enzimas y microorganismos, para producir rupturas o cambios moleculares de contaminantes y sustancias orgánicas en los suelos, aguas y aire, generando compuestos de menor o ningún impacto ambiental. El proceso biorremediación ocurren usualmente en la naturaleza, sin embargo la velocidad de tales cambios es baja. Mediante una adecuada manipulación estos sistemas biológicos, se puede mejorar el proceso para aumentar la velocidad de cambio o degradación y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes.

Una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos pueden ser eliminados por la biorremediación, a saber, pesticidas, herbicidas, petróleo y gasolina, entre otros.

En el caso de tratamientos de agua se ha utilizado la biorremediación para la purificación de la misma. La UNECO (1.998) indica que los beneficios de esta técnica aplicada al agua son los siguientes: descomposición de materia orgánica, reducción del residuo sólido y fluidos, reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxigeno (DBO_5) y eliminación de olores.

Marín (2.000), señala, que esta técnica es recomendable cuando la concentración de hidrocarburos está entre 1 al 10% y que es aplicado comúnmente a los ripios base aceite. Esta biorremediación puede ser llevada acabo a través de tres procesos:

1. Bioestimulación: En donde la población de microorganismos autóctonos en el área es aumentada con la adición de nutrientes y manipulación del área (arado, rastra, etc.). Esto incrementa la velocidad del proceso de biodegradación deseado.

2. Bioaugmentación: En donde la población de microorganismos específicos son agregados a una zona impactada y son ayudados con la adición de nutrientes y manipulación del área (arado, rastra, etc.). Esto aumenta el proceso de biodegradación deseado.

La utilización de microorganismos que degradan o metabolizan las diferentes sustancias orgánicas nocivas al ambiente en otros de menor impacto ambiental ha experimentado un gran desarrollo en los últimos años. Importantes investigaciones se han dirigido a ampliar la versatilidad metabólica para la degradación de estas sustancias en algunas especies microbianas. Por ejemplo, la cepa *Pseudomonas*, degradadora de hidrocarburos, fue creada mediante la introducción de diversos plásmidios degradadores para lograr la mineralización del xileno, tolueno, naftaleno, octano, silicatos, y de otros aromáticos y alifáticos sencillos, representando un área atractiva para la biorremediación en lugares inaccesibles. (Grealt *et al.* , 1.995).

Son bastantes y variadas las aplicaciones útiles que se han dado a microorganismos en el campo ambiental. Basta con mencionar los conocidos procesos aeróbicos y

anaeróbicos para tratamientos de residuos industriales líquidos. Actualmente, tanto la microbiología ambiental como la genética bacteriana han contribuido al diseño de sistemas microbianos con capacidades metabólicas mejoradas y aumentadas (Muñoz, 1.997).

3. Biorremediación Enzimática: Las enzimas son proteínas que cumplen un importante rol en toda especie viva. Las enzimas son las encargadas de acelerar cambios químicos, esto es, inducir complejas reacciones de transformación química con un gasto energético mínimo y con una elevada velocidad de reacción. Por ello, las enzimas son componentes esenciales de todo proceso metabólico en sistemas vivos (Muñoz, 1.997).

Las enzimas son producidas por células como resultado de los procesos que acompañan a la información genética. Mediante el uso de técnicas de la biología molecular se puede inducir la producción de enzimas en sistemas microbianos con características genéticas específicas que permiten una expresión de este gen enzimático en forma constante. Con esto se logra obtener un sistema productor de enzima a gran escala. En el campo de la aplicación de la protección ambiental, se han diseñado muchos de estos sistemas biotecnológicos, y muchas empresas ofrecen tanto enzimas que degradan sustancias de importancia ambiental como sistemas bacterianos inmovilizados en determinados soportes (biofiltros). (Muñoz, 1.997).

a) Esparcimiento en suelo (contenidos de grasas y aceites ≥ 1).

Este método consiste en esparcir sobre el suelo el ripio de perforación, utilizando para esto un tractor con rastra; las áreas a escoger para este fin deben ser preseleccionadas y autorizadas que permitan cumplir con normas ambientales (Decreto 2.635, Sección II, artículo 53, 1.998). Además, se le aplica enmiendas agrícolas (N, P, K) a los fines de estimular la actividad bacteriana y contribuir a la revegetación de las zonas degradadas. La utilización de la rastra aumenta el espacio poroso total, permitiendo de esta manera la aireación del suelo. La técnica es utilizada para ripios base de aceite cuando los valores de hidrocarburos totales son ≥ 1%.

Marin (2.000), señala, que para que ocurra la degradación del ripio base aceite en el suelo, se deben mantener adecuadamente el contenido de humedad, pH y nutrientes (N, P, K), además de la incorporación de enmiendas (hojarascas, cascarillas de arroz, aserrín, etc.) y altos niveles de oxígeno. Al finalizar el proceso de esparcimiento en suelo (contenidos de grasas y aceites ≥1), debe cumplir con los parámetros establecidos en la normativa venezolana (Decreto 2.635, 1.998).

Actualmente, las industrias petroleras utiliza estas técnicas de disposición y tratamientos de ripios de perforación, para la disminución de contaminantes en el suelo. La EPA, (1.992b), señala que las principales limitaciones de estos métodos son: requerimientos de áreas grandes para su aplicación, aumentan los costos al realizar excavaciones en suelos contaminados, compuestos inorgánicos no son biodegradables por los microorganismos y contaminación atmosférica por los compuestos volátiles y las partículas de suelo (polvo) proveniente del pase de rastra del tractor.

b) Composteros.

Los composteros o compostaje, es un proceso biológico por el cual los compuestos orgánicos peligrosos son convertidos por los microorganismos a productos estabilizados no peligrosos al ambiente. (Weston, 1.993).

La EPA (1.992b), indica que las temperaturas a las cuales se realiza el compostaje es alrededor de 25 a 40ºC que resulta del calor producido por los microorganismos por la degradación de los compuestos orgánicos en el desecho. En este método, los suelos son excavados y mezclados con otras compuestos que mejoran las propiedades del suelo tales como: aserrín, desechos vegetales y animales que mejoran las propiedades físico-química y el espacio poroso total del suelo. La eficiencia del compostaje depende del contenido de humedad, pH apropiado, aireación de la mezcla, temperatura óptima y relación Carbono/nitrógeno.

La mayoría de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) esta compuesta en su mayor parte por distintos compuestos orgánicos. Si estos compuestos son sometidos a una descomposición aeróbica microbiana, el producto resultante después de cesar la actividad microbiana será, un material de humus que viene a ser el objetivo principal de esta tecnología. El humus por su parte se utiliza como producto final en el suelo para favorecer el crecimiento de las plantas (UNECO, 1.998).

Los procesos implicados en el compostaje son principalmente tres: 1) Procesamiento de los RSU; 2) Descomposición de la fracción orgánica y 3) preparación y venta del compostaje estabilizado. El compostaje aeróbico es el proceso biológico mas frecuentemente utilizado para la conversión de materia orgánica de los RSU a un material húmico siendo una de las tecnologías innovadoras para la disminución de contaminantes en suelos. (UNECO, 1.998).

Las restricciones del uso del compostaje son diversas, el requerimiento de grandes áreas para su aplicación y la liberación de compuestos orgánicos volátiles al realizar las excavaciones de los suelos contaminados, son los factores más limitantes del uso de esta tecnología. (EPA, 1.992b).

1.6. LA FITORREMEDIACIÓN COMO TECNOLOGÍA BIOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE SÓLIDOS CON HIDROCARBUROS.

La fitorremediación es la tecnología que utiliza las especies vegetales (arbóreas, arbustivas o herbáceas) para remediar lugares contaminados, normalmente se usan plantas autóctonas para extraer los contaminantes de: fluidos, sedimentos, suelo, aire y agua. Estos contaminantes son tóxicos al ambiente: metales, pesticidas, solventes y hidrocarburos de petróleo, entre otros. (ITRC, 1.999). La fitorremediación ha sido identificada como una tecnología atractiva, económica, y socialmente amigables por las siguientes razones:

- Incluye costos bajos, menor perturbación del sitio, y emisiones aéreas mínimas.
- Emplea la energía solar disponible y los procesos biológicos, químicos y físicos de las plantas, como es la absorción, transformación, acumulación, extracción, reserva y degradación rizoférica microbial para lograr la remediación.

- Es aceptable en términos humanos por las comunidades en su alrededor como una tecnología potencialmente elegante y estética.
- Aplicable para diferentes tipos de contaminantes, es decir, metales tóxicos y materiales orgánicos, incluyendo la mezcla de ellos (ITRC, 1.999).

Hay que señalar que esta técnica esta comenzando a utilizarse como alternativa para la disminución de hidrocarburos totales en el suelo, donde las interacciones suelo-planta-microorganismos deben considerarse para la remoción de estos contaminantes del ambiente (Hutchinson *et al.* , 2.001a).

1.6.1. Proceso de fitorremediación.

La fitorremediación esta basada en procesos naturales de transporte y transformación de nutrientes (contaminantes) por las plantas, los cuales incluyen:

- Absorción de metales y ciertos compuestos orgánicos (p.e. los moderadamente solubles en agua, log K_{ia}=0.5 a 3, como los BTEX) de los suelos y el agua.
- Acumulación y transformación de estos químicos vía lignificación, volatilización, metabolización o mineralización (transformándolo a CO_2 y H_2O en caso de compuestos orgánicos).
- Descomposición de moléculas orgánicas complejas en moléculas simples para obtener finalmente CO_2 y H_2O en caso de compuestos orgánicos mediante el sistema enzimático.
- Incremento del oxígeno y de la actividad microbiana en la rizósfera, a través de la liberación de químicos exudados por los tejidos de las raíces. (Muñoz, 1.997).

Todos los procesos naturales, y los flujos de oxigeno, agua y químicos que presentan las plantas se muestran en la Figura 2.

Recientemente, en distintos lugares del mundo sé esta utilizando las especies vegetales, ya sea vegetación arbórea, arbustivas o herbáceos, para remediar áreas contaminadas con sustancias orgánicas, las raíces, ya sean acuáticas o terrestres, pueden precipitar y concentrar considerablemente estos contaminante, es en este punto donde se manejan las hipótesis sobre la importancia simbiótica entre el tipo de microorganismo y la raíz de la planta. En investigaciones recientes se ha evidenciado que no solamente la planta es capaz de retener o degradar un tipo de contaminante sino además, esta acción puede ser mejorada insertando microorganismos simbióticos específicos en la rizósfera de la planta para disminuir los posibles impactos provocados al ambiente. (Muñoz, 1.997).

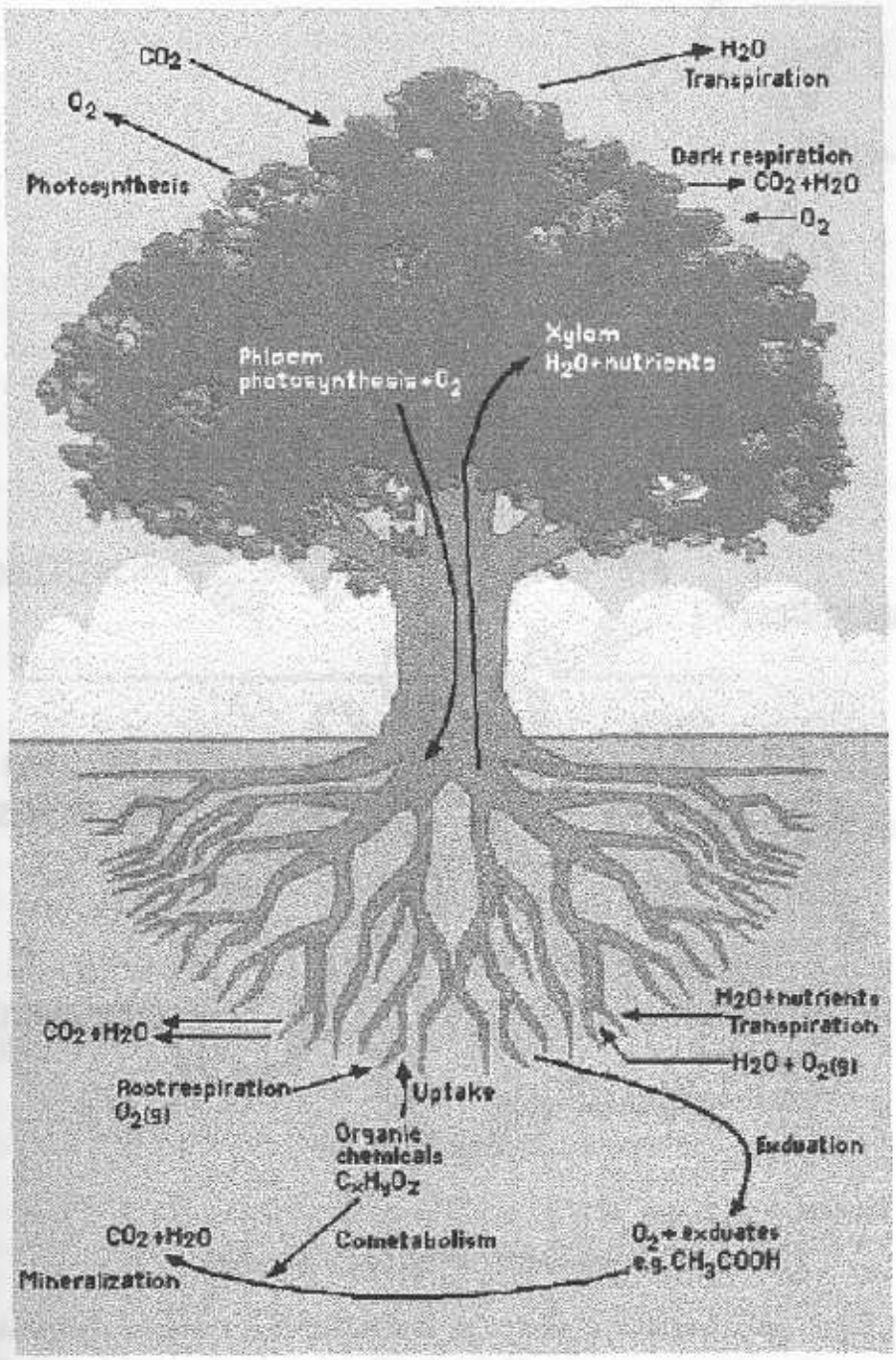


Figura 2. Esquema del flujo químico del oxígeno, agua, nutrientes y compuestos químicos en la relación suelo-planta-aire.

1.6.2. Tipos de Fitorremediación:

Newman *et al.* , (2.001) y EPA, (1.999b), señalan que existen seis (6) modalidades o aplicaciones de Fitorremediación: Fitotransformación, Biorremediación Rizósfera, Fitoestabilización, Fitoextracción, Rizofiltración y Fitovolatilización. (Figura 3).

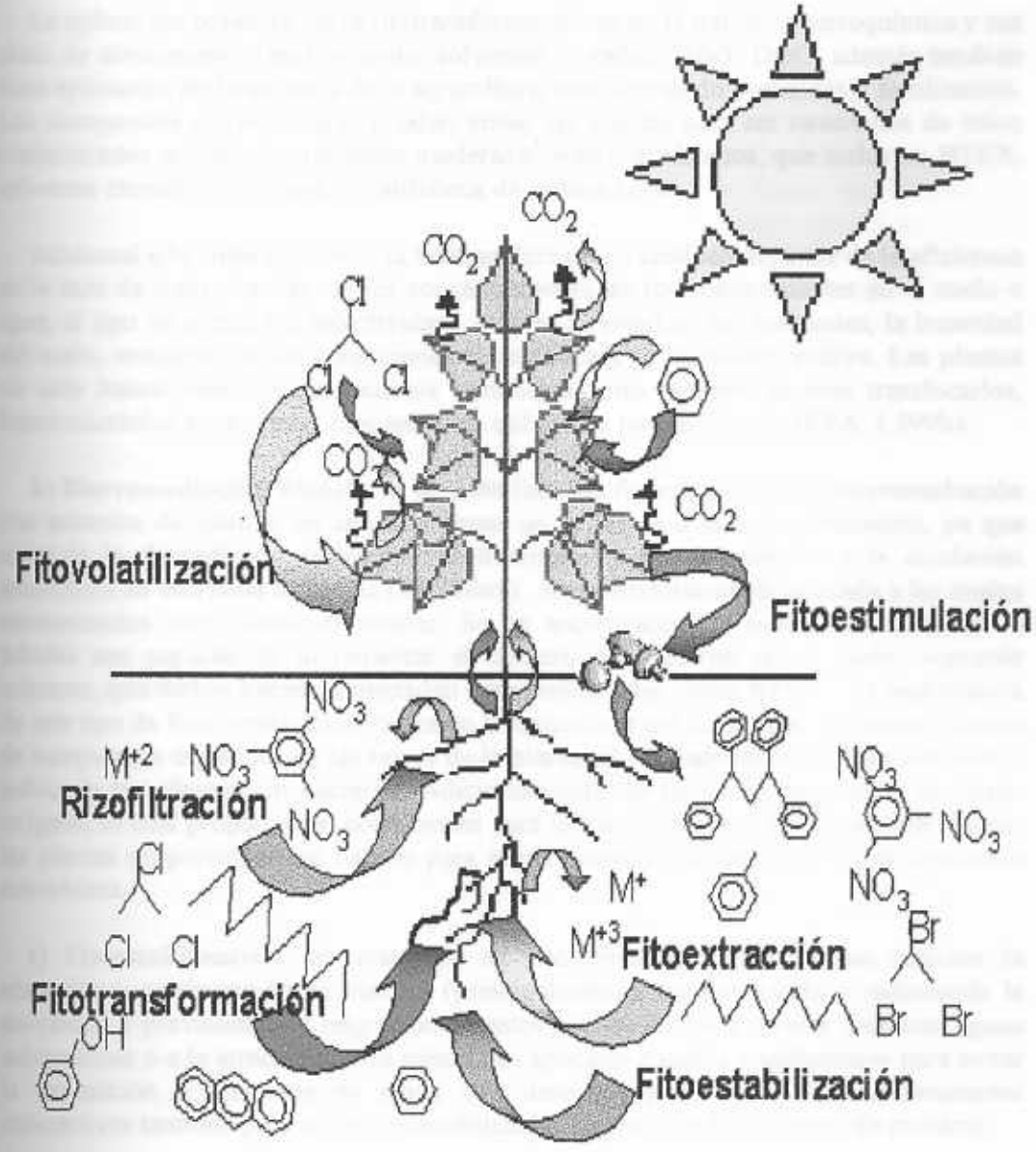


Figura 3. Tipos de Fitorremediación.

a) Fitotransformación: esta aplicación se refiere a contaminantes orgánicos y nutrientes (que además pueden ser transformado por las plantas), los cuales se encuentran en suelos y aguas superficiales y subterráneas. En este caso, las plantas básicamente toman los compuestos orgánicos complejos o los nutrientes y los transforman en moléculas simples las cuales son incorporadas a los tejidos de las mismas, por supuesto, este proceso depende de forma directa de la capacidad de tomar los contaminantes del suelo y el agua, y de la acumulación de metabolitos en los tejidos de la planta. Para aplicaciones ambientales, es de gran importancia que los metabolitos puedan ser acumulados en la vegetación en forma de compuestos no tóxicos o significativamente menos tóxicos que el compuesto original.

La aplicación potencial de la fitotransformación es en la industria petroquímica y sus sitios de almacenaje, transformando: solventes clorados, DBO, DQO, además también tiene aplicación en la química de la agricultura, transformando pesticidas y fertilizantes. Los compuestos orgánicos que pueden tomar las plantas para ser removidos de sitios contaminados incluyen compuestos moderadamente hidrofobicos, que incluyen: BTEX, solventes clorados y compuestos alifáticos de cadena corta.

Adicional a lo antes expuesto, la fitotransformación también depende de la eficiencia en la taza de transpiración, de las concentraciones de los contaminantes en el suelo o agua, al tipo de planta (su selectividad), el área a remediar, los nutrientes, la humedad del suelo, temperatura, las condiciones atmosférica y la humedad relativa. Las plantas no solo transforman los compuestos complejos, sino también pueden translocarlos, fraccionándolos en unidades más sencillas utilizables por las plantas (EPA, 1.999b).

b) Biorremediación Rizósfera: también llamada fitoestimulación o biorremediación con asistente de plantas, es aplicada como un ayudante a la biorremediación, ya que estimula la degradación realizada por microbios y hongos debido a la exudación enzimática en una zona de la raíz (Rizósfera). Esta remediación es aplicada a los suelos contaminados con sustancias tóxicas. Se ha encontrado que numerosos híbridos de árboles son capaces de incrementar él numero de bacterias en el suelo, logrando entonces, que dichas bacterias degraden compuestos tales como BTEX. La importancia de este tipo de fitorremediación radica en la asociación del hongo con la metabolización de compuestos orgánicos en las raíces de la planta, el exudado de las plantas estimula o induce la transformación bacterial. Adicionalmente las raíces de las plantas bombean oxígeno, lo cual proporciona condiciones para la transformación aeróbica y por ultimo, las plantas proporcionan un hábitat para el incremento y la actividad de la población microbiana.

c) Fitoestabilización: en este tipo de fitorremediación las plantas realizan la absorción y precipitación de metales (principalmente), inmovilizando o reduciendo la movilidad y previniendo la migración de estos por los suelos a niveles freáticos, aguas subterráneas o a la atmósfera, este método es aplicado a suelos y sedimentos para evitar la exposición a humanos en sitios con desechos peligrosos. Los contaminantes radioactivos también pueden ser fitoestabilizado, disminuyendo su riesgo de contacto.

d) Fitoextracción: la fitoextracción se refiere al uso de la capacidad de acumulación de metales por parte de la biomasa vegetal-extractiva que transloca y concentra metales, y algunos compuestos orgánicos para remediar suelos y aguas contaminados. Una gran cantidad de contaminantes pueden ser captados del suelo, entre ellos; metales pesados y algunos compuestos radiactivos. Existe cierta evidencia en favor de la idea que transportadores específicos estarían dispuestos en las raíces de las plantas e inclusive la alta inespecifidad en la absorción de oligoelementos indicando que la simbiosis microbiana en la rizósfera jugaría un rol importante en algunos casos. El producto de los procesos que acompañan a la fitoextracción en suelos y aguas contaminados son la eliminación de compuestos tóxicos, cualidad que permanece en el tiempo. Las plantas contaminadas con estos tóxicos pueden ser luego cortadas (cosechadas), con un control evidente en su disposición.

e) Rizofiltración: este tipo de fitorremediación se refiere al uso de las raíces de las plantas para que estas absorban, concentren y precipiten metales pesados y compuestos

orgánicos provenientes de suelos y aguas contaminadas, posteriormente los metales pueden ser removidos por filtración del agua contaminada, disponiéndose adecuadamente al ambiente.

f) Fitovolatilización: corresponde a la captación y transpiración de un contaminante por una planta, con el descargo de los contaminantes en forma modificada del contaminante a la atmósfera por la planta. La fitovolatilización ocurre en árboles creciendo y otras plantas. Algunos de estos contaminantes pueden atravesar las plantas por las hojas y volatilizarse a la atmósfera en concentraciones bajas. Muchos compuestos orgánicos transpirados por una planta están sujetos a la fotodegradación. Algunos autores consideran la fitovolatilización como un tipo de fitotransformación (EPA, 1.999b).

1.6.3. Aplicación, ventajas y limitaciones de la fitorremediación.

Las aplicaciones de la fitorremediación se presentan en el Cuadro 3, para los compuestos inorgánicos y en el Cuadro 4, para los compuestos orgánicos (EPA, 1.999b). Esta clasificación esta basada en el destino del contaminante, la degradación, el extracto y tipo de la contención o una combinación de éstos. Un contaminante específico puede estar remediando en puntos específicos a lo largo de los mecanismos continuo por efecto de la fitorremediación en los sistemas de suelo-planta-atmósfera.

Las ventajas de la fitorremediación se engloban en los siguientes aspectos:

- Como metodología de remediación tiene un mínimo de perturbación al medio contaminado.
- Es aplicable a un gran rango de contaminantes que incluyen orgánicos, inorgánicos y radiactivos, con diferentes alternativas de aplicación.
- Tiene menos posibilidad de generación de desechos secundarios, lo cual es común para otras alternativas.
- En los casos de la rizofiltración y la fitoextracción los contaminantes orgánicos son degradados completamente, aportando al ambiente solo CO_2 y H_2O.
- Presentan un bajo costo aplicado a grandes volúmenes de agua (rizofiltración) con concentraciones de metales relativamente altos.
- En el caso de recuperación de suelos, presenta grandes ventajas de costo para áreas relativamente grandes con concentraciones de contaminantes moderados.
- Los suelos superficiales recuperados con este método pueden ser reinsertados en procesos de agricultura.
- En el caso de fitoextracción, reduce enormemente en volumen de material contaminado, pudiendo posteriormente ser incinerado.
- Reduce el riesgo de explosión y de contacto con materiales peligrosos.
- Estéticamente agradable, sobre todo si se compara con otros métodos de remediación, lo que conduce a un agrado social. (EPA, 1.999a).

Por su parte, Muñoz, 1.997, señala que esta novedosa tecnología tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados, estos son los siguientes:

1.- Es una tecnología económica y de bajo costo.
2.- Posee un impacto regenerativo en los lugares donde se aplica.

3.- Su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal, además es capaz de ser modificada para aumentar su capacidad y selectividad extractiva, un caso bien conocido es la modificación genética de la *Arabidopsis thaliana* para reducir ión mercurioso (Muñoz, 1.997).

La tecnología de la fitorremediación tiene sus limitaciones y no son aplicables para todos los casos. El proceso de caracterización de áreas es importante determinarlo, para poder atacar el contaminante y verificar si se puede aplicar esta tecnología. La EPA (1.999a), señala las siguientes limitaciones:

- La toxicidad y biodisponibilidad de los productos de biodegradación no siempre son conocidos.
- La movilización de los productos degradados en agua o bioacumulación en la cadena alimenticia es probable que ocurra.
- Existe poco conocimiento del destino de varios compuestos en el ciclo metabólico de la planta, para asegurar que no haya producción de químicos tóxicos que impactan la cadena alimenticia.
- Se desconoce si los contaminantes que captan las hojas y madera de los árboles son liberados, cuando caen en el suelo durante la época seca, utilizándose nuevamente por la planta.
- La profundidad del contaminante limita esta tecnología. La zona del tratamiento esta determinada por la profundidad de raíz de la planta. En la mayoría de los casos, se limita a las tierras poco profundas.
- El éxito de la técnica va a depender de los períodos climáticos (Seco y lluvioso).
- La fitorremediación no es eficaz para contaminantes fuertes de disolver como PCBs.
- La fitorremediación requiere extensas áreas de superficie para su aplicación.
- Las plantas pueden ser dañadas en el proceso de remediación produciendo la necesidad de replantar. (EPA, 1.999a).

Cuadro 3. Tipos de Fitorremediación para constituyentes inorgánicos.

Tipo de fitorremediación	Proceso involucrados	Tipo de contaminante tratado.
1. Fitoestabilización	Control de la planta de: pH, gases en el suelo, y potencial redox en el suelo y inmovilización de contaminantes.	Demostrado para los metales pesados en estanques.
2. Rizofiltración o captación de contaminantes	Absorbido por raíces (algas y bacterias)	Metales pesados y radio nucleótidos

Fuente: ITRC, 1.999.

Cuadro 4. Tipos de Fitorremediación para constituyentes orgánicos.

Tipo de fitorremediación	Proceso involucrados	Tipo de contaminante tratado.
1. Fitoestabilización	Control de la planta: pH, gases en el suelo, potencial redox en el suelo y inmovilización de contaminantes.	Esperado para fenoles, solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano) y componentes orgánicos hidrofobicos.
2. Rizodegradación, Fitoestimulación, Biorremediación en la rizósfera, Biorremediación asistida por la planta	Planta transpirando, necrosis de la raiz provenientes de los procesos de carbono orgánico y nutrientes estimulando el crecimiento de las bacterias del suelo por dos ó más órdenes de magnitud. La transpiración estimula la degradación por hongos de micorrizas y microbios. Las raices vivas pueden bombear oxigeno a los aeróbios y raíces muertas a los anaerobios.	Hidrocarburos poliaromáticos y otros hidrocarburos de petróleo, perclorato, atracina, alcanfor, bifenilo policlorinados y componentes orgánicos.
3. Rizofiltración en la captación de contaminantes	Componentes absorbidos por las raíces (o por algas y bacteria).	Compuestos químicos orgánicos hidrofobicos.
4. Fitodegradación o Fitoestabilización	Las plantas acuáticas y terrestres absorben y degradan bioquímicamente determinados compuestos orgánicos, creando una nueva biomasa, los microbios existentes rompen dichos compuestos a productos más simples. Pueden usarse enzimas oxidativas en diferentes partes de la planta.	Municiones (TNT, DNT, HMX, nitrobenceno, nitrotolueno), antracina, compuestos halogenados (tetraclorometano, triclorometano, hexacloroetano, tetracloruro de carbono, TCE, tetracloroetano, dicloroetano), DDT y clorados y fosforados en los pesticidas
5. Fitovolatilización	Los compuestos orgánicos volátiles transpiran. Algunos compuestos orgánicos recalcitrantes se degradan más fácilmente en la atmósfera.	Solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano), orgánicos VOC´s, BTEX, MTBE.

Fuente: ITRC, 1.999.

1.6.4. Fitorremediación utilizando Gramíneas y otras especies vegetales.

La utilización de las gramíneas para promover la disminución de grasas y aceite en ripios ha sido poco estudiada por los investigadores venezolanos. Las gramíneas se perfilan como unas de las familias de mayor cantidad de especies, configurando el más alto porcentaje de la flora que conforman los bosques y sabanas de Venezuela. Debido a la facilidad de adaptarse y desarrollarse a diferentes condiciones agroclimáticas, aportan cerca de un 98% de la alimentación humana y animal (Zoraida, 1.976).

En Venezuela, hasta los momentos actuales se han localizado 430 especies de las cuales 300 aproximadamente se encuentran poblando la zona cálida del país. La disposición morfológica de sus tallos, hojas, raíces y frutos las hace tener diferentes portes, desde las formadoras de césped, como la pangola (*Digitaria decumbens*), hasta tamaño elevado como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) lo que les confiere dominancia en las zonas que se encuentran. Tomando en cuenta las condiciones agroclimáticas, los distintos órganos vegetativos adquieren diferentes formas para adaptarse y poder sobrevivir, ello sin dejar de conservar sus características generales, lo cual hace posible distinguirlas de otras plantas (Guzmán, 1.996).

Actualmente, en Venezuela no hay sufucientes trabajos de investigación sobre la utilización de especies vegetales para disminuir grasas y aceites en ripios con suelo (fitorremediación). En su mayoría, los estudios realizados consisten en evaluar los efectos de los metales pesados provenientes de los desechos de perforación sobre el crecimiento de las especies vegetales, solamente han realizado algunas investigaciones sobre la disminución por la planta de hidrocarburos en suelos con desehos, tales como: crudos livianos y pesados, diesel y ripios base agua.

A continuación, se presenta un resumen de algunos trabajos de fitorremediación aplicados a desechos de perforación, a nivel internacional y nacional:

1. Miller *et al.* , (1.980ayb), realizaron estudios sobre los efectos del ripio base agua en el rendimiento de plantas de maíz, observando la susceptibilidad de esta planta a las concentraciones de sales incorporadas en este desecho.

2. Chaineau *et al.* , (1.997), realizaron estudios de biodegradación de dosis de 0,3% de hidrocarburos (HC) en la rizósfera tomando como planta bioindicadora al maíz. Determinaron que a los 80 días del experimento, la biodegradación de HC en la zona de la raíz pueda ser causado por el aumento de la biodisponibilidad del HC y por el estímulo de poblaciones microbianas.

3. Sánchez *et al.* , (1.999), estudiaron concentraciones de 1,2,3,4,5 y 6% de grasas y aceites minerales en ripios de perforación sobre la producción de biomasa seca total del maíz. Estos autores concluyen, que este ripio base aceite mineral no tuvo efectos negativos en ninguna de las mezclas evaluadas.

4. Sánchez *et al.* , (2.000), estudiaron los efectos de contaminación de un Ultisol de la Sabana Oriental en Venezuela por derrame de fluidos, donde se sembraron plantas de: maíz (*Zea mays*), Frijol (*Vigna unguiculata* L.) y pasto barrera (*Urochloa decumbens*). Colocando para ello tres repeticiones en cada una de las cosechas con cinco dosis de los crudos Orocual (pesado), Jusepín (mediano) y

L.V.-45 (liviano) y cinco dosis de un residuo de perforación. Ellos observaron que el porcentaje de germinación, materia seca y absorción de fósforo de la planta de maíz fue disminuido por la adición de crudos a partir del 1%, siendo el pasto el menos afectado.

1.6.5. Efecto al incorporar hidrocarburos al suelo en el crecimiento en las especies vegetales.

Al incorporar crudos o ripios de perforación, ocurren cambios físico-químicos en el suelo (Principalmente: pH, RAS: Relación de Absorción de Sodio, CE: Conductividad eléctrica y Salinidad); que determinan el crecimiento de las especies vegetales. Miller *et al.* , (1.980), señalan que la disminución severa del crecimiento de plantas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*); se debio principalmente por los fluidos de perforación y al contenido de sales.

Chaineau *et al.* , 2.000; Hutchinson *et al.* , 2.001a, señala, que todos los cambios físico-químicos que se producen al incorporar hidrocarburos en suelo, generan un desbalance nutricional que limita la nutrición para las plantas y por lo tanto la inhibición de su crecimiento. Algunos investigadores señalan que los cambios físico-químicos (estructura, pH, CE, RAS y concentración de hidrocarburos) del ripio en el suelo, hacen que las plantas experimenten cambios en su crecimiento para adaptarse a las nuevas condiciones del suelo (Miller *et al.* , 1.980b).

Bravo, (1.988) indica, que las concentraciones elevadas de sales pueden ejercer una diversidad de efectos sobre el desarrollo de los cultivos. Esto va a depender del tipo de cultivo, el grado de tolerancia en las fases del desarrollo y otros factores de interacción. Este mismo autor, señala que los iones monovalentes (Cl^-, Na^+, etc.) son absorbidos con mayor velocidad que los divalentes y éstos con mayor rapidez que las polivalentes, lo que indica que suelos con altas concentraciones de Na^+, causan disminución del crecimiento de las plantas (Bravo, 1.988).

La excesiva acumulación de sales solubles en la rizosfera constituye un factor potencial que limita el desarrollo de las especies vegetales bajo riego, por cuanto los problemas persistentes de salinización de los suelos provienen de la aplicación de agua con concentraciones elevadas de sales. La acumulación de sales en el medio de crecimiento tiene marcados efectos sobre la fisiología de la planta. En la Figura 4, se indica como las plantas logran bajos potenciales de agua en sus tejidos en respuesta a los bajos potenciales osmóticos del medio externo (Suteliffe, 1.979).

Cuando no hay absorción de sales por la planta, las consecuencias pueden ser similares a la de quellas plantas que crecen en suelos secos con baja concentración electrolítica, como vía alterna, la acumulación de solutos orgánicos por las células vegetales pueden restaurar el turgor y la hidratación a través del ajuste osmótico (A_2); si esto ocurre, se requerirá de cierta cantidad de productos metábolicos, en especial, azúcares (Suteliffe, 1.979).

El ajuste osmótico se puede lograr por vía alterna de la absorción de sales (B_1), esto evitaría un drenaje de carbono y energía metabólica, sin embargo, la absorción de sales introduce el peligro de toxicidad (B_2b): altas concentraciones de sales en las paredes

celulares afectaría las relaciones de agua de células individuales provocando su deshidratación parcial (B_2a) (Suteliffe, 1.979).

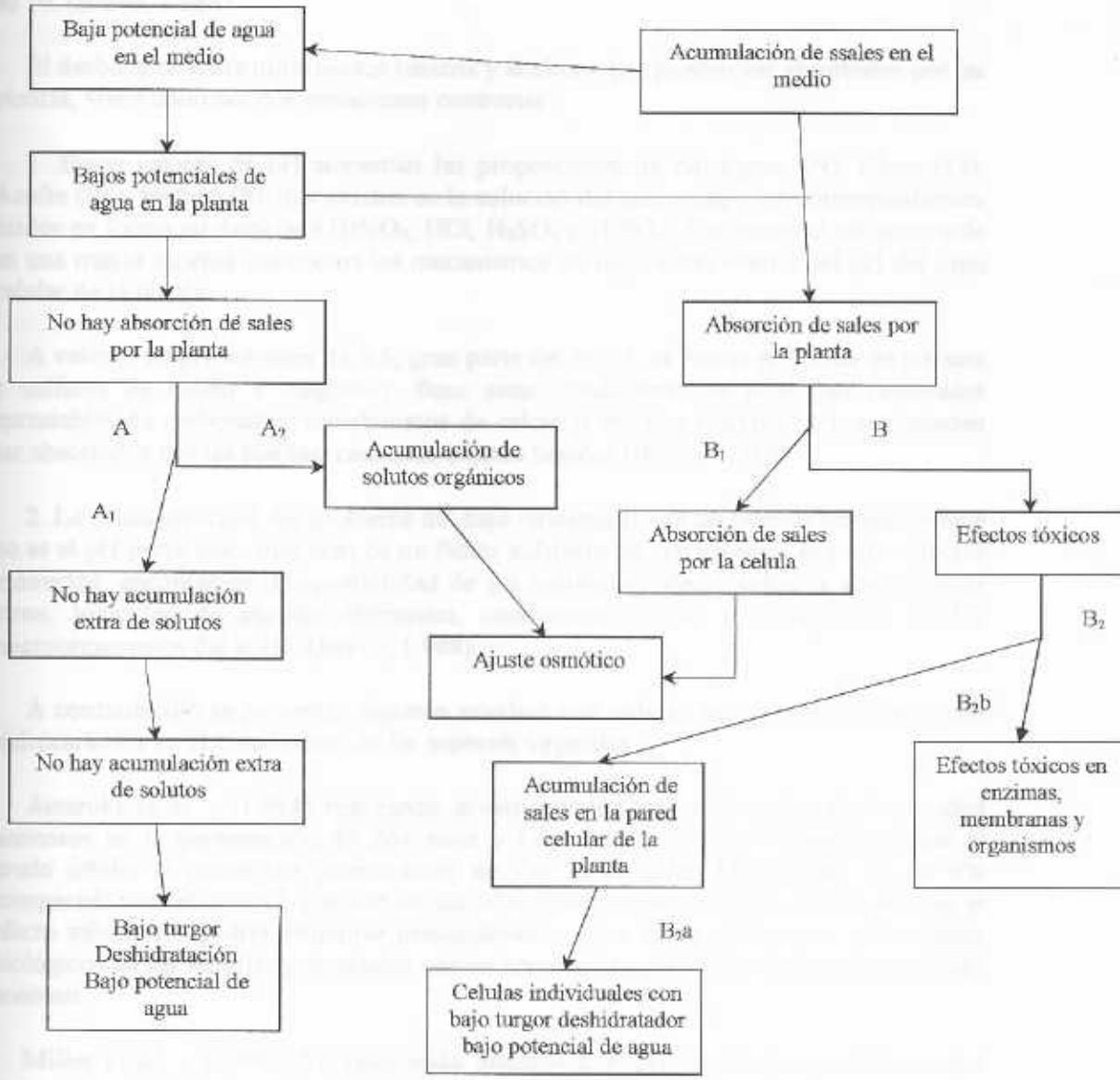


Figura. 4. Efectos del exceso de sales sobre la fisiología de las plantas.

Los efectos de las sales en las plantas, depende de su estado de desarrollo. La sensibilidad puede ser mayor o menor durante la germinación y lo mismo sucede con las fases posteriores durante el desarrollo vegetativo y reproductivo. Altos niveles de salinidad afectan la emergencia de las plantas y disminuyen el porcentaje final de germinación (Suteliffe, 1.979).

El pH del medio ejerce importantes efectos en el crecimiento de las plantas. Bravo, (1.988), señala que pueden ser divididos en efectos directos y efectos indirectos.

Los efectos directos del pH sobre el crecimiento de las plantas, vienen dado por toxicidad de los iones H^+ ó OH^- sobre las raices y por el desbalance de los componentes básicos y ácidos que pueden ser absorbidos por las plantas. Los efectos directos de altas concentraciones de iones H^+ ó OH^- sobre las raíces, se traducen en desorganización y negrosamiento del tejido radical y se producen a valores de pH menores de 4 o mayores de 10. (Bravo, 1.988).

El desbalance entre nutrimentos básicos y ácidicos que pueden ser absorbidos por las plantas, viene dado por dos situaciones contrarias:

1. Bajos valores de pH aumentan las proporciones de Nitrógeno (N), Cloro (Cl), Azufre (S) y fósforo (P); que existen en la solución del suelo como las correspondientes ácidos en forma no disociada (HNO_3, HCl, H_2SO_4 y H_3PO_4), los cuales al ser adsorvido en una mayor cuantia interfieren los mecanismos de regulación interna del pH del jugo celular de la planta.

A valores de pH mayores de 6,5; gran parte del N y S, se hayan en forma de nitratos y sulfatos de calcio y magnesio. Bajo estas condiciones se producen cantidades apreciables de carbonatos, bicarbonatos de calcio ($CaCO_3$ y $Ca(HCO_3)_2$), que pueden ser absorbidos por las plantas, causando efectos básicos (Bravo, 1.988).

2. La causa principal del problema del bajo rendimiento de las plantas probablemente no es el pH perse sino, más bien de un factor indirecto de crecimiento. Entre los efectos indirectos, encontamos: Disponibilidad de los nutrientes, efecto sobre la absorción de iones, toxicidad de algunos elementos, condiciones físicas y la actividad de los microorganismos del suelo. (Bravo, 1.988).

A continuación se presentan algunos estudios que indican los efectos del suelo con hidrocarburos en el crecimiento de las especies vegetales.

Amaniki *et al.* , (1.984) realizando investigaciones sobre el efecto de los crudos aceitosos en la germinación de *Zea mays* y *Capsicum frutescens*, observaron que el crudo inhibe el porcentaje germinación de *Zea mays* a las 32 semanas en un 6% comparado con el control que obtuvo un 95%. Los mismos autores concluyen que el efecto inhibitorio podría atribuirse principalmente a los factores físicos y a los daños biológicos en las semillas provocados por las características físicas y químicas del crudo aceitoso.

Miller *et al.* , (1.980ayb), realizando estudios con plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*), señalan que la reducción de crecimiento de estas plantas, se debió principalmente por 31 componentes fluidos de perforación y al aceite diesel, además, de volúmenes de sales resultantes por la suma de dicromato de sodio y cloruro de potasio. Finalmente, concluyeron que la suma de sales solubles con cloruro de potasio, dicromato de sodio y hidroxido de sodio, causan un pH alto en la solución del suelo interfiriendo en el desarrollo de las plantas.

Velásquez *et al.* , (1.993), realizaron estudios biológicos y ecológicos en el pozo MUC-21 localizado en el Estado Monagas, encontrando que el derrame hidrocarburos en el suelo influye en forma considerable la producción de retoños de la *Urochloa decumbens*. Márquez (1.995), por su parte, realizó investigaciones en la misma zona,

identificando a esta especie forrajera con altos índices de importancia relativa, pero por la influencia del crudo, estos indices bajan considerablemente.

Chaineau *et al.* , (1.997), realizaron estudios con 0,3% a 4% de aceite en suelo con las especies vegetales: Trébol (Trifolium repens) y maíz (*Zea mays*) y 4 a 9% de aceite en suelo con caraota (*Phaseolus vulgaris*) y trigo (*Triticum aestivum*); señalando que las plantas de trigo y caraota, redujeron su crecimiento (biomasa seca y altura) hasta un 80% debido al aceite en suelo, observándose clorosis en sus hojas. La altura y la biomasa seca del maíz, también disminuyeron al aumentar de 0,3 a 4% de aceite en suelo, donde no se presentó clorosis en las hojas. Estos autores atribuyen estos resultados principalmente a la toxicidad del hidrocarburo, señalando que el mismo tiene propiedades hidrófobicas que disminuyen considerablemente la biodegradación y disposición de los nutrientes del suelo a las plantas.

Witse *et al.* , (1.998), estudiaron diferentes genotipos de Alfalfa (*Medicago sativa*) con un 2% de crudo en el suelo, concluyendo que los hidrocarburos causan una reducción significativa en el vigor, productividad y crecimiento global total de la planta. Además, señalan que al aumentar del 2 al 5% de crudo en el suelo, la germinación de la alfalfa es considerablemente reducida debido a la penetración de los hidrocarburos en los embriones de las semillas.

CAPITULO III.
MATERIALES Y MÉTODOS.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

1. Ubicación: Los estudios se realizaron en PDVSA-INTEVEP en el Laboratorio de Tratabilidad de desechos Sólidos e Invernadero, pertenecientes al Departamento de Ecología y Ambiente, Sector Santa Rosa, Los Teques, Estado Miranda.

El suelo utilizado para este estudio es procedente del Campo experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicado en Santa Bárbara, Estado Monagas. Se realizó un muestreo estratificado para la recolección del suelo, en los primeros 15 cm de profundidad (Jackson, 1.982), a finales del mes de Marzo. Para ello, se utilizó una pala para excavar, colocándose en sacos para enviarlo al invernadero de PDVSA-INTEVEP. Las características agroecológicas del área, se describen a continuación:

1.1. Características Agroecológicas del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

El INIA, se encuentra ubicado en el Distrito Maturín, limitándose al Norte con el Río Amana, al Sur con la población de Mapirito, al Este con Morón y al Oeste con la población denominado Cabecera de Queregua. Esta situado entre las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Norte: 9° 35′ - 9° 37′
Longitud Oeste: 63° 35′ - 63° 37′.

1.1.1. Geología y relieve.

Desde el punto de vista geológico, el área se ubica sobre la formación mesa, cuya naturaleza litológica es de conglomerado de gravas y áreas muy gruesas, mal cementadas, con guijarros bien redondeados de diámetro variables, peñones y cantos rodados, alternando con algunas capas de arenas de diferentes tamaños, mala consolidación y escogencia, con alternación de capas de limolitas y arcillas (COPLANARH, 1.974).

1.1.2. Geomorfología y suelos.

Según COPLANARH (1.974), el INIA forma parte de la denominada Mesa llana o Meridional, cuyo material parental se estima que haya sido originado por grandes explayamiento (paleorinoco), en el cual la cuenca de ablación principal (Escudo Guayanés) está constituida fundamentalmente por rocas ígneas, ácidas y areniscas (FONAIAP, 1.990).

1.1.4. Climatología.

Para la caracterización climatológica del INIA, se tomó en cuenta la estación de Viento Fresco por constituir una de las estaciones más completas y cercanas, por lo menos hasta 1.985. (M.A.R.N.R, 1.983).

a) Precipitación.

En el Cuadro 5, se presenta los valores máximos promedios mensuales de precipitación, encontrándose en los meses de Junio y Julio, en tanto que los valores más bajos se ubican en los meses de Febrero y Marzo.

b) Temperatura.

Los valores promedios mensuales (Cuadro 5), de temperaturas medias en el año, oscilan entre 24,9 y 27,3°C. Esto nos indica que el régimen térmico a diferencia del pluviométrico, es bastante uniforme en el año. La amplitud anual referente a la temperatura media entre el mes más cálido y el mes más frío, no es mayor de 2,4°C; lo cual rectifica lo dicho anteriormente. (FONAIAP, 1.990).

Si tomamos en cuenta las temperaturas máximas y mínimas mensuales, y las analizamos en base a la diferencia entre la máxima media y mínima media, encontramos que las mayores amplitudes ocurren en los meses de menor precipitación (Enero-Abril, aproximadamente 11°C).

Cuadro 5. Datos Climatológicos de la Estación de Viento Fresco. (Período 1.972-1.985).

Parámetros Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Anual Promedio Anual
Precipitación (mm)	27,5	10,9	9,9	33,8	83,4	188,4	165,7	136,9	124,1	92,0	89,8	62,0	1024,8
Evaporación (mm)	179,3	179,5	229,9	219,7	193,0	154,0	156,0	151,8	164,0	158,4	140,7	143,6	2069,9
Temperatura Máxima (°C)	30,6	31,8	32,5	33,0	32,1	30,1	30,2	30,7	31,1	31,4	30,8	29,8	* 31,1
Temperatura Mínima (°C)	19,2	19,9	20,7	21,7	22,2	21,7	21,2	21,1	21,2	21,3	20,9	20,0	* 20,9
Temperatura Media (°C)	24,9	25,8	26,6	27,3	27,1	25,9	25,7	25,9	26,1	26,3	25,8	24,9	* 26,0

Fuente: MARNR – Zona 12, 1.983.

En el Cuadro 6 y Figura 5, se señalan los datos y curvas de precipitación y evapotranspiración potencia de la estación Viento fresco. Se observa un período pre-húmedo, el cual comienza en el mes de Mayo y termina en Junio, donde la precipitación es superior a la ½ ETP, pero inferior a la ETP. Un período húmedo B_1-B_2, comprendido entre los meses de Junio y Agosto, donde la precipitación efectiva mas reserva de agua del suelo es superior a la ETP; y un período post-húmedo B_2-C_1, donde nuevamente la precipitación efectiva mas reserva de agua en el suelo es inferior a la ETP. (FONAIAP, 1.990).

Los meses anteriores al punto de intersección A_2, es la época de preparación de tierras. El lapso A_1-B_1,es la época de la siembra, debido a que el suelo comienza a sustituir sus reservas de agua. El período B_1-B_2, es la época donde el cultivo presenta su

máxima actividad vegetativa. El período B_2-C_1, es la época que coincide con la fructificación y maduración del fruto. (FONAIAP, 1.990).

c) Evaporación.

Los valores medios anuales de evaporación en tina tipo "A", son máximos durante los meses de Marzo y Abril (229,9 y 219,7 mm), siendo los valores menores en los meses de Junio y Agosto (154,0 y 151,8 mm) en los meses de mayor precipitación (Cuadro 5). (FONAIAP, 1.990).

Cuadro 6. Balance hídrico del Campo Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

MESES	*ETP	Precipitación Efectiva.	Almacén	Exceso	Déficit
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	143,4	22,0	0	0	121,4
FEBRERO	143,6	8,7	0	0	134,9
MARZO	183,9	7,9	0	0	176
ABRIL	175,7	27,0	0	0	148,7
MAYO	154,4	66,7	0	0	87,7
JUNIO	123,2	150,7	62	0	0
JULIO	124,8	132,5	62	7,7	0
AGOSTO	121,4	109,5	50,1	0	0
SEPTIEMBRE	131,2	99,2	18,1	0	0
OCTUBRE	126,7	73,6	0	0	35
NOVIEMBRE	112,5	71,8	0	0	40,7
DICIEMBRE	114,8	49,6	0	0	65,2

* ETP: Evapotranspiración Potencial.
Estación: Viento Fresco.
Período: 1.972-1.985.
Almacenamiento asumido: 62 mm.
Profundidad asumida: 60 cm.
Método: Thornthwaite.
Unidad de suelo: Typic paleustuls francoso fino, caolinítico, isohipertérmico 2º.
Fuente: FONAIAP, 1.990.

d) Génesis de los suelos.

La Altiplanicie de la mesa, tiene una superficie relativamente estable que ha permitido la intensa y profundad actuación de la pedogénesis. Los factores formadores de los suelos que han tenido marcada influencia en la Altiplanicie de la Mesa, son el material parental, clima, tiempo y relieve. En lo relativo al material parental, en 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. Hacia la zona sur y centro de la Altiplanicie, el material parental esta constituido fundamentalmente por 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. (COPLANARH, 1.974).

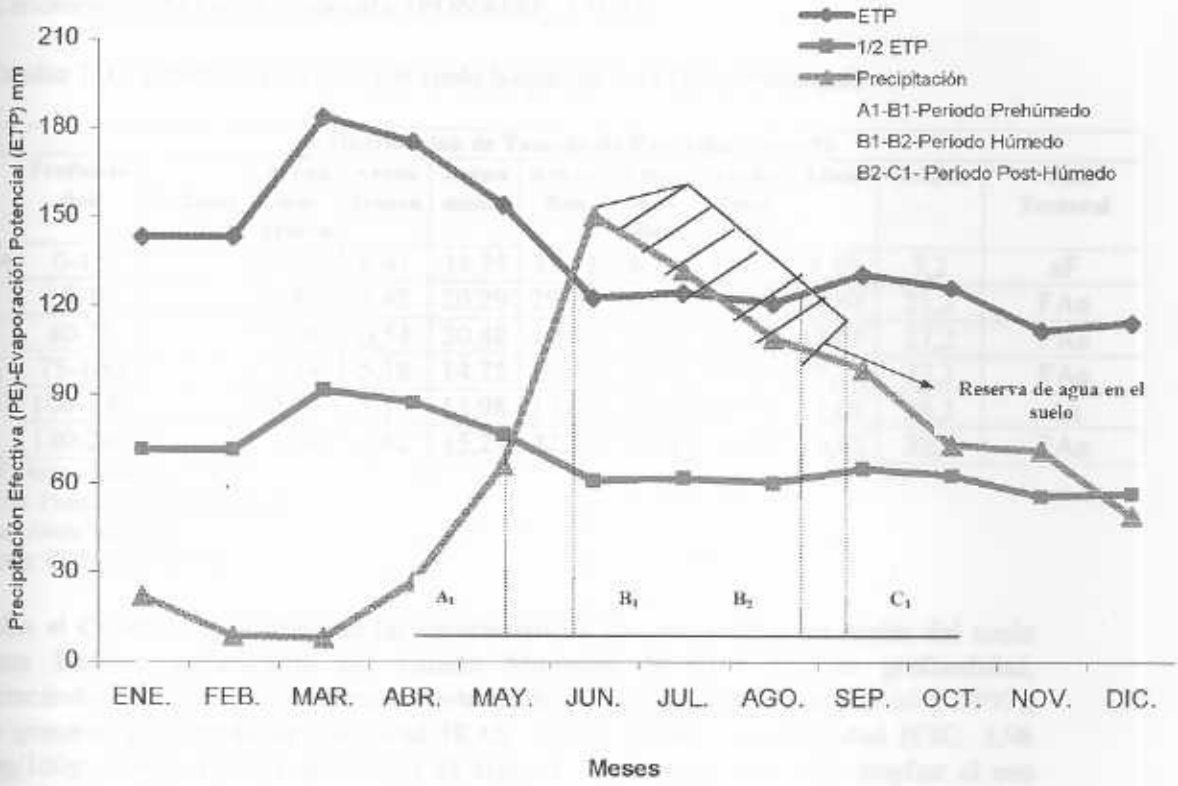


Figura 5. Curvas de Precipitación y Evaporación potencial, Estación Viento Fresco. Período 1.972-1.985.

En cuanto al clima, la influencia de éste en la pedogénesis de los suelos de sabana, ha resultado decisivo, tanto en la génesis y desarrollo de los horizontes argílicos, como en la presencia de plintita en algunos suelos. El relieve es otro factor importante en la génesis de los suelos en la sabana. La sabana tiene una topográfica alta y media, de gradiente suavemente inclinado, de suelos relativamente profundo 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 la erosión progresar a la de canalículo y hasta cárcavas. (FONAIAP, 1.990).

En el INIA, presenta en forma general, los siguientes taxones del suelo: TYPIC PALEUSTULTS, GROSSARENIC PELEUSTULTS y ARENIC PALEUSTULTS. (FONAIAP, 1.990).

e) Características dominantes del suelo.

El suelo, presenta textura areno francosa (aF) en los primeros 15 cm del perfil y franco arcillosa arenosa en los horizontes más profundos (Cuadro 7). La estructura generalmente es blocosa angular de desarrollo moderado. Tanto la capacidad de retención de humedad y la permeabilidad son de grado moderado. La fertilidad es baja

(Cuadro 8), la clase de drenaje es bien drenado y la capacidad de intercambio (Aniónico y Catiónico) es de baja a moderada. (FONAIAP, 1.990).

Cuadro 7. Clasificación textural del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas).

Muestra	Distribución de Tamaño de Partículas (mm) %										
	Profundidad	> 2mm	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Arena Total	Limo	Arcilla	*Clase Textural
Suelo: Santa Bárbara	0-15		1,79	9,41	31,75	33,33	8,79	85,25	7,55	7,2	aF
	15-40		0,86	5,42	20,29	29,10	8,89	65,17	13,63	21,2	FAa
	40-75		1,08	6,54	20,48	19,59	7,46	55,15	17,65	27,2	FAa
	75-100		1,44	5,18	14,75	19,79	9,54	50,70	17,10	32,2	FAa
	100-130		2,27	5,15	13,98	19,05	9,34	49,79	12,01	38,2	Aa
	130-200		1,04	4,82	15,29	22,29	9,44	52,88	16,92	30,2	FAa

* aF: Areno francosa.
FAa. Franco arcillosa arenosa.
Aa: Areno arcillosa.
Fuente: FONAIAP, 1.990.

En el Cuadros 8, se presenta las características físico-químicas generales del suelo Santa Bárbara proveniente del Estado Monagas de 0-15 cm de profundidad, destacándose un pH (5,5) moderadamente ácido (Casanova 1.991; Carty *et al.* , 1.997). No presenta problemas de sodicidad (RAS: 2,0) y tienen baja fertilidad (CIC: 3,98 meq/100g. suelo). Con la aplicación de riego y fertilizantes se puede ampliar el uso agrícola con cultivos tales como maiz, soya, ajonjolí y frutas como níspero, guayaba, parchita y mango. (FONAIAP, 1.990).

Cuadro 8. Características físico-química del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas).

Muestra	pH	Materia Orgánica		Densidad	RAS	SB	BI	Al^{+3}	CIC
		Carbono orgánico (%)	Nitrógeno orgánico (%)	(g/cm^3)		(%)	(meq/100 g. suelo)	(%)	(meq/100 g. suelo)
Suelo: Santa Bárbara	5,5	0,27	0,01	1,41	2,0	69,1	2,89	0,46	3,98

Fuente: FONAIAP, 1.990.

f) Uso potencial y actual.

El uso que actualmente se le confiere al campo experimental del INIA, es con fines agropecuarios, donde se realizan investigaciones con: Sorgo, girasol, plantas forrajeras: *Andropogon sp.* King-Grass, *Urochloa humidicola, Urochloa decumbens, Centrosema macrocarpum, Digitaria swazilandensis*, entre otras. Como vegetación secundaria se presentan: el cadillo bobo (*Cenchrus peloso*) el cadillo negro (*Cenchrus schinatas*) y mastranto (*Hyptis suaveolens*). Con la aplicación de riego se puede ampliar el uso agrícola con cultivos tales como maiz, soya, ajonjolí y frutas como níspero, guayaba, parchita y mango. (FONAIAP, 1.990).

2. Métodos físico-químicos.

Las metodologías utilizadas para los análisis físico-químicos en el laboratorio fueron los siguientes:

2.1. Suelo.

a) Método de "Relación de Absorción de Sodio" (RAS). TEEA, ICP 6010A.

La Relación de Absorción de sodio (RAS), mide la tendencia de la solución del suelo a producir sodio intercambiable, donde las concentraciones de sodio, calcio y magnesio (Na^{+}, Ca^{+2} y Mg^{+2}), son expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L) y esta definida según la siguiente fórmula:

$$\mathbf{RAS} = \frac{[Na^{+}]}{\text{RAIZ de } \dfrac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}$$

donde:
RAS: Realación de absorción de sodio.

Para la medición de este parámetro se realizó por pasta saturada, de la siguiente manera: se peso 100 g. de muestra, mezclándolo con porciones de agua destilada hasta que formara una película muy delgada en la superficie de la misma, posteriormente se dejó reposar por veinticuatro (24) horas a temperatura ambiente (25°C). Finalmente, se filtro y se llevó al ICP (Espectroscopia de emisión atómica por plasmas inductivamente acoplado) para determinar las fracciones de Na^{+}, Ca^{+2} y Mg^{+2}. (EPA, 1.995; Kingston, 1.994b)

Los cationes básicos (K^{+}, Na^{+}, Ca^{+2} y Mg^{+2}) obtenidos para este estudio provienen de la extracción de la pasta saturada del suelo. Este método es el más utilizado por diferentes investigadores para conocer la disposición de estas fracciones en la solución del suelo y su participación en el crecimiento de los cultivos (Jackson, 1980; Casanova, 1.991; Adams, 1.995; Carty *et al.* , 1.997).

b) Método de "pH". (EPA 9045C, 1.980).

Casanova, 1.991, señala que la determinación del pH en el suelo, es uno de los parámetros más solicitados, debido a que afecta la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo el crecimiento de las especies vegetales. El pH, expresa la concentración efectiva de los iones de hidrógenos (H^{+}) en la solución del suelo en términos de peso equivalente por litro de solución y se define como el logaritmo del valor inverso de la concentración de H^{+}:

$$\mathbf{pH} = \log \frac{1}{[H^{+}]}$$

El procedimiento para determinar el pH, se realizó por pasta saturada del suelo (Ver metodología de RAS). El extracto filtrado, se agita por 15 minutos y se colocó

directamente en el eléctrodo del equipo de pH para su determinación. El método utilizado en este estudio, es denominado "electrométrico" y consiste de un equipo medidor de pH y un electrodo, el cual es introducido en la suspensión suelo-agua estableciéndose un potencial eléctrico proporcional a la concentración de iones H^+ en la solución del suelo. (EPA, 1.980; Casanova, 1.991; Sánchez, 1.993; Adams, 1.995, Carty *et al.*, 1.997).

c) Método de "Conductividad eléctrica" (CE). (SMEWW 2520, 1.992b).

La conductividad eléctrica (CE), es un índice de la concentración de sales disueltas y su medida se basa en el principio de que la corriente eléctrica transmitida por una solución que contenga sales, aumentará a medida que la solución de sales en solución aumente. La CE, se expresa en milimhos por centímetro (mmhos/cm) o en milisiemens por centímetro (mS/cm). Este parámetro, nos indica las sales disueltas que puede contener la solución del suelo en un momento dado, ya que a valores altos de CE, puede interferir principalmente en los agregados del suelo, restándole aireación al suelo y limitando así, el oxígeno necesario para el crecimiento de las especies vegetales (Casanova, 1.991; Adams, 1.995).

El procedimiento para la medición de CE, se realizó por pasta saturada del suelo (Ver metodología de RAS). El extracto filtrado se agita por 15 minutos y se coloca en el electrodo o puente de conductividad y se obtiene los mS/cm de CE a 25°C. (SMEWW, 1.992b; Sánchez, 1.993).

d) Método de "Salinidad". (SMEWW 2520, 1.992b).

La salinidad expresa peso de sales por unidad de volumen, siendo un parámetro importante ya que afecta considerablemente el crecimiento de los cultivos.. (Casanova, 1.991). Una vez determinada la CE en el suelo; la salinidad (expresada en g/mL), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\textbf{Salinidad} = CE * 0{,}64$$

donde:
CE: conductividad eléctrica (mS/cm).

e) Método de "Cloruros" (Cl^-). (ASTM 4500, 1.988).

Las sales de cloro al igual que el pH y la CE, afectan la mayoría de los procesos biológicos y al crecimiento de las especies vegetales. Los cloruros, representa la cantidad de sales de cloro que se encuentran en la solución del suelo y se expresa generalmente en miligramos por litro (Casanova, 1.991; Adams, 1.995).

El procedimiento para la medición de cloruros, se realizó por pasta saturada del suelo (Ver metodología de RAS). El extracto filtrado se coloca en un electrodo del equipo denominado "Tritino 712", el cual por diferencias de potenciales determina los cloruros presentes en el suelo en miligramos por litro (mg/L). El procedimiento es el siguiente:

- Se toma una alicota de 5 mL. proveniente del filtrado de pasta saturada del suelo y se le añade 5 mL. de ácido nítrico 1N (HNO_3).

- Se completa con agua destilada hasta un volumen de 100 mL.
- Se titular con solución de nitrato de plata 0,014N $AgNO_3$ (ya estandarizada), hasta llegar al diferencial de potencial indicado en el equipo.
- Para determinar la concentración de cloruros de muestras problema se requiere tener conocimiento de la concentración real del titulante y del volumen que consume la titulación del blanco. (A.S.T.M, 1.980).

f) Método de "Aluminio Intercambiable" (%Al). TEEA, ICP 6010A.

El porcentaje de saturación con aluminio, es también una medida del grado de acidez de los suelos y expresa en porcentaje la cantidad de iones de aluminio que están en posiciones de intercambio en relación a la capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE), la cual generalmente se obtienen al sumar las bases intercambiables (Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ y Na^+) más aluminio (Al^{+3}) e hidrógeno (H^+), que vienen expresadas en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100g.). (Mclean, 1.965; Casanova, 1.991; Carty *et al.*, 1.997). El procedimiento consiste en:

Una muestra de 10g. de suelo, se le realiza una extracción con cloruro de potasio 1N (KCl); usando un agitador automático, por una (1) hora. Posteriormente se filtra el extracto por succión, colocándolo en recipientes plásticos. Finalmente, se llevó al ICP (Espectroscopia de emisión atómica por plasmas inductivamente acoplado) y se mide las fracciones de aluminio (Al^{+3}) e hidrógeno (H^+). (EPA, 1.995; Kingston, 1.994b). Una vez determinadas estas fracciones, Casanova, 1.991, calcula el porcentaje de saturación con aluminio, mediante la siguiente ecuación:

$$\textbf{\% Sat } Al^{+3} = \frac{Al^{+3} \text{ Intercambiable (meq/100 g. suelo)}}{\text{CIC (meq/100 g. suelo)}} \times 100$$

donde:
%Sat. Al^{+3}: Porcentaje de saturación con aluminio.
CIC: Capacidad de intercambio cationico.

g) Método de "Bases Intercambiables" (BI). TEEA, ICP 6010A.

Las bases intercambiables, representa la sumatoria de los cationes básicos de Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ y Na^+ en la solución del suelo (Casanova, 1.991). El procedimiento para la medición de este parámetro es el siguiente:

Una muestra de 10g. de suelo, se le realiza una extracción con Acetato de Amonio (NH_4 Ac); usando un agitador automático, por una (1) hora. Posteriormente se filtra el extracto por succión, colocándolo en recipientes plásticos. Finalmente, se lleva al ICP (Espectroscopia de emisión atómica por plasmas inductivamente acoplado) y se mide las fracciones de Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ y Na^+. (Jackson, 1982; Kingston, 1.994b; EPA, 1.995). Posteriormente, se calcula las BI de la siguiente manera:

$$\textbf{BI} = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ + Na^+$$

donde:
BI: Bases intercambiables(meq/100 g. suelo).

h) Método de "Capacidad de Intercambio Catiónico" (CIC). TEEA, ICP 6010A.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) de un suelo es la cantidad de cationes retenidos en forma intercambiables a un determinado pH expresado en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100g.). Generalmente se obtiene al sumar los miliequivalentes de los diferentes cationes intercambiables presentes en el suelo, los cuales son: H^+, Al^{+3}, Na^+, K^+, Mg^{+2} y Ca^{+2}. (Jackson, 1.982; Casanova, 1.991; Adams, 1.995, Carty *et al.* , 1.997). Estos son determinados por las metodologías de Aluminio Intercambiable y Bases Intercambiables, descritos anteriormente. Los cálculos de CIC, se realizan de la siguiente manera:

$$\mathbf{CIC} = H^+ + Al^{+3} + Na^+ + K^+ + Mg^{+2} + Ca^{+2}$$

donde:
CIC: Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g. suelo).

i) Método de "Saturación de Bases" (%SB). TEEA, ICP 6010A.

La saturación con bases (%SB) es la proporción de la CIC, que es ocupada por cationes básicos ($Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+$); expresada en porcentaje. La proporción de la CIC que no es ocupada por los cationes básicos, es una expresión de los cationes ácidos de $H^+ + Al^{+3}$. (Casanova, 1.991).

La fórmula usada para calcular el %SB, es:

$$\mathbf{\%SB} = \frac{BI}{CIC} \times 100$$

donde:
BI: Bases intercambiables (meq/100 g. suelo).
CIC: Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g. suelo).

Las determinaciones de Ca^{+2}, K^+, Mg^{+2}, es importante realizarlo para este estudio ya que representan los elemento más importantes que se encuentran en la planta. El calcio (Ca^{+2}) se encuentra a menudo como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas de las plantas. También se encuentran en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las celulas adyacentes. Es preciso para mantener la integridad de la membrana y forma parte de las células adyacentes. Algunas veces interfiere la capacidad del magnesio para activar las enzimas. El potasio (K^+), por su parte, actúa como coenzima o activador de muchas enzimas. La síntesis de las proteinas requiere altos niveles de potasio. El potasio no forma parte estable en la estructura de ninguna molécula que se encuentran dentro de las células de las plantas (Howard, 1.982).

Finalmente, el magnesio (Mg^{+2}), es parte esencial de la molécula de clorofila, y es necesario para la actividad de muchas enzimas incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma (Howard, 1.982).

El sodio (Na^+), no es señalado como un elemento esencial para las plantas, sin embargo, es importante conocer en que cantidad se encuentra en la solución del suelo, ya que, a valores altos de Na^+, se restringe el desarrollo de los cultivos (Casanova, 1.991). Los efectos de la salinidad en las plantas, por las altas concentraciones de Na, implican dos aspectos generales: alteración de las relaciones de agua y cambios en el balance electrolítico de los tejidos de las especies vegetales (Bravo, 1.980).

j) Método de "Humedad" (%Humedad). Termogravimétrico.

La humedad o contenido de agua de un suelo se define, como la razón entre el peso del agua de los poros del suelo y el peso de los sólidos del suelo (agregados). Se ha hecho una distinción entre la determinación del contenido de agua de las muestras que se investigan en el laboratorio y el contenido de agua que corresponde al valor instantáneo en el terreno. Este último valor se denomina humedad natural o contenido de agua del suelo y se le ha dado el símbolo W_N. El valor natural del terreno W_N variará según la ubicación de la muestra de suelo, (superficie del suelo, profundidad en el terreno, cercanía a un lago, lluvia reciente, etc). Es evidente que las muestras obtenidas por debajo del nivel de agua permanente del terreno probablemente no experimentarán cambios en el contenido de agua día tras día o año tras año. Por otra parte, las muestras del suelo cercanas a la superficie del terreno o por encima de algún nivel permanente de agua tendrán un contenido natural de humedad variable debido a factores climáticos tales como temperatura, monto, duración y proximidad de la lluvia, duración de los períodos secos. El contenido real de agua depende de la relación de vacíos, de la ubicación de la muestra y de los factores climáticos. (Joseph, 1.984).

El método más utilizado para la determinación del contenido de agua en el suelo, es el gravimétrico, donde una muestra de suelo tomada en el campo se pesa y se introduce en un horno a una temperatura de 105°C, se pesa nuevamente y la diferencia de peso húmedo y peso seco expresado en porcentaje representa el contenido de humedad en el suelo. (Brady, 1.984; Casanova, 1.991).

El método termogravimétrico, la muestra es secada directamente por la acción de rayos infrarrojo emitidos sobre la muestra humedad, mediante el uso de una balanza termogravimétrica. El procedimiento, consiste principalmente en:

- Colocar una cápsula de aluminio en la balanza termogravimétrica Mettler LP16 de secado infrarojo.
- Tarar la cápsula de aluminio y pesar 9-10 g. de muestra.
- Colocar la balanza a 150°C durante 30 min. con reporte cada 2 min.

k) Método "Densidad Aparente" (Da). Desplazamiento (Casanova, 1.991).

La Densidad aparente (Da) de un suelo, se refiere al peso por unidad de volumen de ese suelo seco en estufa. Generalmente, la densidad aparente se expresa en g/m^3, g/mL o unidades equivalente kg/L, ton/m^3 o megagramos por metros cúbicos (mg/m^3). La Densidad aparente se determina de la siguiente manera:

- Se toma un cilindro graduado (volumen 100, o 1000 mL), y se le añade un volumen conocido de agua destilada y se anota como volumen inicial (V_o).
- Se coloca en una balanza y se tara.

- A dicho cilindro con agua, se le añade cierta cantidad de muestra sólida (por ejemplo 10 g.), procurando que no queden burbujas de aire en la muestra.
- Se registra la masa de muestra, y el nuevo volumen que alcanza el agua.
- Se le resta al nuevo volumen inicial del agua destilada (V_o), correspondiendo el volumen final que ocupa la muestra.
- Finalmente, se determina la densidad, mediante la siguiente ecuación:

$$d = \frac{m}{V}$$

donde:
d: Densidad (g/ml).
m: Masa de muestra (g).
V: Volumen que ocupa la muestra (mL).

2.2. Ripio base aceite mineral

a) Método del " pH". (EPA 9045C, 1.980).

En una fiola de 250 mL, se coloca una muestra de 50 g. de ripio con 50 g. de agua (relación de ripio-agua 1:1); y se mezcló por una (1) hora en un agitador automático Finalmente, se filtro la suspensión ripio-agua y se introdujo directamente en el electrodo del equipo de pH para su lectura.

b) Método de "Conductividad eléctrica" (CE). (SMEWW 2520, 1.992b).

En una fiola de 250 mL, se coloca una muestra de 50 g. de ripio con 50 g. de agua (relación de ripio-agua 1:1); y se mezcló por una (1) hora en un agitador automático Finalmente, se filtro la suspensión ripio-agua y se introdujo directamente en el electrodo del conductimetro para su lectura en milisiemens por centímetro (mS/cm) (SMEWW 2520 A).

c) Método de "Cloruros" (Cl^-). (ASTM 4500, 1.988).

En una fiola de 250 mL, se coloca una muestra de 50 g. de ripio con 50 g. de agua (relación de ripio-agua 1:1); y se mezcló por una (1) hora en un agitador automático Finalmente, se filtro la suspensión ripio-agua, utilizando la metodología, equipo y reactivos químicos, descritos anteriormente para el suelo (Punto 1, subpunto 1.5).

d) Método de "Grasas y Aceites" (GyA). (EPA 3540, 1.994).

Las grasas y aceites están definidas como cualquier material recuperado como sustancias solubles en solventes. Esto incluye otros materiales extraidos por el solvente de una muestra ácida (compuestos sulfurados y clorofila), y no volatilizados durante el ensayo. (SMEWW, 1.975a)

Las grasas y aceites o disolventes son extraidos del agua con un solvente de extracción. Algunos de estos, especialmente grasas insaturadas y ácidos grasos se oxidan rápidamente. Las precauciones que se deben tomar al respecto son básicamente

la temperatura y el desplazamiento del vapor del solvente. (SMEWW, 1.975a). El procedimiento, es el siguiente:

Una muestra de 20 ± 0.5 g, se le realiza una extracción con diclorometano, usando el equipo denominado Soxhlet por 6 horas aproximadamente. El método es aplicado a desechos de perforación petrolera, ya sea lodos o ripios. La muestra se acidificar a un pH de 2 con 0.3 mL. de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. Posteriormente, se le extrae la humedad, utilizando 25 g de sulfato de magnesio monohidratado ($Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O$); mezclando homogéneamente hasta que se forme una pasta lisa colocándolo posteriormente en un dedal de algodón. El dedal se le coloca en la base y superficie, fibra de vidrio, con la finalidad de que la muestra no salte y contamine el diclorometano. Una vez cumplidas las seis (6) horas, la muestra es pasada por un filtro con sulfato de sodio (Na_2SO_4) de manera de extraerle el agua restante. La muestra contenida en el balón de 250 mL., se rotavapora y se lleva al desecador a una temperatura de 50°C.

Finalmente se calculan las grasas y aceites de la siguiente manera:

$$\% \text{ de GyA} = \frac{\text{Peso del extracto de GyA en balón} - \text{peso del balón vacío}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

donde:
%GyA: Porcentaje de grasas y aceites.

e) Método de "Metales Totales". Digestión, determinación ICP 6010 A. (EPA 1311, 1.992b; EPA 3540, 1.994).

Este método es aplicable a digestiones ácidas en microondas, de muestras de matrices con sílice, orgánicas y otras matrices compuestas. Cenizas, tejidos biológicos, aceites, suelos contaminados con aceites, sedimentos, y suelos pueden ser digeridos usando el método de descomposición total para determinar los metales en una muestra sólida (EPA, 1.995; Kingston, 1.994b). Este método es aplicado a los siguientes elementos:

Aluminio	Cadmio	Estroncio	Molibdeno	Selenio
Antimonio	Calcio	Hierro	Níquel	Sodio
Arsénico	Cobalto	Magnesio	Plata	Talio
Bario	Cobre	Manganeso	Plomo	Vanadio
Berilio	Cromo	Mercurio	Potasio	Zinc
Boro				

La determinación de estos metales, se realiza de la forma siguiente: una muestra representativa por encima de 500 mg. es digerida en 9 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) y usualmente 3 mL de ácido fluorhídrico (HF) por 15 min., usando para ello un microondas de calentamiento. El método es más severo cuando alternativamente se adiciona otro ácido, y reactivos combinados que incluyen ácido clorhídrico (HCl) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2). La muestra y los ácidos son colocados en vessel apropiados de fluorocarbon. El vessel es sellado y calentado en el sistema de microondas. La temperatura especificada en el manual para muestras sólidas, es 180°C aproximadamente. Luego se enfría el vessel, se filtra su contenido, se centrifuga o se decanta, diluyendo a un volumen determinado (25, 50 mL. según el caso).Finalmente,

se lleva al ICP 6010 A para determinar los metales pesados. (EPA 1311, 1.992b; EPA 3540, 1.994; Kingston, 1.994b).

f) Métodos de "Metales en Lixiviados". (COVENIN 2797-94, 1.991; EPA 3500, 1.992a).

Según la EPA, 1.992b, se considera un desecho tóxico y/o peligroso todo material que pueda originar daños permanentes, irreversibles o crónicos a la salud humana o, que pueda afectar comprobadamente al ecosistema. Las Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos, define a los Desechos peligrosos como: "Desecho en cualquier estado fisico sólido, liquido o gaseoso que presenta caracteristicas peligrosas o que esta constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades fisicas ni quimicas útiles y por lo tanto no puede ser reusado, reciclado, regenerado u otro diferente" (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998).

El procedimiento para metales en lixiviados, es el siguiente:

Para determinar los metales en lixiviados del ripio de perforación, se necesita la selección de un fluido de extracción y se realiza según el siguiente procedimiento:

- Pesar una muestra sólida seca (5 g.) y se pulveriza hasta un tamaño de partícula de 1 mm. de diámetro aproximadamente.
- Transferir a un vaso de precipitado de 500 mL y se añade 96,5 mL de agua.
- Mezclar vigorosamente con un agitador magnético durante 5 minutos (se cubre con un vidrio reloj para que no se pierda muestra).
- Medir el pH de la solución.
- Si el pH es menor que 5,0 utilice el fluido de extracción Nº 1.
- Si el pH es mayor que 5,0; se añade 3,5 mL de ácido clorhídrico 1N, y calentar a 50°C (utilizando un vidrio reloj para que no se pierda la muestra). Posteriormente se deja enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, medir el pH de la solución.
- Si el pH es menor que 5,0, se usa el fluido de extracción Nº 1, pero si es mayor de 5,0; el fluido a usar es el Nº 2.

Los reactivos químicos y la preparación del fluido, se describen a continuación:

- Fluido Nº 1: Se mide 500 mL de agua, colocándolo en un vaso de precipitado y se agregan 5,7 mL de ácido acético glacial; se le añaden 64,3 mL de hidróxido de sodio 1N y se completa con agua hasta un litro; el pH debe ser de 4,93 ± 0,05.

- Fluido Nº 2: Se mide 500 mL de agua, colocándolo en un vaso de precipitado y se agregan 5,7 mL de ácido acético glacial y se completa con agua hasta un litro; el pH debe ser de 2,88 ± 0,05.

Una vez determinado el tipo de fluido, se procede a realiza la extracción de la siguiente manera:

- Pesar 100 g de muestras y colocarla en un recipiente o botella de extracción para desechos de perforación.

- Medir la cantidad de fluido calculada vertiéndola lentamente en la botella de extracción que contiene la muestra sólida, cerrarla herméticamente
- Colocar la botella en el equipo de agitación rotatoria, a una velocidad de 30 ± 2 r.p.m durante 18 ± 2 horas (intervalo de 16 a 20 h).
- Finalizada la agitación, se filtra la extracción por succión al vacío.
- El material filtrado constituye el extracto final. El extracto acidificado se coloca en un recipiente cerrado y se mantiene refrigerado a 4 °C hasta que se realice el análisis de metales por el ICP 6010 A (EPA, 1.995; Kingston, 1.994b).
- Los metales determinados en este equipo son: Plata (Ag); Arsénico (As); Bario (Ba); Cadmio (Cd); Cromo (Cr); Níquel (Ni); Plomo (Pb); Selenio (Se) y Mercurio (Hg). (COVENIN, 1.991).

Las metodologías para la determinación de salinidad, humedad y densidad aparente, se realizaron igual que para el suelo.

2.3. Mezcla suelo-ripio base aceite mineral.

La caracterización física-química (pH, Cloruros, Conductividad eléctrica, Salinidad, Densidad Aparente, humedad, Relación de Absorción de Sodio, Aluminio Intercambiable, Bases Intercambiables, Capacidad de Intercambio Catiónico y Saturación con Bases), utilizada para la mezcla suelo ripio, fue la misma que para el suelo. Para la determinación de grasas y aceites, la metodología es igual a la aplicada al ripio base aceite mineral. (EPA 3540, 1.994).

La finalidad de las determinaciones de estos parámetros en la mezcla suelo-ripio, es fundamentalmente, conocer los cambios físico-químicos generados al incorporar el ripio en el suelo y cómo dichos cambios pueden ocasionar la reducción del crecimiento de las especies vegetales. Al determinar las grasas y aceites (al principio y final de los experimentos), nos permite evaluar la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las plantas, que representa uno de los objetivos principales en este trabajo de investigación.

3. Diseño Experimental.

El plan de procedimiento mediante el cual se recopilan datos pertinentes a un problema bajo investigación, se denomina diseño del experimento. El diseño experimental se extiende, aún más, señalando la metodología apropiada para realizar los análisis respectivos (Rivas, 1.979).

El diseño utilizado para el experimento 1 y 2; fue completamente aleatorizado, identificando los tratamientos agrupadamente a las unidades experimentales de tal forma que cualquier ubicación de ellos es posible. En este caso el diseño se construye de la forma siguiente:

1. Se define el número de tratamientos.
2. Se determina el número de unidades experimentales.
3. Se determina el número de unidades experimentales por tratamiento. Este número debe ser el mismo para cada tratamiento, es decir, que si tenemos cuatro tratamientos y cuarenta parcelas, se deben dar diez parcelas a cada tratamiento. Sin embargo, si el área y el material disponible (semillas, fertilizante, etc.) son

desiguales para cada tratamiento, se pueden incluir más tratamientos a una o otra unidad experimental sin afectar los resultados. (Monzón, 1992).

4. Métodos Estadísticos.

a) Análisis estadístico de varianza o comparación de medias (prueba: t=tukey).

Según Goulden, (1.952), el análisis de varianza es un procedimiento aritmético, que permite calcular estimaciones de los componentes de variación existentes en un grupo de observaciones heterogéneas. Además permite realizar pruebas de significación.

Monzón, (1.992), describe la prueba "t" con el siguiente ejemplo: Si se realiza cuatro tratamientos en un diseño experimental, tres pueden resultar iguales y uno distinto, entonces se plantea la siguiente interrogante:

$$\overline{X_1} > \overline{X_2} > \overline{X_3} > \overline{X_4}$$

¿La primera puede ser mejor que la tercera y la cuarta? ¿y que la segunda?.
¿La segunda puede ser mejor que la tercera y la cuarta?
¿La segunda puede ser mejor que la cuarta y no que la tercera?, etc.

La existencia de un número grande de casos, obliga a aclarar los resultados de estos tratamientos. Existen varios métodos para realizar tal aclaratoria, ellos dependen de cual haya sido el objetivo del experimento y de cuales sean las suposiciones básicas sobre el material que el mismo esté dispuesto a aceptar. El método de la mínima diferencia significativa (m.d.s) basado en la prueba "t", se establece mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\overline{X_i} - \overline{X_e}}{s_{\bar{d}}}$$

donde:

$\overline{X_i}$ = Media del grupo i

$\overline{X_e}$ = Media del grupo e

$s_{\bar{d}}$ = error típico de la diferencia entre medias

En un análisis de varianza con "n" observaciones por grupo, el error típico de la diferencia entre medias, viene dado por:

$$s_{\bar{d}} = \text{RAÍZ} \frac{2V}{n}$$

donde:

V: es una estimación de σ^2

σ: es la desviación típica de una observación.

El valor de "t" tiene los mismos grados de libertad que posee el error experimental o sea k (n-1). Si lo comparamos contra el valor tabulado de "t" para la probabilidad de 0,05 y resulta que el valor calculado es mayor que el tabulado, la diferencia de medias es significativa.

Tal razonamiento nos permite simplificar el mecanismo de pruebas, haciendo necesario comparar cada media contra las otras y calcular el valor de "t" en cada casos de la siguiente manera:

Si

$$t = \frac{\overline{X_i} - \overline{X_e}}{s_{\bar{d}}}$$

Podemos despejar la diferencia

$$\overline{X_i} - \overline{X_e} = t * s_{\bar{d}}$$

Esta diferencia (para un valor dado del error típico) será mínima y también significativa, cuando "t" tenga el valor tabulado para k (n-1) grados de libertad y probabilidad 0,05. Esta es la m.d.s. para un análisis de varianza determinado, luego se ordenar las medias y proceder a realizar las comparaciones de la misma forma para encontrar cuáles son las medias responsables de las diferencias entre tratamientos en un determinado diseño experimental (Monzón, 1.992).

A continuación se presentan los estudios estadísticos (t=tukey) realizados en el diseño experimental para los experimentos 1 y 2, señalando el procedimiento y variable a la cual se le aplicó los análisis estadísticos antes citados.

Experimento 1: Determinación de la máxima dosis que tolera la planta bioindicadora de maíz (*Zea mays*).

Se utilizó un análisis estadístico de comparación de medias (t= tukey; $p<0,05$) en la biomasa seca total, para ello se promediaron las cinco réplicas de cada una de las concentraciones de grasas y aceites en el suelo. Posteriormente, se compararon todas las medias de biomasa seca total para determinar el grado de significación entre ellas.

Experimento 2: Determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en el suelo por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*.

Se realizaron comparaciones de medias de la biomasa seca total de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* mediante un análisis estadístico de medias (t= tukey; p<0,1). Los estudios estadísticos se realizaron por separado para cada una de las especies vegetales entre el control y la concentración máxima de tolerancia determinada en el experimento 1. Además de esto, se calcularon los promedios de grasas y aceites al final de la cosecha haciendo comparaciones de la disminución de grasas y aceites entre estas especies vegetales mediante el método estadístico antes citado (t= tukey; p<0,1).

b) Análisis estadístico de regresión simple.

A menudo estamos interesados en determinar si una variable tiene algún efecto sobre otra, es decir, si entre ellas existe una relación funcional de causa efecto y si tal efecto existe, queremos cuantificarlo y poder predecirlo con un cierto margen mínimo de error (Kreyszig, 1.981). Por ejemplo, para el caso de este trabajo de investigación, si estamos añadiendo ripio base aceite mineral al suelo, nos preguntamos: ¿Responde las especies vegetales a la aplicación en el suelo de una determinada concentración de grasas y aceites en ripios? ¿Podemos predecir el comportamiento del crecimiento de estas plantas a una concentración de grasas y aceites mezclado con suelo en particular?

En el ejemplo, la variable "x" representa, en el mismo orden expuesto; la concentración de grasas y aceites en ripio agregada al suelo. El efecto en cuantificar, también se puede denominar variable dependiente y denotarlo "y"; siendo siempre aleatorio. El valor que adquiera en un momento en particular la variable "y" será función del valor de la variable "x", por lo tanto, se puede denotar en la siguiente expresión:

$$y = f(x)$$

Esa función de "x", matemáticamente puede tomar formas diversas, desde una sencilla ecuación lineal, logarítmica, exponencial, cuadrática, polinómica etc., hasta estar dada en función de más de una variable independiente. Este tipo de estudio se denomina "Análisis de Regresión" (Kreyszig, 1.981).

El análisis de regresión lineal simple nos permite verificar el estudio de una población bivariable, con las características del análisis de correlación, y los efectos de dependencia entre dos variables. La correlación, es el grado de asociación que existe entre dos variables aleatorias, y es medido a través de un coeficiente llamado coeficiente de correlación "ρ" en poblaciones y "r" en muestras (García *et al.* , 1979).

El análisis de regresión simple, se realizó para el experimento 2 con la finalidad de observar los efectos de dependencia entre dos variable. Para ello, se evaluaron las variables: biomasa seca total vs tiempo, de manera de determinar la influencia de la concentración de grasas y aceites en el suelo en el tiempo sobre el crecimiento de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*. Con estas consideraciones, se sacrificaron dos recipientes en tres intervalos de tiempo (46, 66 y 86 días respectivamente) y se le determinó la biomasa seca total. Finalmente, obtenido el valor de biomasa seca total, se procedió a realizar el análisis de regresión simple gráficamente.

Los métodos estadísticos antes citados son ampliamente utilizados por los investigadores para observar las disminuciones de hidrocarburos en suelo con diferentes especies vegetales, donde se emplea como referencia para diseños experimentales a nivel de invernadero (Hutchinson *et al.* , 2.000b; Wiltse *et al.* , 1.998; Chaineau *et al.* , 2.000; Amakiri *et al.* , 1.984; Miller *et al.* , 1.980ayb).

A continuación se presenta el diseño experimental, tratamientos, caracterización físico-química (suelo, ripio y su mezcla) y la utilización de las especies vegetales (manejo y mediciones); para los dos experimentos realizados. La realización de estos dos experimentos no van por separado, el primero determina, la dosis máxima de grasas y aceites en ripio mezclado con el suelo para el crecimiento de la especie vegetal de maíz (*Zea mays*), utilizada como bioindicadora. El segundo experimento, utiliza la dosis derterminada en el primer experimento, con la finalidad de evaluar la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites en ripio mezclado con el suelo por las especie vegetales seleccionadas (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*).

5. Experimento 1.

Determinación de la concentración máxima de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento del maíz (*Zea mays*).

El período experimental se realizó entre los meses de Mazo y Abril, la fecha de iniciación, fue el 27 de Marzo y finalizó el 7 de Mayo de 2.001, con un total de 40 días de observación.

5.1. Diseño experimental y Tratamientos.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado para comparar seis (6) tratamientos, cuyos tratamientos se describen a continuación:

Control: T_0: Suelo Santa Bárbara sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

T_1: Suelo Santa Bárbara mezclado con el 1% de grasas y aceites en ripio sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

T_2: Suelo Santa Bárbara mezclado con el 2% de grasas y aceites en ripio sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

T_3: Suelo Santa Bárbara mezclado con el 3% de grasas y aceites en ripio sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

T_4: Suelo Santa Bárbara mezclado con el 4% de grasas y aceites en ripio sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

T_5: Suelo Santa Bárbara mezclado con el 5% de grasas y aceites en ripio sembrada con la especie vegetal maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora.

En todos los tratamientos se realizaron seis réplicas y se colocaron en recipientes plásticos de 5 Kg. Para la determinación de las diferentes dosis de grasas y aceites, se

partió del valor obtenido en el laboratorio de grasas y aceites (7,12%) y se mezcló las proporciones de ripio (1 al 5%) con el suelo como se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tratamientos y proporciones de suelo-ripio, para la determinación de la máxima concentración de grasas y aceites que tolera el maíz (*Zea mays*).

Tratamientos %G/A	Proporción de Ripio/recipiente (g)	Proporción de Suelo/recipiente (g)	Peso total de la mezcla (g)
0 (Control)	0	1.800	1.800
1	257,14	1.542,86	1.800
2	514,29	1.285,71	1.800
3	771,43	1.028,57	1.800
4	1.028,57	771,43	1.800
5	1.285,71	514,29	1.800

5.2. Manejo y caracterización físico-química del suelo.

Una vez llegado al invernadero la muestra de suelo proveniente de Santa Bárbara (Edo. Monagas), se procedió a colocarlo en bandejas plásticas con la finalidad de trasladarlos al desecador con una temperatura de 50°C por 24 horas, para eliminar la humedad del mismo.

Transcurridos las 24 horas, la muestra de suelo se pasó por un tamiz de 2 mm. con la finalidad de extraerle cualquier resto vegetal o animal. Posteriormente, se mezcló el contenido de todas las bandejas para homogenizarlo y se colocaron en recipientes plásticos limpios para iniciar la mezcla del suelo con el ripio.

El suelo se caracterizó mediante los análisis físico-químico siguientes: pH, cloruros, conductividad eléctrica (CE), salinidad, humedad, densidad aparente (Da), Aluminio intercambiable (%Al), Relación de Absorción de Sodio (RAS), bases intercambiables (BI) y saturación con bases (SB) (Jakson, 1.982; Casanova, 1.991; EPA 1.980; EPA, 1.988; SMEWW, 1.992b).

Las determinaciones de RAS, pH, CE y salinidad, se realizaron con la finalidad de conocer la sodicidad, alcalinidad o acidez y sales disueltas en la solución del suelo. El %SB, %Al, BI y CIC, nos indica como están dispuestos los cationes básico (NA^{+}, K^{+} Ca^{+2} y Mg^{+2}) y ácidos (H^{+} y Al^{+3}) en el complejo de intercambio iónico del suelo y las posibles influencia en el desarrollo de la especie vegetal utilizada en este experimento. Además, nos proporciona referencia de las condiciones iniciales del suelo, es decir, el suelo antes de que se le incorpore el ripio base aceite mineral.

5.3. Manejo y caracterización físico-química del ripio base aceite mineral.

El ripio de perforación utilizado fue base aceite mineral proveniente de perforaciones en las cercanías de Santa Bárbara, Estado Monagas. Una vez llegado al invernadero el ripio base aceite mineral, se colocó en diferentes bandejas plásticas para homogenizarlo. Posteriormente, se procedió a determinar los siguientes parámetros físico-químicos: grasas y aceites, pH, cloruros, Conductividad eléctrica (CE), salinidad, densidad aparente (Da), humedad, metales totales y en lixiviados.

Las determinaciones de pH, CE, cloruros, salinidad, humedad, grasas y aceites, metales pesados y en lixiviados, en el ripio, se realizaron con la finalidad de conocer si cumplen con los requerimientos establecidos en la Normativa Venezolana para el esparcimiento del ripio en suelo (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998), es decir, conocer si estos parámetros son adecuados para realizar las mezclas suelo-ripio para las realizaciones de los diseños experimentales en este estudio. Al tener un parámetro que no cumpla con el decreto, se tiene que buscar una técnica de tratamiento para adecuarlos a los requisitos de la Normativa ambiental. Además, de evaluar las condiciones iniciales y los posibles cambios físico-químicos al mezclar el ripio con el suelo.

5.4. Manejo y caracterización físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral.

Una vez determinado la composición físico-química inicial del suelo y ripio, se procedió a mezclarlo manualmente en bandejas plásticas para homogenizarlo. Para ello, se determinó previamente las grasas y aceites en los ripios en el laboratorio de manera de calcular las concentraciones para cada tratamiento utilizado en el diseño experimental. La mezcla del suelo con el ripio en cada tratamiento, se realizó en bandejas plásticas por separado, de manera tal, que no haya contaminación de grasas y aceites entre los mismos. En cada tratamiento, se le determinó inicialmente las grasas y aceites para verificar que corresponde con las concentraciones de grasas y aceites calculadas en este estudio. Finalmente, se procedió a realizar la siembra del maíz con la finalidad de determinar la máxima dosis de grasas y aceites que tolera esta planta.

La caracterización de la mezcla suelo-ripio se determinó con los mismos análisis efectuados para el suelo. Las determinaciones físico-químicas se realizaron inicialmente y al final del experimento (40 días), con la finalidad de evaluar los cambios generados en el transcurso del tiempo de evaluación. Las grasas y aceites no se determinaron al final, debido a que el objetivo de este experimento es determinar la concentración que tolera la especie vegetal de maíz y no evaluar las disminuciones de este parámetro por tratamiento.

5.5. Descripción, manejo y mediciones de la especie vegetal maíz (*Zea mays*).

La especie vegetal bioindicadora utilizada para la determinación de la concentración de máxima tolerancia de grasas y aceite en los ripios, fue el maíz (*Zea mays*), variedad IMECA. Las características generales de esta planta, se presentan a continuación:

a) Descripción.

El maíz es una especie vegetal de la familia de las gramíneas, originaria de América y cultivada desde los tiempos más remotos, siendo la base de alimentación de nuestro pueblo. Es usada también para alimentar animales, ya sea el grano o como forraje. Posee numerosas variedades y su forma silvestre se desconoce todavía (Zoraida, 1.963).

La especie vegetal del maíz, tiene 2 m. de altura; culmos robustos; vainas anchas, imbrincadas; láminas dística, elongadas, anchas; racimos de inflorescencia masculina numerosos, 10-15 cm. de largo, laxos, la central más o menos erecto; inflorescencia femenina o sea la mazorca, muy variable (Zoraida, 1.963). Existen 700 géneros con

8.000 especies. En Venezuela se han reportan 142 géneros, teniendo una distribución amplia. (Badillo, *et al.* , 1.985).

Esta planta, ha sido utilizada en diferentes estudios como bioindicadora para el crecimiento bajo el efecto de los hidrocarburos en el suelo, tomándose de referencia para investigaciones posteriores con otras especies vegetales de la misma familia. (Amaniki *et al.* , 1.984; Chaineau *et al.* , 1.997; Miller *et al.* , 1.980ayb; Sánchez *et al.* , 1.999; Sánchez *et al.* , 2.000). Además, es una de las gramineas con más alto porcentaje de pregerminación, presentando múltiples variedades y semillas certificadas en el mercado, lo que facilita la realización de diseños experimentales a escala de invernadero y campo. Por estas razones, se seleccionó esta especie vegetal con el objetivo de determinar la concentración de grasas y aceites en ripio mezclado con suelo, concentración que se utilizará para realizar del segundo experimento.

b) Manejo.

b.1. Pregerminación del maiz (*Zea mays*).

Para la pregerminación, se colocaron las semillas de maíz, en bandejas plásticas forradas con toallas de papel húmedas, añadiéndole agua destilada dos veces al día. A los diez (10) días, se midieron las plántulas con la finalidad de obtener plantas lo más homogéneas posibles entre los tratamientos y las replicas.

Una vez pregerminadas las semillas se transplantaron directamente en la mezcla suelo-ripio. Cada tratamiento tuvo cuatro (4) individuos, posteriormente a los 20 días se realizó un entresacado dejando solamente un (1) individuo por recipiente, de manera tal de no restarle espacio en el suelo a la raíz para la absorción de nutrientes y evitar competencia de luz, agua y nutrientes entre los individuos. Los riegos se realizaron dejando un día intermedio en todos los tratamientos. Para ello se midió 50 mL de agua potable en un cilindro, de manera de tener uniformidad en el riego entre los tratamientos. Los riegos en los primeros 20 días, fueron con 50 mL. Posteriormente, se le añadió 100 mL a cada tratamiento, debido al desarrollo de la planta. Los riegos efectuados en este experimento, se consideraron a titulo personal.

b.2. Fertilización del maíz (*Zea mays*).

La fertilización se realizó con la finalidad de aportarle nutrientes al suelo para el crecimiento satisfactorio de la planta. El maíz, posee unos requerimientos para su crecimiento, el INIA (2.001), recomienda 100 Kg de N/ha para un ciclo vegetativo eficiente en campo. En el Cuadro 10, se realizaron los cálculos para una fertilización básica en diseños experimentales a escala de invernadero. Para ello se fraccionó en tres intervalos de tiempo añadiendo 1,54 g/N por recipiente cada 10 días.

Cuadro 10. Fertilización del Maíz (*Zea mays*).

Diámetro Recipiente (cm)	Área m^2	Fertilizante recipiente (g)	Nitrógeno en fertilizante	N/recipiente (g)
14	0,015386	0,000215	14	1,5386

Fuente: Cálculos generados en el Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos de PDVSA-INTEVEP con la dosis recomendada de fertilizante por el INIA, 2.001.

El fertilizante se diluyó con agua destilada y se le aplico al momento del riego. Para ello, se mezclo 1,54 g/N en 50 ml. de agua a los 10 días y en los otros dos intervalos (20 y 30 días) 1,54 g/N en 100 ml. de agua. La dilución en los dos últimos interbalos es mayor, debido al mayor crecimiento de la de la planta, manteniéndose la dosis de fertilizante.

c) Mediciones y/o determinaciones.

En el maíz (*Zea mays*), se determinaron variables como: altura y área foliar. Para las mediciones de la altura se colocó una regla desde la base del tallo de la planta alargándola hasta la punta y para el área foliar, la medida se realizó a lo largo y en la base de la hoja. Las mediciones se realizaron cada 5 a 10 días.

En la determinación de la biomasa seca total, la cosecha se realizó a los 40 días para el maíz. El procedimiento consistió en el sacar totalmente la planta (tallo, hoja y raiz) del recipiente, luego se colocó en una balanza para determinarle el peso húmedo, posteriormente, se colocó en bolsas de papel debidamente identificada por tratamiento, para trasladarlas al desecador a una temperatura de 60°C por 24 horas. Finalmente por diferencia de peso húmedo y seco de la especie vegetal, se determinó la biomasa seca total por tratamiento.

La determinación de altura y biomasa seca total, se realizó con la finalidad de calcular las reducciones al incorporar el ripio en el suelo, es decir, comparar la mezcla suelo-ripio en sus diferentes concentraciones con respecto al tratamiento control sin ripio. Esto nos permite evaluar la influencia del ripio base aceite mineral en el crecimiento de esta especie vegetal. Para los cálculos de las reducciones de estas dos variables, se tomaron los datos obtenidos al final del estudio (40 días).

Los porcentajes de reducciones de altura y biomasa seca total, se realizaron con respecto al control mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{\% reducción bajo la influencia del ripio base aceite mineral de altura} = \frac{\text{A (control: suelo sin ripio)} - \text{A (suelo + concentración de ripio)}}{\text{A (control: suelo sin ripio)}} \times 100$$

$$\text{\% reducción bajo la influencia del ripio base aceite mineral de biomasa seca total} = \frac{\text{BST (control: suelo sin ripio)} - \text{BST (suelo + concentración de ripio)}}{\text{BST (control: suelo sin ripio)}} \times 100$$

donde:

A: Altura (cm).
BST: Biomasa seca total (mg/m^2).

Los resultados obtenidos en las reducciones de altura, área foliar, biomasa seca total y con los estudios estadisticos (t= tukey; $p<0,05$) calculados en esta última variable, tienen la finalidad de determinar la concentración máxima de grasas y aceites que tolera esta planta, concentración utilizada para realizar el experimento 2.

6. Experimento 2.

Determinación de la tolerancia y/o disminución de aceites y grasas por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales de gramíneas (*Urochloa decumbens*).

El período experimental se realizó entre los meses de Junio, Julio y Agosto, la fecha de iniciación, fue el 18 de Junio y finalizó el 12 de Septiembre de 2.001, con un total de 86 días de observación.

6.1. Diseño experimental y Tratamientos.

Una vez determinada la concentración máxima de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento de la planta de maíz (*Zea mays*) utilizada como bioindicadora, se procedió a determinar la capacidad de las especies *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*, en tolerar y/o disminuir el contenido de grasas y aceites en el ripio.

Cada especie vegetal con la dosis óptima de grasas y aceites en el suelo tuvo dos controles. Un control con planta sin ripio y otro sin planta fertilizado con ripio. Esto con la finalidad de observar la contribución de la planta en la disminución de grasas y aceites.

En todos los tratamientos se realizaron seis réplicas y se colocaron en recipientes plásticos de 5 Kg. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado para comparar siete tratamientos:

Cuadro 11. Tratamientos para la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*.

TRATAMIENTOS	DOSIS DE ACEITE MINERAL EN EL RIPIO	ESPECIE VEGETAL	OBSERVACIONES
0-1	0%	*Urochloa decumbens* (Silvestre)	Controles: Permite evaluar el crecimiento de la especie vegetal sin ser sometidas al ripio base aceite mineral.
0-2	0%	*Urochloa decumbens* (Semillas comerciales)	
0-3	0%	*Cynodon nlemfuensis* (Silvestre)	
0-4	0%	Sin plantas (Fertilizando)	Control: Permite evaluar la pérdida de grasas y aceites por volatilización, lixiviación y fertilización.
1	Dosis óptima determinada con maíz	*Urochloa decumbens* (Silvestre).	Permite evaluar el efecto de la disminución de grasas y aceite por la especie vegetal (fitorremediación).
2	Dosis óptima determinada con maíz	*Urochloa decumbens* (Semillas Comerciales)	
3	Dosis óptima determinada con maíz	*Cynodon nlemfuensis* (Silvestre)	

En el Cuadro 12, se observa la proporción de suelo-ripio utilizada para la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*. Estas mezclas se realizaron para los tratamientos 1, 2 y 3 (Cuadro 10).

Cuadro 12. Tratamiento y proporciones de suelo-ripio, para la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*.

Tratamientos %G/A	Proporción de Ripio/recipiente (g)	Proporción de Suelo/recipiente (g)	Peso total de la mezcla (g)
Control: 0-4	2057,14	2742,86	4,800
1,2 y 3	2057,14	2742,86	4,800

6.2. Manejo y caracterización físico-química del suelo.

El manejo del suelo fue igual al experimento 1 (punto 5; subpunto 5.2). El suelo se caracterizó mediante los análisis físico-químico siguientes: pH, cloruros, conductividad eléctrica (CE), salinidad, humedad, densidad aparente (Da), Aluminio intercambiable (%Al), Relación de Absorción de Sodio (RAS), bases intercambiables (BI) y saturación con bases (SB). (Casanova, 1.991; EPA 1.980; EPA, 1.988; SMEWW, 1.992b).

6.3. Manejo y caracterización físico-química del ripio base aceite mineral.

La utilización y manejo del ripio, son iguales al experimento 1 (punto 5; subpunto 5.3). Se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos: grasas y aceites, pH, cloruros, Conductividad eléctrica (CE), salinidad, densidad aparente (Da), humedad, metales totales y en lixiviados.

6.4. Manejo y caracterización físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral.

El manejo y caracterización para la mezcla suelo-ripio, se realizó igual que el experimento 1 (punto 2.5; subpunto 4). Las determinaciones físico-químicas se realizaron inicialmente y al final del experimento (86 días), con la finalidad de evaluar los cambios generados en el transcurso del tiempo de evaluación. Las grasas y aceites se determinaron en el inicio y al final, con la finalifdad de evaluar las posibles disminuciones de grasas y aceites en ripio mezclados con suelo. Las grasas y aceites obtenidos al final del experimento se le realizaron estudios estadísticos (t=tukey; $p<0,1$); con el objetivo de determinar la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites entre las especies vegetales seleccionas.

6.5. Descripción, manejo y mediciones de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* **y** *Cynodon nlemfuensis*

Para el experimento 2, se utilizaron las especies silvestre *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*, ya que presentaron dominancia y alta adaptación en las áreas cercanas donde se tratan los ripios de perforación en Santa Bárbara (Estado Monagas), además se realizaron estudios con semillas comerciales de *Urochloa decumbens*, con la finalidad de realizar comparaciones entre las dos formas de siembra (sexual y asexual).

6.5.1. Descripción.

a) Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*).

Es una especie de origen africano, presenta un raquis angosto, en forma de media luna. El cultivar mas conocido y de uso más amplio es el cv. Basilisk (pasto alambre o pasto chontalpo). Este cultivar se adapta bien a los suelos ácidos e infértiles. Forma una pastura agresiva, de alto rendimiento, que resiste el pastoreo intensivo y el pisoteo de los animales. Es una gramínea palatable de buena calidad nutricional y los animales que la consumen presentan un buen desempeño. Por otro lado tenemos que este cultivar puede causar fotosensibilización en el ganado (Guzmán, 1.996).

Miles *et al.* , (1998), consideró a la *Urochloa decumbens* como la especie que se adapta mejor al trópico húmedo de Australia, donde la época seca dura menos de 4 meses y la precipitación anual es de mas de 1.400 mm. En el trópico húmedo americano, el uso de *U. decumbens* se restringe mas por limitaciones bióticas que por condiciones físicas. Sin embargo en el clima fuertemente estacional de las sabanas isotérmicas de los cerrados brasileños, *U. decumbens* cv. Basilisk se cultiva en regiones en que la estación seca dura hasta 7 meses y la precipitación puede llegar a 1.300 mm. Esta especie se adentra más que la *U. humidicola* en las zonas más secas. *U. brizantha* tiene reputación de tolerar mejor la sequia que las *U. decumbens* o que la *U. humidicola*. Las tres especies se dan bien durante todo el año en el pie de monte de la cordillera oriental de los andes colombianos, donde la precipitación supera los 4.000 mm.

a.1. Características agronómicas.

La *Urochloa decumbens*, presenta un rebrote rápido y buena persistencia bajo defoliación intensa o frecuente, observándose una tasa de crecimiento de hasta 100 Kg/ha/día. Además tiene una buena tolerancia a la sombra y a las sequias prolongadas.

Es compatible con las leguminosas persistiendo durante mucho tiempo en asociación con algunas de ellas, como la siembra con *Stylosanthes capitata* en un suelo arenoso de Carimagua y la asociación con *Pueraria phaseoloides* la cual persistió durante 10 años en un suelo franco arcilloso (Guzmán, 1.996).

En Venezuela la *U. decumbens* domina en áreas donde el drenaje es relativamente bueno.

El género Urochloa se adaptan a suelos ácidos de baja fertilidad, esta especie se establecen en una amplia variedad de tipos de suelos, desde Oxisoles y Ultisoles (ácidos de baja fertilidad) hasta los Alfisoles y Mollisoles (neutros de alta fertilidad). Su desempeño es mucho mejor en suelos ácidos que el de otras gramineas (Guzmán, 1.996).

b) Pasto Estrella de Puerto Rico (*Cynodon nlemfuensis*).

Es originaria del sureste de África tropical, su desarrollo se da desde 1.800-2.000 m.s.n.m., en una amplia variedad de suelos, desde ligeramente arenosos hasta arcillosos, de baja fertilidad y moderadamente ácidos y con problemas de drenaje interno, siempre y cuando no estén sometidos a largo periodos de aguachinamiento. Es resistente a

temporadas secas. Es una graminea perenne, desarrolla numerosos estolones de crecimiento bajo, tallos erectos y entrenudos largos. Los tallos florales alcanzan hasta un metro de altura y sus hojas son exfoliadas (Colombo, 1.995).

Su uso principal es para pastoreo, pero pudiera ser utilizado en la elaboración de heno (Fundación servicio para el agricultor, 1.986).

b.1. Características del género.

El género Cynodon es de la tribu chlorideae y agrupa ocho especies: (*C acthipicus; C. Arcuatus; C. Barberi; C. Trausralensis; C. Plectostachyus; C. Incompletus; C. nlemfuensis y C. dactylon* (L) pers. (Remmy *et al.* , 1.979).

Son plantas perennes, herbáceas, de hábito estolonifero y vainas foliares hendidas hasta la base. Presenta ligula membranosa. Las láminas foliares sin aurículas, planas, conduplicadas o convulatas. Inflorescencia en espigas unilaterales, digitadas, verticiladas, algunas veces aplanadas, con raquis continuo. Espiguillas 1 (2-3) flores, comprimidas lateralmente, 2 seriadas, alternas e imbricadas. Gluma 2, papirácea, iguales o desiguales en longitud, 1 nervadas, flores hermafroditas, chasnogamas, estambres 3, ovario con 2 estilos y estigmas plumosos, lodiculas 2, carióside comprimido sin surco (Hafliger *et al.* , 1.981; Clayton *et al.* , 1.986, citado por Díaz *et al.* , 1.994; Colombo, 1.995).

En Venezuela, el género Cynodon, es de amplia distribución (Schnee, 1.984); esto pudiera ser debido a la adaptabilidad de la planta a diversos suelos y su agresividad en suelos de baja fertilidad.

c) Manejo.

1. Semillas comerciales (sexuales) de *Urochloa decumbens*

1.1. Pregerminación del Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*).

Para la pregerminación, se colocaron las semillas de *Urochloa decumbens*, en bandejas plásticas forradas con toallas de papel húmedas, añadiéndole agua destilada dos veces al día. A los diez (10) días, se midieron las plántulas con la finalidad de obtener plantas lo más homogéneas posibles entre los tratamientos y las replicas.

Una vez pregerminadas las semillas se transplantaron directamente en la mezcla suelo-ripio. Cada tratamiento tuvo cuatro (4) individuos, posteriormente a los 20 días se realizó un entresacado dejando solamente un (1) individuo por recipiente, de manera tal de no restarle espacio en el suelo a la raiz para la absorción de nutrientes y evitar competencia de luz, agua y nutrientes entre los individuos. Los riegos se realizaron dejando un dia intermedio en todos los tratamientos. Para ello se midió 50 mL. de agua potable en un cilindro, de manera de tener uniformidad en el riego entre los tratamientos. Los riegos en los primeros 20 dias, fueron con 50 mL., posteriormente se le añadió 100 mL. a cada tratamiento, debido al desarrollo de las planta. Los riegos efectuados en este experimento se consideraron a titulo personal.

2. Semillas silvestre (asexuales) de *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis.*

Las especies vegetales *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis* provenientes de Santa Bárbara, Edo. Monagas se sembraron por cinco (5) días en suelo de la misma localidad. Esto con la finalidad de aclimatar las plantas en el invernadero, posteriormente se transplantó una (1) planta por recipientes con la concentración máxima determinada en el experimento 1. Los riegos se realizaron igual a la *Urochloa decumbens*, sembradas con semillas sexuales.

Se analizaron grasas y aceites en el agua percolada de riego para determinar la pérdida de esta fracción por lixiviación de forma acumulativa cada 15 días. Para el momento del muestreo, se añadió el agua de riego dejando que lixiviara totalmente en la bandeja, posteriormente se colocaron en recipientes plásticos debidamente identificados para cada tratamiento. Para preservar la muestra se le añadió HCl (relación 1:1) y se colocó a 4°C en el refrigerador.

3. Fertilización de las especies *Urochloa decumbens* **(silvestre y semillas comerciales) y** *Cynodon nlemfuensis*.

Las deficiencias nutricionales de los pastos tropicales radican principalmente por la baja fertilidad de los suelos. En tal sentido, Oquendo *et al.* , (1983), recomiendan para los pastos cultivados, dosis de fertilizante a razón de 40 Kg. de N/ha/año para un ciclo vegetativo eficiente. La fertilización se realizó a razón de 3.14 g.N/recipiente de manera de cubrir con los requerimientos básicos de nutrientes para el crecimiento de las especies *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*

En el Cuadro 13, se muestran los cálculos para un recipiente de 20 cm de diámetro (5 Kg.). La fertilización para las especies vegetales seleccionadas se realizó a intervalos de tres dosis: 5,15 y 30 días respectivamente.

Cuadro 13. Fertilización para las especies: *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*.

Diámetro Recipiente (cm)	Área (m^2)	Fertilizante recipiente (g)	Nitrógeno en Fertilizante	N/recipiente (g)
20	0,0314	0,000440	14	3,14

Fuente: Cálculos generados en el Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos de PDVSA-INTEVEP con la dosis recomendada de fertilizante por el INIA, 2.001.

El fertilizante se diluyó con agua destilada y se le aplico al momento del riego. Para ello, se mezclo 3,14 g/N en 50 ml. de agua a los 10 días y en los otros dos intervalos (20 y 30 días) 3,14 g/N en 100 ml. de agua. La dilución en los dos últimos interbalos es mayor, debido al mayor crecimiento de la de la planta, manteniéndose la dosis de fertilizante.

4. Mediciones y/o determinaciones.

En todos los tratamientos sembrados con las especies vegetales: *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*, se determinaron variables como: altura y biomasa seca total (tallo, hoja, raiz). Para las mediciones de la altura se colocó una regla desde la

base del tallo de la planta alargándola hasta la punta. Las mediciones de altura, se determinaron con la finalidad de calcular las reducciones de esta variable y compararlas con el tratamiento control, de manera de evaluar la influencia del ripio base aceite mineral en el crecimiento de estas plantas. Las mediciones de altura se realizaron al inicio y al final (86 días) del estudio.

La biomasa seca total, se determinó en tres intervalos de tiempo 46, 66 y 86 días respectivamente. Para ello, se peso en una balanza toda la planta y se colocó en la estufa a 60°C por 48 horas para secarla, finalmente por diferencia de peso húmedo y seco se determinó esta variable. Además, se realizaron gráficos de regresión y cálculos de las reducciones de biomasa seca total, con la finalidad de evaluar la influencia del ripio base aceite mineral en el crecimiento de las especies vegetales, durante estos tres intervalos de tiempo.

Para los cálculos de las reducciones de estas dos variables, se tomaron los datos obtenidos al final del estudio (86 días). El porcentaje de reducciones de altura y biomasa seca total, se realizaron con respecto al control mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{\% reducción bajo la influencia del ripio base aceite mineral de altura} = \frac{\text{A (control: suelo sin ripio)} - \text{A (suelo + concentración de ripio)}}{\text{A (control: suelo sin ripio)}} \times 100$$

$$\text{\% reducción bajo la influencia del ripio base aceite mineral de biomasa seca total} = \frac{\text{BST (control: suelo sin ripio)} - \text{BST (suelo + concentración de ripio)}}{\text{BST (control: suelo sin ripio)}} \times 100$$

donde:

A: Altura (cm).
BST: Biomasa seca total (mg/m^2).

Los estudios estadísticos (t=tukey; $p<0,1$), se realizaron en la biomasa seca total, con el objetivo de observar las diferencias entre tratamientos. Los mismos, se realizaron por separado, es decir, cada especie vegetal bajo la influencia del ripio base aceite mineral con el tratamiento control, esto se debió, al hábito de crecimiento de las plantas; siendo en la *Urochloa decumbens* macollante, mientras que en la *Cynodon nlemfuensis*, es estolonífera. (Colombo, 1.995).

CAPITULO IV.
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

VI. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. Experimento 1.

Determinación de la concentración máxima de grasas y aceites en el ripio para el crecimiento del maíz (*Zea mays*).

1.1. Composición físico-química del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas).

La composición físico-química del suelo Santa Bárbara, se muestra en el Cuadro 14, destacándose un pH (5,63) moderadamente ácido (Casanova 1.991; Carty *et al.* , 1.997), este valor es similar al reportado en el campo experimental Santa Bárbara del FONAIAP (1.990), para este mismo suelo (pH de 5,5). No presenta problemas de salinidad (CE: 0,24 mS/cm) y tienen bajos niveles de cloruros (14,72 mg/L). Estas características son representativas de un suelo de textura arenosa típicos de las áreas de sabana (FONAIAP 1.990).

La relación de absorción de sodio (RAS), porcentaje de aluminio intercambiable (%Al), saturación con bases (SB), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (BI) se muestran en el Cuadro 15. Estos valores en general, indican que se trata de un suelo extremadamente pobre en nutrientes (CIC 3,0) y no se esperarían problemas de sodicidad (RAS: 2,0) ni de acidez del suelo (%Al: 1,9) (Adams, 1.995; Carty *et al.* , 1.997). Los valores CIC (3,0) son semejantes a los reportados en el FONAIAP (CIC 3,98), sin embargo, los análisis de la fracción de %SB (96,3) son altos comparados con los reportados por los investigadores (%SB: 69,1) para el mismo suelo (FONAIAP, 1.990). Las causas de las diferencias de los %SB pueden ser diversas, entre ellos están: disposición de las fracciones catiónicas (Ca^{++}, Mg^{++} K^{+} y Na^{+}) en la solución del suelo (Jackson, 1.982; Holt *et al.* , 1.990), medio de extracción en el laboratorio y técnicas de muestreo, etc. (Adams, 1.995; Carty *et al.* , 1.997).

El porcentaje de humedad, es bajo, debido a la evaporación (Marzo: 229,9 mm) del agua en el campo experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (Cuadro 5), siendo a finales de este mes, cuando se muestreo el suelo para trasladarlo al invernadero del Departamento de Ecología y Ambiente de PDVSA-INTEVEP. Además, hay que considerar que posiblemente en el traslado y mezcla del suelo en las bandejas, hubo pérdida de humedad.

La densidad aparente obtenida en este estudio es baja, considerando que es un suelo suelto y poroso (textura: Areno francosa). Hay que considerar que suelos con altos contenidos de materia orgánica o carbonato de calcio, tienen densidades aparentes bajas, debido a que ambos materiales son menos pesados que la fracción mineral del suelo. Además, la materia orgánica aumenta la estabilidad de los agregados en el suelo. Generalmente, se considera un valor ideal de densidad aparente en suelos de 1,2-1,3 g/cm^3. (Casanova, 1.991).

Los resultados de laboratorio (Cuadro 14 y 15), indican que la muestra de suelo Santa Bárbara posee condiciones físico-químicas (textura, estructura, pH, cloruros, salinidad, RAS y Al^{+3}) adecuadas para el crecimiento del cultivo del maíz bajo condiciones de fertilización, riego o precipitación en la zona (FONAIAP, 1990).

Cuadro 14. Análisis Físico-químico Inicial del Suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas).

Muestra	pH	Cloruros (mg/L)	C.E. (mS/cm)	Salinidad (g/L)	Humedad (%p/p)	Densidad aparente (g/mL)
Suelo: Santa Bárbara	5,63	14,72	0,24	0,16	0,30	1,43

Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Cuadro 15. Análisis de Saturación con Bases (%SB), Bases Intercambiables (BI), Aluminio Intercambiable (%Al), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Relación de Absorción de Sodio (RAS) del suelo Santa Bárbara (Edo. Monagas).

Muestra	RAS	SB (%)	BI (meq/100 g. suelo)	Al^{+3} (%)	CIC (meq/100 g. suelo)
Suelo Santa Bárbara	2,0	96,3	2,9	1,9	3,0

Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

1.2. Composición físico-química del ripio base aceite mineral.

La composición físico-química del ripio base aceite mineral, se muestran en el Cuadro 16. El valor de pH (9,48), indica que el ripio es extremadamente alcalino, el porcentaje de grasas y aceites (7,12%) es considerado alto para el esparcimiento en el suelo (Gaceta Oficial 5.212, Decreto 2.635, 1.998). Estos resultados son semejantes a los encontrados por Sánchez *et al.* , (1.999), donde determinaron las grasas y aceites (6,6%) en ripios similares de otros pozos aledaños al Estado Monagas. La conductividad eléctrica (CE: 5,6 mS/cm) indica que el ripio es altamente salino. Hutchinson *et al.* , (2.001b), ha reportado valores similares para desecho impregnado con hidrocarburo, donde obtuvo una conductividad eléctrica alta (6 mS/cm).

Los parámetros de CE, pH y %G/A, son considerados extremadamente altos de acuerdo a las exigencias del Decreto 2.635; Artículo 50, para el esparcimiento del ripio en el suelo. Por esta razón es necesario aplicar una tecnología que permita adecuar estos parámetros antes de disponerlos en el suelo.

Cuadro 16. Análisis Físico-químico Inicial del ripio base aceite mineral.

Muestra	pH	Cloruros (mg/L)	C.E. (mS/cm)	Salinidad (g/L)	Humedad (%p/p)	Densidad aparente (g/mL)	G/A (%p/p)
Ripio base aceite mineral	9,48	285,22	5,6	3,6	3,97	1,44	7,12
***Decreto 2635**	**5-8**	**< 2.500**	**< 3,5**	**NA**	**NA**	**NA**	≤ 1

*Niveles exigidos por la normativa para esparcimiento en suelos (Decreto 2.635, artículo 50).

NA: No aplica.

Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

En los Cuadros 17 y 18, se muestra la concentración de metales totales y en lixiviados de los ripios de perforación analizados, según lo exige el artículo 50, del Decreto 2.635 que regula la práctica de esparcimiento en suelo.

Los parámetros determinados indican que los desechos cumplen con los niveles de metales totales y en lixiviados (TCLP) exigido por el Decreto 2.635. De estos resultados

se concluye que los ripios base aceite mineral pueden ser tratados con las diferentes prácticas (biotratamiento, composteros, etc.) para disminuir la concentración de aceites y grasas a los niveles exigidos por el Decreto 2.635 (≤ 1%), y así obtener un desecho que pueda ser dispuesto en forma segura al ambiente.

Cuadro 17. Análisis de metales totales de los ripios base aceite mineral.

Muestra	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Ag
			(mg/L)				
Ripio base aceite mineral	10.560	< 0,02	74,2	39,95	52,9	159	< 0,05
***Decreto 2.635:**	**20.000**	**8**	**300**	-	**150**	**300**	**5**

*Niveles exigidos por la normativa para esparcimiento en suelos (Decreto 2.635, artículo 50, Anexo D).
Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Cuadro 18. Análisis de metales en el lixiviado de los ripios base aceite mineral.

Muestra	As	Ag	Ba	Cd	Cr (VI)	Ni	Pb	Se	Hg
				(mg/L)					
Ripio base aceite mineral	< 0,05	< 0,05	2,67	< 0,01	0,08	< 0,05	0,19	< 0,05	< 4
***Decreto 2.635:**	**5**	**5**	**100**	**1,0**	**5**	**5**	**5**	**1**	**200**

*Niveles exigidos por la normativa para esparcimiento en suelos (Decreto 2.635, artículo 50, Anexo D).
Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Los cambios físico-químico generados al incorporar las diferentes concentraciones de grasas y aceites en ripio base aceite mineral al suelo, se describen en forma conjunta con el crecimiento del maíz (*Zea mays*) en el siguiente punto. En cada tratamiento, se le determinó inicialmente las grasas y aceites para verificar que correspondan con las concentraciones de grasas y aceites en cada tratamiento. No se determinaron las grasas y aceites al final del estudio, debido a que el objetivo de este experimento es determinar la concentración que tolera el maíz y no evaluar las disminuciones de este parámetro.

1.3. Efectos de diferentes concentraciones de grasas y aceites en el ripio base aceite mineral sobre el crecimiento de la especie bioindicadora de maíz (*Zea mays*).

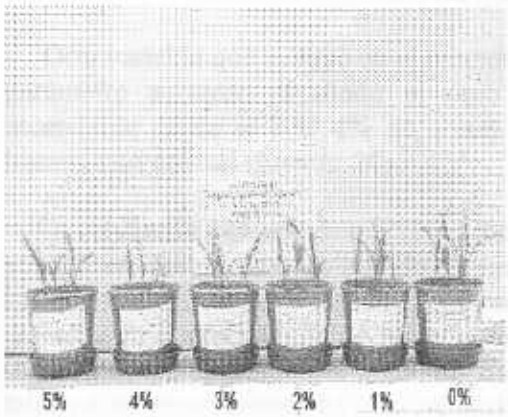
En el Cuadro 19, se muestra los valores promedios finales de altura, área foliar y biomasa seca total de la planta de maíz por tratamiento, encontrándose a los 40 días una disminución significativa desde 1 al 5% de concentración de grasas y aceites en ripio con respecto al tratamiento control, siendo el 5% el que prácticamente no crecieron (Figura 6). Los valores reportados indican que al añadir el ripio al suelo la altura se reduce desde un 52% hasta un 89% entre la concentración de 1 al 5% de grasas y aceites en suelo. Esto es consecuencia del aumento del pH y CE en la mezcla suelo ripio.

En la Figura 6, se observa las disminuciones del crecimiento de las plantas de maíz al incorporar 1 al 5% de grasas y aceites comparados con el control. Por otra parte, a los 20 días de siembra, las plantas presentan un comportamiento de adaptación de la mezcla suelo ripio, encontrándose 4 individuos por recipiente. Posteriormente, a los 30 días de siembra, se evidencia la tendencia de disminución entre 1 al 5% con respecto al control; para este momento solo había un individuo por recipiente, esto se hizo con la finalidad de no restarle espacio a las raíces y competencia entre individuos por tratamiento de luz, agua y nutrientes.

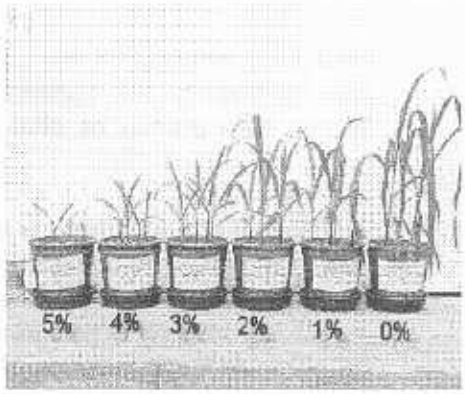
Cuadro 19. Promedios de Altura, Área Foliar y Biomasa de Plantas de Maíz (*Zea mays*) por tratamiento a los 40 días.

*Tratamientos/ Concentración de ripio base aceite mineral	Altura (cm)	Reducción de altura (%)	Área Foliar (cm^2)	Reducción de área foliar (%)	Biomasa seca total (mg/m^2)	Reducción de Biomasa seca total (%)
T_0(0%)	95	0	23,07	0	168,77	0
T_1(1%)	46	52	9,65	58	40,42	76
T_2(2%)	37	61	7,61	67	32,20	81
T_3(3%)	32	67	4,31	81	24,10	86
T_4(4%)	20	79	2,71	88	10,69	94
T_5(5%)	10	89	2,07	91	0,61	100

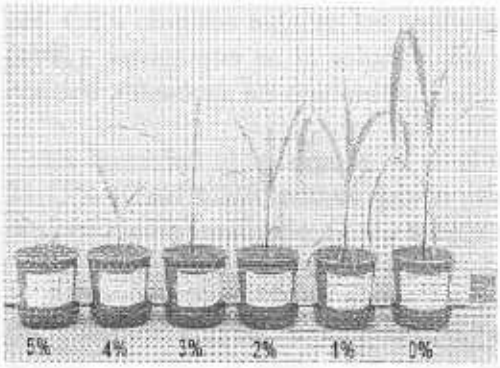
* T_0: Control: Suelo.
T_1: Suelo mezclado con el 1% de ripio base aceite mineral.
T_2: Suelo mezclado con el 2% de ripio base aceite mineral.
T_3: Suelo mezclado con el 3% de ripio base aceite mineral.
T_4: Suelo mezclado con el 4% de ripio base aceite mineral.
T_5: Suelo mezclado con el 5% de ripio base aceite mineral.
Fuente: Invernadero del Departamento de Ecologías y Ambiente de PDVSA INTEVEP. 2.001.



Tiempo Inicial
(15 días después de la siembra).



Tiempo Intermedio
(20 días después de la siembra).



Tiempo Final
(40 días después de la siembra)

Comportamiento del crecimiento de la planta bioindica de maíz *(Zea mays)* **en la concentración del 5% de ri base aceite mineral.**

Figura 6. Crecimiento de la planta bioindicadora de maíz (*Zea mays*) con diferentes concentraciones de grasas y aceites en ripio con suelo.

El área foliar, al igual que la altura, tuvo una reducción del 58 a 91%, cuando se incorporó 1 al 5% de grasas y aceites en suelo (Cuadro 19). Las razones, son principalmente por los cambios químicos ocurridos en el suelo. A continuación, se describe los parámetros que influyeron en las reducciones de altura, área foliar y biomasa seca total.

Al aplicar ripio al suelo hay un aumento del parámetro pH con respecto al suelo original (Cuadro 20), confiriéndole un carácter moderadamente alcalino (Carty, *et al.* , 1.997). Esta misma tendencia fue obtenida por Miller *et al.* , (1.980a), donde realizó estudios sobre los efectos del ripio base agua en diferentes suelos, observando que los valores de pH aumentaron de 5,3 a 9 cuando se incorporaba el ripio base agua en el suelo de Carolina del Norte. Estos investigadores concluyen que el aumento del pH al incorporar el ripio base agua con respecto al suelo inicial, disminuye considerablemente el crecimiento de las plantas. Las razones del incremento del pH, se debe a que los ripios, además de las grasas y aceite contienen otros compuestos como: sales disueltas (NaOH, KCl, NaCl, etc.) entre otros, que le confieren la alcalinidad y salinidad indicada a la mezcla final (Millller *et al.* , 1.980a; Vásquez *et al.* , 1.998), aumentando de esta manera los iones OH^- (Casanova, 1.991).

Otra variable que influyó en el crecimiento de las plantas, son los cloruros (Cl^-), Este parámetro aumentó al añadir el ripio al suelo, observándose un comportamiento ascendente desde el 1 al 4% de grasas y aceites en el suelo en comparación con el tratamiento control (Cuadro 20).

La conductividad eléctrica (CE) y salinidad, aumentaron al añadir 1 al 5% de grasas y aceites en suelo. Esto es debido, a los intercambios iónicos ocurridos en el suelo (principalmente de sales disueltas que contienen los ripios: NaCl, NaOH, KCl, etc.) que disminuyen el crecimiento de las especies vegetales al incorporar el desecho (Miller *et al.* , 1.980a; Vásquez *et al.* , 1.998). Esta tendencia del incremento proporcionado en tales parámetros también ha sido señalada en la literatura. En este sentido, Miller *et al.* , (1.980a), obtuvieron incrementos de 6 a 8 mS/cm de CE al incorporar ripios base agua al suelo. Estos autores concluyen que al incorporar sales provenientes de los ripios, los pH, CE y cloruros reducen los rendimientos del maiz y frijoles. Así mismo, Casanova (1991), señala que en la solución del suelo con una CE mayores a 2 mS/cm reduce considerablemente los rendimientos de los cultivos.

La humedad al incorporar el 1 al 4%, aumento de forma ascendente de 0,4% a 21,15% (Cuadro 20); esto es debido principalmente a los riegos frecuentes (dejando un día intermedio) realizado a cada tratamiento.

Al incorporar el 5% de grasas y aceites en suelo, hubo diferencia de los parámetros pH, Cloruros, CE, humedad y densidad con respecto a el tratamiento del 4% de grasas y aceites en ripio (Cuadro 20). Esto posiblemente es debido a interferencias en las técnicas de laboratorio (filtrado, peso de muestra, homogenización de la muestra, equipo mal calibrado, etc.), riego en cada recipiente y a los posibles cambios en los agregados del suelo por efecto del ripio.

Cuadro 20. Análisis Físico-químico de la Mezcla Suelo-Ripio Base Aceite Mineral por Tratamiento a los 40 días.

[1]Tratamientos/ concentración de ripio base aceite mineral	pH	Cloruros (mg/L)	CE (mS/cm)	Salinidad (g/L)	Humedad (%p/p)	Densidad aparente (g/mL)
T_0 (0%)	5,63	14,72	0,24	0,16	0,30	1,43
Ripio base aceite mineral	9,48	285,22	5,6	3,6	3,97	1,44
Mezclas suelo ripio base aceite mineral						
T_1 (1%)	8,63	161,65	1,50	0,96	18,62	1,54
T_2 (2%)	8,62	272,40	1,98	1,27	19,40	1,25
T_3 (3%)	8,65	438,09	3,13	2,01	21,03	1,36
T_4 (4%)	8,61	888,12	3,91	2,50	21,15	1,31
T_5 (5%)	8,56	735,73	4,93	3,15	19,41	1,20
[2]Decreto 2635	**5-8**	**< 2.500**	**< 3,5**	**[3]NA**	**NA**	**NA**

1. T_0: Control: Suelo sin ripio base aceite mineral.
   T_1: Suelo mezclado con el 1% de ripio base aceite mineral.
   T_2: Suelo mezclado con el 2% de ripio base aceite mineral.
   T_3: Suelo mezclado con el 3% de ripio base aceite mineral.
   T_4: Suelo mezclado con el 4% de ripio base aceite mineral.
   T_5: Suelo mezclado con el 5% de ripio base aceite mineral.
2. Niveles exigidos por la normativa para esparcimiento en suelos (Decreto 2.635, artículo 50).
3. **NA:** No aplica.

Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Considerando que no se realizaron análisis texturales, al incorporar 1 al 5% de grasas y aceite en ripio en el suelo, esta posiblemente también influyo en la reducción del crecimiento del maíz. Casanova, (1.991) y Carty *et al.* , (1.997), señalan que cambios producidos en la estructura del suelo producen una reducción sustancial de los microporos y macroporos restándole aireación (espacio poroso total) inhibiendo de esta manera los procesos de mineralización de los compuestos orgánicos y nutrientes para la nutrición de las plantas.

1.4. Selección de la máxima concentración de grasas y aceites para el crecimiento del maíz (*Zea mays*).

En el Cuadro 21, se observa los estudios estadísticos realizados en la biomasa seca total a los 40 días de estudio, señalando que hay diferencias altamente significativas al incorporar del 1 al 5% de grasas y aceite al suelo con respecto al tratamiento control sin ripio, las causas de estas son principalmente a los cambios químicos al incorporar el ripio en el suelo, como se describió anteriormente.

Al realizar comparaciones estadísticas entre las concentraciones de 1, 2 y 3% de grasas y aceites en suelos, no hay diferencia significativas: entre el 1 y 2% ($p < 0,970$) y entre 1 y 3% ($p < 0,652$). (Cuadro 21). La comparación de reducción de biomasa seca total así lo determina. Entre la concentración de grasas y aceites en ripio del 2% con respecto al 1%, hubo una diferencia de reducción de biomasa seca total del 5%. Asimismo, entre la concentración de grasas y aceites de 3% y el 1%, la diferencia de reducción de biomasa seca total se encontró en un 10% (Cuadro 19).

Esto evidencia que las plantas de maíz toleran la concentración del 3% en forma similar al 1% de grasas y aceites en el suelo, concentración establecida por la normativa venezolana para esparcimiento de ripios en suelos (Gaceta Oficial 5.212; Decreto 2.635, 1.998). Estos resultados son semejantes a los reportados por Sánchez *et al.* , (1.999), donde se estudiaron concentraciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6% de grasas y aceites minerales en suelo sobre la producción de biomasa seca total del maíz, observándose que a concentraciones de 2 y 3% grasas y aceite en el suelo no tuvieron diferencias con el 1%. La reducción de biomasa seca total entre 2 y 1% de grasas y aceites obtenidas para ese estudio, fue 9%, mientras que entre las concentraciones de 3 y 1% de grasas y aceites un 17%.

Cuadro 21. Análisis de Varianza (t= tukey, p<0.005) de biomasa seca total por tratamientos de la planta bioindicadora de maíz (*Zea mays*).

	Medias (g/m^2)					
	168,7721	40,41871	32,20213	24,09632	10,69081	0,6146707
Tratamientos	**T_0**	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**	**T_5**
T_0		[1]0,000138	[1]0,000138	[1]0,000138	[1]0,000138	[1]0,000138
T_1	[1]0,000138		[2]0,9704160	[2]0,65152	[1]0,096133	[1]0,012172
T_2	[1]0,000138	[2]0,970416		[2]0,972092	[2]0,365881	[2]0,067367
T_3	[1]0,000138	[2]0,652152	[2]0,972092		[2]0,806686	[2]0,276719
T_4	[1]0,000138	[1]0,096133	[2]0,365881	[2]0,806686		[2]0,931461
T_5	[1]0,000138	[1]0,012172	[2]0,067367	[2]0,276719	[2]0,931461	

F(5,24)= 66,66; p<0,0000

Números en rojo: Diferencias estadísticas altamente significativas.

Números en negro: No son estadísticamente significativas.

Es importante señalar que la especie *Zea mays* es una de las gramíneas más susceptibles a cambios físico-químicos (pH, CE, RAS, etc.). Los valores obtenidos en el Cuadro 20, así lo demuestran, los aumentos del pH, CE y cloruros disminuyeron sustancialmente la biomasa seca total a partir del 1% de concentración de grasas y aceites en el suelo con respecto al control sin ripio. Esta planta tiene dificultades en su rendimiento cuando están presentes déficit de minerales, suelos mal drenados, pH >6,5 y CE mayores a 2 mS/cm (Marcano, 1.987). Estos efectos fueron estudiados también por Carty *et al.* , (1.997) y Casanova, (1.991), señalando que las concentraciones de sales y sodio intercambiable altas, una RAS mayor de 15, CE mayor de 4 mS/cm y un pH mayor de 8,5 le confiere al suelo una característica salino-sódica, que interfiere en el crecimiento del maíz.

Debido al análisis estadístico de medias (t=tukey; p<0,05) realizado en la biomasa seca total, a las reducciones de la altura, área foliar, biomasa seca total obtenidas en este primer experimento, se seleccionó la concentración de 3% de grasas y aceites en ripio como limite de tolerancia de crecimiento de plantas forrajeras (Gramíneas) a utilizar. Además, se consideraron los resultados obtenidos anteriormente realizados a esta investigación. (Amaniki *et al.* , 1.984; Chaineau *et al.* , 1.997; Miller *et al.* , 1.980ayb; Sánchez *et al.* , 1.999, Sánchez *et al.* , 2.000).

---

[1] Números en rojo: Diferencias altamente significativas.

[2] Números en negro: No son estadísticamente significativas

2. Experimento 2.

Determinación de la tolerancia y/o disminución de aceites y grasas por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales de gramíneas (*Urochloa decumbens*).

Una vez determinada la concentración máxima de grasas y aceites para el crecimiento del maíz (*Zea mays*), se realizó un segundo experimento con la finalidad de determinar de la tolerancia y/o disminución de aceites y grasas por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales de gramíneas (*Urochloa decumbens*).

2.1. Efectos de la composición físico-química de la mezcla suelo-ripio base aceite mineral en la disminución de la concentración de grasas y aceites a los 86 días por las gramíneas seleccionadas.

La composición físico-química de la mezcla suelo-ripio a los 86 días, se muestra en el Cuadro 22. Al igual que el experimento con maíz, el pH, conductividad eléctrica y cloruros aumentaron al añadir el 3% de grasas y aceites al suelo con respecto al control sin ripio. Este comportamiento se observó en todos los tratamientos bajo el efecto de esta concentración, tanto en el control sin planta fertilizado como en los tratamientos sembrados con las especies vegetales: *Urochloa decumbens.* (silvestre), *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* (silvestre).

Cuadro 22. Análisis Físico-químico final por tratamiento a los 86 días.

Tratamientos	pH	Cloruros (mg/L)	C.E.[2] (mS/cm)	Salinidad (g/L)	Humedad (%p/p)	Densidad aparente (g/mL)
Urochloa decumbens (Silvestre) Control	5,70	14,10	0,93	0,59	13,02	1,45
Urochloa decumbens (Silvestre) 3% grasas y aceites	8,30	381,53	2,61	1,67	17,89	1,56
Urochloa decumbens (Comerciales) Control	6,68	18,56	1,02	0,65	15,80	1,74
Urochloa decumbens (Comerciales) 3% grasas y aceites	8,25	293,81	2,24	1,43	21,19	1,68
Cynodon nlemfuensis. (Silvestre) Control	6,43	21,83	1,11	0,72	14,41	1,53
Cynodon nlemfuensis (Silvestre) 3% grasas y aceites	8,37	357,93	2,54	1,63	18,57	1,51
Control: Sin planta + Fertilización 3% grasas y aceites	8,30	277,68	2,12	1,36	18,70	1,59

1 Grasas y aceites.
2. Conductividad eléctrica.
Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Considerando la mezcla suelo-ripio como matriz de estudio para el crecimiento de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*, los pH reportados en cada uno de los tratamientos con 3% de grasas y aceites son mayores que 8, lo que le confiere un carácter moderadamente alcalino (Casanova, 1.991). Esto es debido a que el ripio, además de grasas y aceites, contiene sales disueltas (KCl, NaCl, etc), que le confiere la alcalinidad a la mezcla suelo-ripio (Vásquez *et al.* , 1.998).

Generalmente, en las plantas, los cationes monovalente son más rápidamente absorvidos que los divalentes, los aniones monovalentes se absorven más rápidamente que los polivalentes. Por ejemplo, una sal como el K_2SO_4 puede ser fisiológicamente ácida porque el K^+ penetra más rápidamente que el SO_4^-, dejando el medio enriquecido en iones SO_4^-, que al reaccionar con los iones H^+, expulsados por la raíz producen H_2SO_4 disminuyendo el pH de la solución del suelo. El $CaCl_2$ es fisiológicamente alcalina porque los iones Cl^- son más rápidamente absorvidas que los iones Ca^{+2}, produciéndose la expulsión de iones OH^- o HCO_3^- por parte de la planta y la formación de $Ca(OH)_2$ o $Ca(HCO_3)_2$, con el resultado neto de una subida del pH del medio. (Bravo, 1.980).

La formación de los suelos alcalinos obedece a una o más de las siguientes causas: áreas áridas y semiáridas donde las lluvias no son suficientes para lavar los cationes básicos de los suelos (Ca^{+2}, Mg^{+2} , K^+ , Na^+), Ascenso de la mesa de agua hacia la superficie de los suelos, llevando consigo sales en solución, las cuales son depositadas en la superficie o en el primer horizonte cuando el nivel de agua desciende o cuando el agua es evaporada de la superficie, Materiales parentales que contienen una alta cantidad de bases y mantienen suelos jóvenes con pH altos, manejo del agua con altas concentraciones de sales (Casanova, 1.991) y suelos disturbados con ripio de perforación con altos contenidos de sales disueltas (Miller *et al.* , 1.980a; Vásquez *et al.*, 1.998).

Al igual que el pH, los cloruros aumentaron al realizar la mezcla suelo ripio en todos los tratamientos con 3% de grasas y aceites en ripio con respecto a los controles sin ripio, lo que evidencia el aumento de sales en el medio. Se ha comprobado que los cloruros tienen una característica bien marcada en cuanto su movilización en el suelo, este efecto ocurre en lapsos muy cortos y pueden variar en el tiempo (Adams, 1.995; Leuterman 1.990). Las plantas absorben más cloruros (Cl^-) que lo que requieren, ya que este elemento generalmente acompaña como anión en la mayoría de los cationes en el suelo (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+ y Na^+). Al incorporar fertilizante en el suelo, las fracciones catiónicas se solubilizan por efecto del agua de riego o precipitaciones aumentando de esta manera los cloruros en la solución del suelo (Casanova, 1.991).

Los valores de salinidad son calculados de forma empírica (Salinidad = CE*0,64), lo que establece que el comportamiento de este es igual a la CE en todos los tratamientos. La densidad aparente por su parte, no presentaron variabilidad entre las diferente especies vegetales al 3% de grasas y aceites con respecto al control.

La humedad, tuvo pequeños incremento al incorporar el 3% de grasas y aceites en el suelo con respecto al control sin ripio. Esto se debe a los riegos aplicados en cada recipiente y posiblemente a las fuerzas de adhesión y cohesión del agua en la mezcla suelo-ripio base aceite mineral. Casanova, (1.991); señala que cuando las partículas sólidas del suelo atraen moléculas de agua, éstas son fuertemente retenidas debido a fuerzas de adhesión y el agua bajo estas condiciones es llamada agua de adhesión, la

cual tiene pocas posibilidades de moverse, y por lo tanto, no es aprovechable por las plantas. Sin embargo, el agua de adhesión es removida cuando el suelo se seca en el horno a 105°C en el laboratorio. Cuando el efecto de atracción de las partículas del suelo sobre el agua no es tan fuerte, entonces las moléculas de agua en la zona de hidratación más externa se unen entre si por sus ligamentos de hidrógeno, constituyendo el agua de cohesión de mayor movimiento y aprovechabilidad por las plantas (Casanova, 1.991).

Los resultados obtenidos de CE (Cuadro 22) y RAS (Cuadro 23) para todos los tratamientos aumentaron comparados con los controles (sin ripios); por ejemplo, en el control sin ripio con la especie *Urochloa decumbens* (silvestre) se obtuvo 0,93 mS/cm de CE y 1,52 de RAS. Al añadirle ripio para obtener 3% de grasas y aceite al suelo, estas fracciones aumentaron a 2,61 mS/cm para la CE y 27,05 de RAS, esto evidencia la influencia del ripio en la cantidad de sales disueltas en la solución del suelo. Casanova, (1,991); Carty *et al.* , (1.997), señalan que los valores de RAS deben ser inferiores a 10 para no tener problemas con sodio en el suelo. El Decreto 2.635, establece para la práctica de esparcimiento en suelo un pH de 5-8 y un RAS<8, lo que indica que los resultados obtenidos en este experimento el RAS está por encima, es decir, 3,4 mayor a lo establecido en esta normativa.

En el Cuadro 23, se muestra los valores de CIC por tratamiento, indicando un aumento al incorporar 3% de grasas y aceites como ripio al suelo, este patrón obedece a las fracciones catiónicas Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+} y Na^{+} (Cuadro 24) en la solución del suelo con ripio. En este estudio, los iones de Na^{+} están en mayor proporción que los de Ca^{++}, Mg^{++} y K^{+}, este hecho le confiere a la mezcla de suelo-ripio un carácter salino-sódico (Casanova, 1.991). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Miller *et al.* , (1.980a), cuando al incorporar ripio base agua en suelos de Carolina del Norte, los valores de CIC aumentaron de 7,4 a 9-10 meq/100g. de suelo. Holt *et al.* , (1.990), por su parte, señala que la CIC puede variar en el tiempo, ya que las precipitaciones solubilizan y movilizan estos componentes en la matriz del suelo.

Cuadro 23. Análisis de Saturación con Bases (%SB), Bases Intercambiables (BI), Aluminio Intercambiable (%Al), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Relación de Absorción de Sodio (RAS) a los 86 días.

Tratamientos	% SB	BI (meq/100 g.suelo)	% Al	CIC (meq/100 g.suelo)	RAS
Urochloa decumbens (Silvestre) Control	95,54	1,07	2,17	1,12	1,51
Urochloa decumbens (Silvestre) 3% grasas y aceites	98,44	8,86	0,77	9,00	27,05
Urochloa decumbens (Comerciales) Control	97,09	1,00	1,21	1,03	2,35
Urochloa decumbens (Comerciales) 3% grasas y aceites	99,40	8,40	0,24	8,45	31,07
Cynodon nlemfuensis (Silvestre) Control	94,90	0,93	2,15	0,98	2,20
Cynodon nlemfuensis (Silvestre) 3% grasas y aceites	99,21	6,33	0,34	6,38	29,12
Sin planta + Fertilización 3% grasas y aceites	99,26	6,72	0,32	6,77	21,39

Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

Los valores de saturación con bases (%SB), aumentaron en todos los tratamientos al 3% de grasas y aceites en suelo comparados con el tratamiento control, esto es debido a que este depende de las fracciones de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las bases intercambiables (BI). Por ejemplo, el %SB del control sin ripio de *Urochloa decumbens* silvestre aumenta de 95,54 a 98,44% (Cuadro 23); al incorporar el 3% de grasas y aceites al suelo, lo que indica que los cationes básicos dominan sobre los ácidos cuando se analiza en el laboratorio con cloruro de potasio (KCl 1N) y acetato de amonio (NH_4Ac. 1N) (Cuadro 24). El %SB, es la porción de la CIC que es ocupada por los cationes básicos ($Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+}$); la porción de la CIC que no es ocupada por los cationes básicos es una expresión de los cationes ácidos ($H^{+} + Al^{+3}$). (Casanova, 1.991).

Los porcentajes de aluminio intercambiable (%Al) disminuyeron al incorporar el 3% de grasas en todos los tratamientos sembrados con: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* con el 3% de grasas y aceites en suelo, lo que indica que hubo una disminución de la acidez en la solución del suelo mezclado con ripio. Esto es debido a la predominancia de los iones OH^{-} al incorporar el ripio base aceite mineral en el suelo, lo que hace que el pH aumente, disminuyendo así el %Al o acidez del suelo. (Miller *et al.*, 1.980; Vásquez et al., 1.998). El %Al, es dependiente del pH del suelo, ya que este precipita aproximadamente a un pH de 5,0; obteniéndose un valor de porcentaje de saturación con aluminio de cero. Al disminuir el pH del suelo, el %Al, alcanza un valor máximo de 61%; es decir, al aumentar el pH el %Al disminuye en la solución del suelo (Casanova, 1.991, Adams, 1.995).

En el Cuadro 24, se observan las diferentes extracciones de las fracciones de los cationes básicos (Ca^{+2}, Mg^{+2} Na^{+} y K^{+}) y ácidos (H^{+} y Al^{+3}) por tratamientos. Hay que señalar que la representación más aproximada de la disposición de Ca^{+2}, Mg^{+2} Na^{+} en la solución del suelo, se obtienen por extracción de la pasta saturada, siendo el método más utilizado por los investigadores para conocer las interrelaciones de estos cationes en la matriz del suelo y su influencia en el rendimiento de los cultivos. Las extracciones con KCl 1N y NH_4Ac., son para las determinaciones de CIC, BI y %SB (Jackson, 1.980; Casanova, 1.991; Adams, 1.995 Carty *et al.*, 1.997).

En todos los tratamientos al incorporar en 3% de grasas y aceites en el suelo, aumentaron los valores de sodio (Na^{+}) con respecto al control. Por ejemplo, en la especie vegetal *Cynodon nlemfuensis*, el ión Na^{+} aumento de 3,52 a 20,93 meq/100g.suelo al incorporar el 3% de grasas y aceites al suelo con respecto al control sin ripio. Esto evidencia nuevamente la cantidad de sales que aporta el ripio base aceite mineral al mezclarlo con suelo. Considerando lo anteriormente descrito, el Na^{+}, representa el catión que determinan el comportamiento de la RAS, CE y salinidad (Cuadros 22, 23 y 24).

Como se puede observar, es importante para este estudio, conocer los cambios físico-químicos (pH, CE, cloruros, salinidad, densidad aparente, humedad, disposición de cationes básicos y ácidos, RAS, BI, CIC, %SB y RAS); generados al incorporar el 3% de grasas y aceites en ripio al suelo, debido a que nos indica la influencia de estos parámetros en el desarrollo de los cultivos. A continuación se presenta el efecto de la concentración del 3% de grasas y aceites en el crecimiento de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre).

Cuadro 24. Análisis de cationes en la mezcla suelo-ripio en la determinación de la tolerancia y/o disminución de grasas y aceites por las especies silvestres (*Urochloa decumbens* y *Cynodon nlemfuensis*) y semillas comerciales (*Urochloa decumbens*) de Gramíneas a los 86 días.

Tratamiento/ Cationes (meq/100 g. suelo)	*Urochloa decumbens* (Silvestre) Control	*Urochloa decumben.* (Silvestre) 3% grasas y aceites	*Urochloa decumbens.* (Comerciales) Control	*Urochloa decumbens.* (Comerciales) 3% grasas y aceites	*Cynodon nlemfuensis.* (Silvestre) Control	*Cynodon nlemfuensis.* (Silvestre) 3% grasas y aceites	Sin planta + Fertilización 3% grasas y aceites
*Extracción con pasta saturada del suelo							
Ca^{+2}	2,06	0,86	1,27	0,65	3,12	0,76	0,84
Mg^{+2}	0,72	0,28	0,85	0,24	2,13	0,28	0,40
Na^{+}	1,79	20,33	2,30	21,12	3,52	20,93	16,35
*Extracción con acetato de amonio 1N							
Ca^{+2}	0,80	5,56	0,62	5,36	0,58	3,58	3,81
Mg^{+2}	0,13	0,51	0,18	0,48	0,19	0,43	0,45
Na^{+}	0,13	2,42	0,12	2,14	0,13	2,0	2,09
K^{+}	0,01	0,37	0,08	0,42	0,03	0,32	0,37
Suma de cationes básicos	**1,07**	**8,86**	**1,0**	**8,40**	**0,93**	**6,33**	**6,72**
*Extracción con KCl 1N							
H^{+}	0,02	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Al^{+3}	0,02	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Suma de cationes ácidos	**0,044**	**0,14**	**0,01**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**

* Ver métodos analíticos en capítulo anterior.
Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

2.2. Efecto de la concentración de 3% de grasas y aceites en el ripio en la altura y biomasa seca total de las especies vegetales de *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre).

En el Cuadro 25, se presentan los datos de altura y biomasa seca total de los diferentes tratamientos, observándose diferencias en todas las especies vegetales utilizadas con respecto a su control sin ripio. La especie vegetal *Urochloa decumbens* silvestre (siembra asexual) con el 3% de grasas y aceites en suelo, tuvo una reducción de la altura del 17% con respecto al control sin ripio, lo que indica la influencia del ripio en el crecimiento de las plantas. La *Urochloa decumbens* al 3% de grasas y aceites sembradas semillas comerciales (siembra sexual), reportó una reducción del 52% con respecto al control sin ripio, lo que evidencia que esta planta en sus dos formas de siembra (asexual y sexual) tiene altas restricciones en su crecimiento al incorporar el ripio en el suelo (Cuadro 25).

Al igual que la altura, la biomasa seca total tuvo altas reducciones al incorporar el 3% de grasas y aceites al suelo con respecto al control sin ripio. La *Urochloa decumbens* silvestre, obtuvo un valor de 90% de reducción de biomasa seca total, mientras que la *Urochloa decumbens* sembradas con semillas comerciales, un 94%. Esto confirma, que al mezclar el 3% de grasas y aceites en suelo, se producen altas restricciones en el desarrollo de estas plantas.

La *Cynodon nlemfuensis* presentó menor reducción de biomasa seca total (61%) con respecto al control sin ripio, comparado con la *Urochloa decumbens* Silvestre (90%) y *Urochloa decumbens* semillas comerciales (94%), lo que indica que posiblemente tolera más los cambios físico-químicos generados por la mezcla suelo-ripio (Cuadro 24). Una de las características observadas en el género Cynodon es su hábito estolonífero (Hafliger *et al.* , 1.981; Clayton *et al.* , 1.986, citado por Díaz *et al.* , 1.994; Colombo, 1.995), confiriéndole mayor cobertura vegetal al suelo (Figura 6).

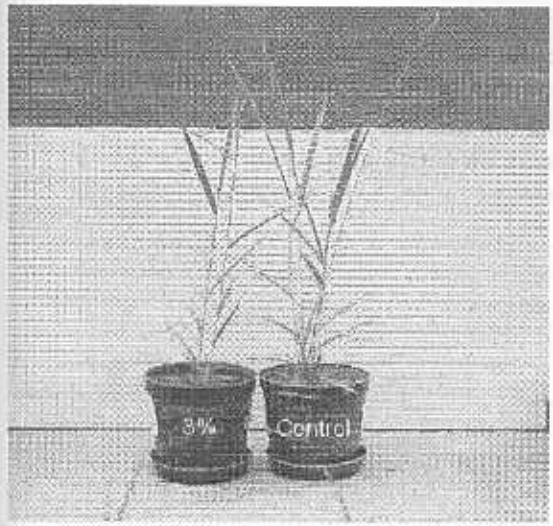
Cuadro 25. Altura y Biomasa seca total de las especies vegetales de *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre) a los 86 días.

Tratamientos	**Altura** (cm)	***Reducción de altura** (%)	**Biomasa seca total** (mg/m^2)	***Reducción de biomasa seca total** (%)
Urochloa decumbens (Silvestre) Control	116,50	-	3595,60	-
Urochloa decumbens (Silvestre) 3% grasas y aceites	96,50	17	348,85	90
Urochloa decumbens (Semillas comerciales) Control	70,00	-	926,61	-
Urochloa decumbens (Semillas comerciales) 3% grasas y aceites	33,30	52	52,75	94
Cynodon nlemfuensis (Silvestre) Control	117,00	-	643,52	-
Cynodon nlemfuensis (Silvestre) 3% grasas y aceites	122,50	8	254,25	61

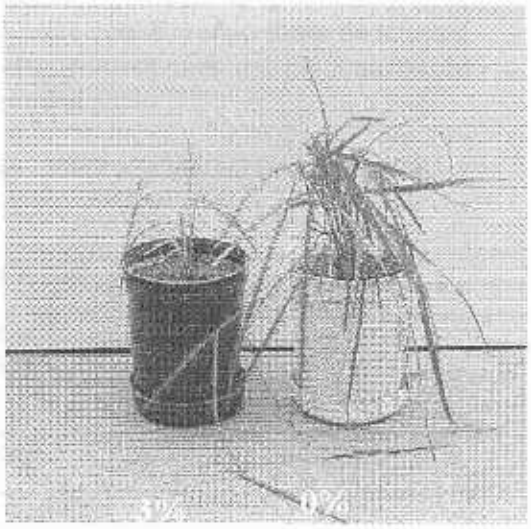
*Las reducciones se realizaron con respecto al control.
Fuente: Invernadero del Departamento de Ecologías y Ambiente de PDVSA INTEVEP. 2.001.

La producción de biomasa seca total de la especie silvestre *Urochloa decumbens* (348,85 mg/m^2) fue mayor a la del *Cynodon nlemfuensis* (254,25 mg/m^2) bajo el efecto del 3% de grasas y aceites en suelo. Esto es debido al hábito de crecimientos de estas especies, es decir, la *Urochloa decumbens* tiene una morfología en forma de macolla, aumentando su biomasa seca total por el número de individuos presentes (Figuras 7). *Cynodon nlemfuensis*, por su parte, tiene un hábito de crecimiento estolonífero necesitando grandes espacios para su propagación (Colombo, 1.995). Hutchinson *et al.* , (2.001b), realizó estudios con las especies forrajeras de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) y pasto alto (*Festuca arundinacea*) bajo el efecto de un desecho impregnado con 4,8% de hidrocarburo en el suelo, obteniendo una biomasa de 90 g. en la primera y 35 g. en la segunda especie (en seis meses de ensayo). Estos investigadores concluyen, que el pasto Bermuda con la incorporación de una dosis apropiada de fertilizante se adapta a los cambios físico-químicos de la mezcla suelo-hidrocarburos.

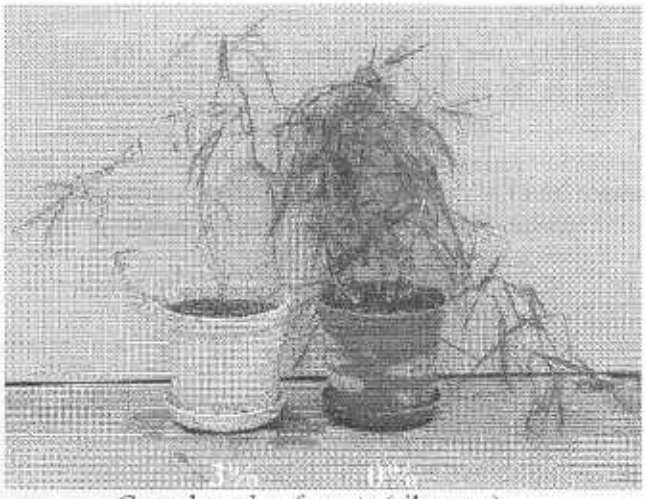
Las reducciones de altura y de biomasa seca total en este experimento (Cuadro 25), se deben posiblemente a los cambios químicos (pH, CE y Cloruros) generados al mezclar el 3% de grasas y aceites en ripio con el suelo (Cuadros 22, 23 y 24). Miller *et al.* , (1.980), señalan que la disminución severa del crecimiento de plantas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*), se debio principalmente por los fluidos de perforación y al contenido de sales. Hay que señalar que en este estudio se añadió dicromato de sodio (Na_2CrO_4) y cloruro de potasio (KCl), lo que hace que aumente las sales en la solución del suelo. (Miller *et al.* , 1.980a).



Urochloa decumbens (Silvestre).



Urochloa decumbens (semillas comerciales).



Cynodon nlemfuensis (silvestre).

Figura 7. Crecimiento de la *Urochloa decumbens* (semillas comerciales y silvestre) y *Cynodon nlemfuensis* con 0 y 3% de grasas y aceites en ripio con suelo.

A continuación se presentan los estudios estadísticos entre el control sin ripio y el 3% de grasas y aceites en suelo, con las diferentes especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre), *Urochloa decumbens* (semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* silvestre. Los estudios estadísticos se realizaron con respecto a la biomasa

seca total, debido a que estas variable ha sido utilizada por diferentes investigadores, para evaluar el comportamiento del crecimiento de las plantas bajo la influencia de hidrocarburos en suelo (Miller *et al.* , 1.980ayb; Amaniki *et al.* , 1.984; Chaineau *et al.* , 1.997; Sánchez *et al.* , 1.999; Chaineau *et al.* , 2.000; Sánchez *et al.* , 2.000 Hutchinson *et al.* , 2.001ayb)

En el Cuadro 26, se presentan los resultados estadísticos (comparación de media: t= tukey; p<0,1) entre la *Urochloa decumbens* silvestre al 3% de grasas y aceites con respecto a el control sin ripio, presentando diferencias significativas (p<0,0534) en la producción de biomasa seca total. Estos resultados junto con las reducciones de altura y biomasa seca total (Cuadro 25), evidencian las altas restricciones del crecimiento de estas plantas al incorporar el 3% de grasas y aceites en el suelo.

Cuadro 26. Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre).

	Medias (g/m^2)	
Tratamientos	**3595,614**	**348,8540**
	Urochloa decumbens. Silvestre (Control)	*Urochloa decumbens.* Silvestre 3% grasas y aceites.
Urochloa decumbens. Silvestre (Control)		[3]0,05359942
Urochloa decumbens. Silvestre 3% grasas y aceites.	[3]0,05359942	

F (1,2)=17,26; p<0,0534.

En la *Urochloa decumbens* sembradas con semillas comerciales, las diferencias son altamente significativas (p<0,0097) entre el control y la concentración del 3% de grasas y aceites (Cuadro 27). Los resultados estadísticos indican que esta planta en su dos formas de siembra (asexual y sexual), son severamente afectadas en su crecimiento al incorporar ripio al suelo, esto es debido posiblemente a los cambios químicos (pH, CE y RAS) ocurridos al incorporar el 3% de grasas y aceites en el suelo como se describió anteriormente.

Cuadro 27. Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (semillas comerciales).

	Medias (g/m^2)	
Tratamientos	**926,61404**	**52,75200**
	Urochloa decumbens. Semillas comerciales (Control)	*Urochloa decumbens.* Semillas comerciales 3% grasas y aceites.
Urochloa decumbens. Semillas comerciales (Control)		[3]0,0099526
Urochloa decumbens. Semillas comerciales 3% grasas y aceites.	[3]0,0099526	

F (1,2)=101,93; p<0,0097

La reducción de biomasa seca total comparada con el control sin ripio en la especie *Urochloa decumbens* silvestre (90%) con dosis de 3% de grasas y aceites en el suelo, es prácticamente igual a la de *Urochloa decumbens* semillas comerciales (94%). Estas reducciones de biomasa seca total, provienen de comparaciones entre *Urochloa*

[3] Números en rojo. Diferencias estadísticas altamente significativas.

reducciones de biomasa seca total, provienen de comparaciones entre *Urochloa decumbens* silvestre y semillas comerciales al 3% de grasas y aceites en el suelo con el control sin ripio (Cuadro 25). Las comparaciones de biomasa seca total en g/m^2 entre la *Urochloa decumbens* sembradas con semillas comerciales y la silvestre bajo la influencia del 3% de concentración de grasas y aceites, proporciona una mejor referencia del patrón de crecimiento de estas especies en sus dos formas de siembra (asexual y sexual).

La biomasa seca total al 3% de grasas y aceites a los 86 días en la especie *Urochloa decumbens* silvestre (348,85 mg/m^2) es diferente a la *Urochloa decumbens* semillas comerciales (52,75 mg/m^2). Esto evidencia las diferencias entre la siembra asexual y sexual. Realizando comparaciones estadísticas (t= tukey; $p<0,1$) de biomasa seca total al 3% de grasas y aceites entre la especie *Urochloa decumbens* silvestre y semillas comerciales, mostraron diferencias altamente significativas ($p<0,0008$). Lo que indica que la siembra asexual tiene un comportamiento favorable en los cambios físico-químico ocurridos en la mezcla suelo-ripio. (Cuadro 28). Esto es debido a que las plantas silvestre provenientes de las áreas de tratamiento de ripios, están adaptadas a las condiciones físico-químicas (pH, RAS, CE, cloruros, etc.) del suelo conteniendo ripio, mientras que las semillas comerciales tienen que adaptarse a las condiciones citadas.

Cuadro 28. Análisis estadístico de medias (t= tukey, $p<0,1$) de biomasa seca total de las especies vegetales *Urochloa decumbens* silvestre Vs. *Urochloa decumbens* semillas comerciales al 3% de grasas y aceites.

	Medias (g/m^2)	
Tratamientos	348,8540 *Urochloa decumbens*. Silvestre. 3% grasas y aceites.	52,75200 *Urochloa decumbens*. Semillas comerciales 3% grasas y aceites.
Urochloa decumbens. Silvestre. 3% grasas y aceites.		[*]0,00109869
Urochloa decumbens Semillas comerciales 3% grasas y aceites.	[*]0,00109869	

F (1,2)=1298,17; p<0,0008

En los controles de *Urochloa decumbens* silvestre y semillas comerciales, reafirma las diferencias significativas ($p<0,0769$) en la utilización de siembra sexual y asexual (Cuadro 29). Amakiri *et al.* , (1.984); señalan que la inhibición de la germinación se atribuye principalmente a las características físicas del aceite en el crudo que hace que funcione como una barrera para la entrada de agua y oxígeno a la semilla. Sin embargo, cuando el aceite penetra en las semillas, puede ser tóxico a los embriones.

El aumento de la CE, RAS y pH al incorporar el ripio al suelo, posiblemente disminuye el crecimiento de la *Urochloa decumbens* sembradas con semillas comerciales de. El sodio (Na^+) principalmente fue el que más aumento en el suelo con ripio a los 86 días de estudio. (Cuadro 24). Bravo, (1.988), señala, que las concentraciones elevadas de sales pueden ejercer una diversidad de efectos sobre el desarrollo de los cultivos. Esto va a depender del tipo de cultivo, el grado de tolerancia en las fases del desarrollo y otros factores de interacción. Este mismo autor, indica que

[*] Números en rojo: Diferencias estadísticas altamente significativas.

los iones monovalentes (Cl^-, Na^+, etc.) son absorbidos con mayor velocidad que los divalentes y éstos con mayor rapidez que las polivalentes, lo que indica que suelos con altas concentraciones de Na^+, causan disminución del crecimiento de las plantas. Debido a la naturaleza electronegativa de la membrana de la raíz los cationes son, en general, absorbidos más rápidamente que los aniones. (Bravo, 1.988).

Cuadro 29. Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especies vegetales *Urochloa decumbens* silvestre Vs. *Urochloa decumbens* semillas comerciales (controles).

Medias (g/m²)		
Tratamientos	3595,61 *Urochloa decumbens.* Silvestre (Control)	926,6140 *Urochloa decumbens.* Semillas comerciales (Control)
Urochloa decumbens. Silvestre (Control)		[5]0,07717514
Urochloa decumbens. Semillas comerciales (Control)	[5]0,07717514	

F(1,2)=11,52; p<0,0769

En el Cuadro 30, se observan los estudios estadísticos realizados en la biomasa seca total de la especie vegetal: *Cynodon nlemfuensis*, señalando que no hubo diferencias significativas (p<0,2784), al incorporar el 3% de grasas y aceites en suelo con respecto al control. Esto posiblemente se debio al crecimiento radicular de esta planta, lo que hizo que tuviera mayor capacidad de absorver los nutrientes del suelo, aumentando así su crecimiento aéreo. El género Cynodon, se desarrolla en una amplia gama de suelos, desde ligeramente ácidos hasta los arcillosos medianamente ácidos y de baja fertilidad. Además tiene la capacidad de ser invasora y tiene una recuperación rápida cuando se utiliza como alimento para rumiantes (Guzmán, 1.996; Cubillos, 1.985).

Cuadro 30. Análisis estadístico de medias (t= tukey, p<0,1) de biomasa seca total de las especie vegetal: *Cynodon nlemfuensis* silvestre.

Medias (g/m²)		
Tratamientos	643,5195 *Cynodon nlemfuensis* silvestre Control	254,2536 *Cynodon nlemfuensis* silvestre. 3% grasas y aceites.
Cynodon nlemfuensis silvestre Control		[6]0,27860343
Cynodon nlemfuensis silvestre 3% grasas y aceites.	[6]0,27860343	

F (1,2)=2,17; p<0,2784

Las reducciones de biomasa seca total encontradas para el *Cynodon nlemfuensis* y *Urochloa decumbens* silvestre y semillas comerciales al 3% de gasas y aceite en ripio, concuerdan con los valores de biomasa seca total reportados en este estudio para el maíz (86%), lo que reafirma que esta dosis corresponde al limite máximo de tolerancia de crecimiento por estas plantas. (Cuadro 19).

[5] Números en rojo: Diferencias estadísticas altamente significativas.
[6] Números en negro: No son estadísticamente significativas.

En las Figuras 8, 9 y 10, se observa el comportamiento de la biomasa seca total de las especies: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis* a los 46, 66 y 86 días de siembra. Para todas las especies estudiadas bajo el efecto del 3% de grasas y aceites en el suelo, a los 66 días de siembra las plantas tuvieron una producción de biomasa seca total baja con respecto al control. Esto es debido al efecto asociado a los cambios físico-químicos (pH, CE y RAS) generados al añadir ripio al suelo (Miller *et al.* , 1.980b). Todos estos cambios físico-químicos producen un desbalance nutricional en el suelo en presencia del hidrocarburo que limita la nutrición para las plantas y por lo tanto la inhibición de su crecimiento (Chaineau *et al.* , 2.000; Hutchinson *et al.* , 2.001a). Algunos investigadores señalan que los cambios físico-químicos (estructura, pH, CE, RAS y concentración de hidrocarburos) del ripio en el suelo, hacen que las plantas experimenten cambios en su crecimiento para adaptarse a las nuevas condiciones del suelo (Miller *et al.* , 1.980b).

La *Urochloa decumbens* silvestre tuvo una pendiente negativa para el tratamiento con el 3% de grasas y aceites, esto es debido a lo heterogéneo de las réplicas en la producción de biomasa seca total, siendo menor en los últimos dos muestreos con respecto al primero (Figura 8).

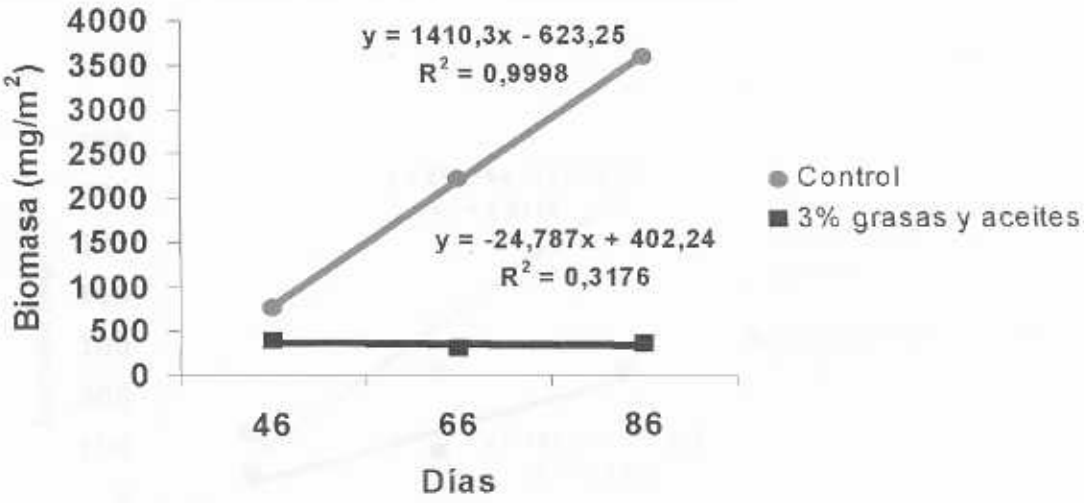


Figura 8. Promedios de biomasa total de plantas de *Urochloa decumbens* (Silvestre). Cada punto representa el promedio de dos replicas.

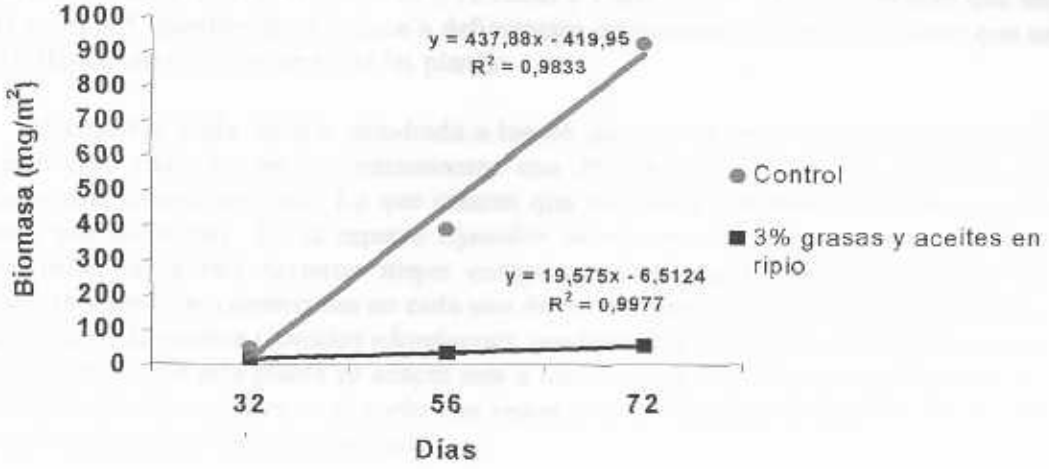


Figura 9. Promedios de biomasa seca total de plantas de *Urochloa decumbens* (semillas comerciales). Cada punto representa el promedio de dos replicas.

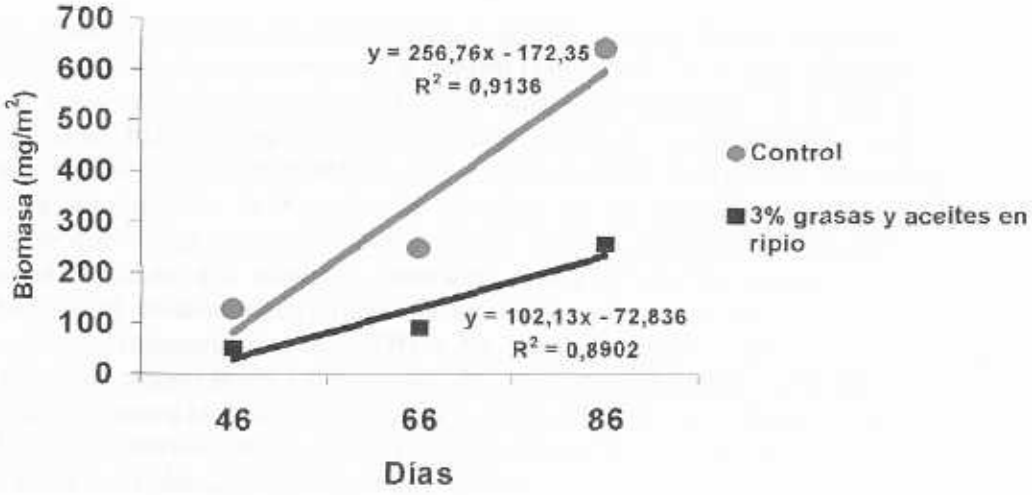


Figura 10. Promedios de biomasa seca total de plantas de *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre). Cada punto representa el promedio de dos replicas.

Los valores elevados de pH, RAS y conductividad eléctrica reportados en este estudio no permitieron que las especies vegetales crecieran (Cuadro 22 y 23). Esto es debido a la disposición de los cationes básicos (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}) presentes en la solución del suelo, donde el Na^{+} se encuentra en mayor proporción que los otros cationes. (Cuadro 24). Esta característica le confiere a la matriz del suelo una salinidad y RAS alta, disminuyendo considerablemente el crecimiento de los cultivos. (Casanova,

1991). Investigadores recomienda para este tipo de dificultad utilizar yeso ($CaSO_4$ $2H_2O$) con la finalidad de disminuir la concentración de sodio intercambiable (Marcano, 1981; Casanova, 1991). Miller *et al.* , (1.980a) y Carty *et al.* , (1.997), señalan que un pH sobre 8,5 posiblemente induce a deficiencias de micronutrientes en el suelo que se ve reflejado en el crecimiento de las plantas.

Al cosechar cada especie estudiada a los 86 días, se observó una disminución del crecimiento radicular en los tratamientos con 3% de grasas y aceites en ripio con respecto al control sin ripio. Lo que indican que las planta crecimiento más en la parte aérea que de la raíz. En la especie *Cynodon nlemfuensis* la biomasa seca total y el desarrollo de la raíz tuvieron mejor comportamiento que la *Urochloa decumbens* silvestre y semillas comerciales en cada uno de los muestreos realizados. El crecimiento radicular de la especie *Cynodon nlemfuensis*, posiblemente mejoró su crecimiento aéreo, lo que indica que esta planta se adapta más a los cambios físico-químicos al incorporar el 3% de grasas y aceites en el suelo con respecto a la *Urochloa decumbens* en sus dos formas de siembra (sexual y asexual).

Velásquez *et al.* , (1.993), realizaron estudios biológicos y ecológicos en el pozo MUC-21 localizado en el Estado Monagas, encontrando que el derrame de crudo ocurrido influye en forma considerable la producción de retoños de la *Urochloa decumbens*. Márquez (1.995), por su parte, realizó investigaciones en la misma zona, identificando a esta especie forrajera con altos índices de importancia relativa, pero por la influencia del crudo, estos índices bajan considerablemente. Estos autores concluyen que la *Urochloa decumbens*, no es una especie recomendada para la recuperación de áreas bajo el impacto de hidrocarburos, sino para el establecimiento de potreros.

Las especies vegetales al 3% de grasas y aceites en ripio, tuvieron una biomasa seca total baja a los 66 días con respecto al control (Figuras 8, 9 y 10). La adaptación de las plantas a los cambios químicos (pH, CE y RAS) generados por la incorporación del ripio al suelo, hizo que las especies vegetales, utilizaran sus fotosintatos hacia la parte aérea, disminuyendo considerablemente el crecimiento de la raíz. Por ejemplo, la excesiva acumulación de sales en la rizósfera de las plantas, constituye un factor potencial que limita los rendimientos de los cultivos, las alteraciones por efecto de salinidad implican dos aspectos generales: alteración de las relaciones de agua y cambios en el balance electrolíticos de los tejidos (Bravo, 1.988). A valores de pH altos, donde predominan los iones OH^- y Na^+, la floculación y formación de agregados son afectados negativamente siendo perjudicados las condiciones físicas del suelo. Esto a su vez desmejora la dinámica del agua y de los gases en la zona radical, dando como resultado un deterioro de las condiciones de la raíz, aumentando el crecimiento de la parte aérea de la planta (Suteliffe, *et al.* , 1.979).

A pesar de las condiciones físico-química involucradas al realizar la mezcla del ripio con el suelo y la utilización de una fertilización básica, la especie *Cynodon nlemfuensis* toleró el 3% de grasas y aceites en ripio, mientras que la especie *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales), no toleran esta dosis.

2.3. Balance del contenido de grasas y aceites y posibles procesos de fitorremediación de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* **(silvestre y semillas comerciales) y del** *Cynodon nlemfuensis* **(silvestre) en la disminución de grasas y aceites en suelos.**

En el Cuadro 31, se presenta el balance general del contenido de grasas y aceites (%G/A) por especie, encontrándose que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (p<0,3786) con y sin plantas (controles). La determinación cuantitativa del %G/A, indica que de 0,03 g.GyA/g.suelo (3%) inicial de grasas y aceites en ripio, para la especie: *Urochloa decumbens* silvestre obtuvo una disminución de 37,06% quedando finalmente 62,94% G/A en el recipiente. La *Urochloa decumbens* sembrada con semillas comerciales, obtuvo aproximadamente la misma disminución 38,07% quedando como remanente 61,93 %G/A en el recipiente. Para este estudio, la utilización de plantas silvestre y semillas comerciales no hubo diferencias significativas (p<0,999) en la disminución de grasas y aceites en el suelo comparados con el control sin plantas (Cuadro 32), lo que indica que la *Urochloa decumbens*, no es una especie recomendada para la recuperación de áreas bajo el impacto de hidrocarburos, sino para el establecimiento de potreros (Velásquez *et al.* , 1.993).

Cuadro 31. Promedios de disminución de grasas y aceites realizadas por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (Silvestre y semillas comerciales) y del *Cynodon nlemfuensis* (Silvestre).

Tratamientos	*Urochloa decumbens.* **(Silvestre)**				*Urochloa decumbens* **(Semillas comerciales)**				*Cynodon nlemfuensis* **(Silvestre)**			
	G/A **Inicial** (*)	G/A **Final** (*)	G/A **Disminución** (%)	Lixiviado (g/mL)	G/A **Inicial** (*)	G/A **Final** (*)	G/A **Disminución** (%)	Lixiviado (g/mL)	G/A **Inicial** (*)	G/A **Final** (*)	G/A **Disminución** (%)	Lixiviado (g/mL)
Mezcla suelo ripio 3% Planta + Fertilizante	0,03	0,02	37,06	0,005	0,03	0,02	38,07	0,009	0,03	0,013	56,60	0,004
Mezcla suelo ripio 3% Sin Planta + Fertilizante	0,03	0,02	40	0,006	0,03	0,02	40	0,006	0,03	0,02	40	0,006

* Gramos de grasas y aceites en ripio por gramos de suelo (g. GyA/g. suelo).
Fuente: Laboratorio de Tratabilidad de Desechos Sólidos. PDVSA INTEVEP. 2.001.

La especie *Cynodon nlemfuensis*, mostró un mejor comportamiento que la *Urochloa decumbens*, al disminuir 56,60 % del 0,03 g.GyA/g.suelo (3%) de grasas y aceites inicial quedando un residuo en el resipiente de 43,40% de G/A en el suelo (Cuadro 31). Esto posiblemente es debido al desarrollo radicular del *Cynodon nlemfuensis*, lo que mejora las interacciones de los microorganismos en la rizósfera para la disminución de las grasas y aceites (Nichols *et al.* , 1.995; Chaineau *et al.* , 2.000). En estudios realizados por Hutchinson *et al.* , (2.001a), con las especies de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) y pasto alto (*Festuca arundinacea*) con desechos impregnados con 4,8% de hidrocarburos en suelo, observaron una reducción de hidrocarburos del 65% en el pasto Bermuda y un 62% en el pasto alto comparados con un 57% del control (sin planta). Estos estudios reportan que las disminuciones de hidrocarburos en el suelo se

obtuvieron por los microorganismos (biorremediación) y a la presencia de la planta, que contribuye considerablemente en esta reducción. Hay que señalar que este experimento se realizó en un año, no teniendo respuestas considerables después de este tiempo. (Hutchinson *et al.* , 2.001a).

Cuadro 32. Análisis estadístico de Varianza (t= tukey, p<0,005) de la disminución cuantitativa grasas y aceites de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) *y Cynodon nlemfuensis* (silvestre).

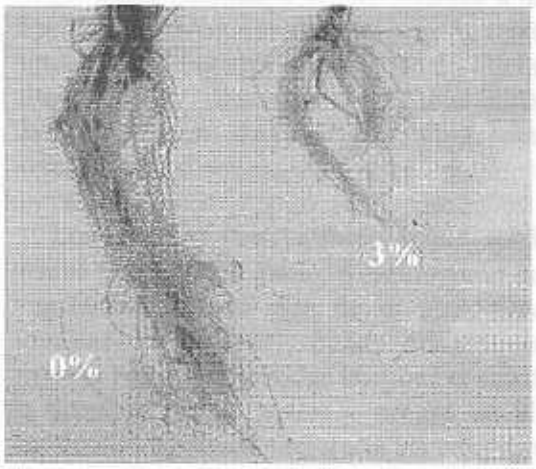
Medias (% disminución)				
Tratamientos	37,05547 *Urochloa decumbens* Silvestre 3% grasas y aceites.	38,06928 *Urochloa decumbens.* Semillas comerciales 3% grasas y aceites.	56,60443 *Cynodon nlemfuensis* silvestre 3% grasas y aceites.	41,21321 Sin especie vegetal Fertilización 3% grasas y aceites.
Urochloa decumbens. Silvestre 3% grasas y aceites.		[6]0,9997	[6]0,4033	[6]0,9797
Urochloa decumbens Semillas comerciales 3% grasas y aceites.	[6]0,9997		[6]0,4392	[6]0,9909
Cynodon nlemfuensis. Silvestre 3% grasas y aceites.	[6]0,4033	[6]0,4392		[6]0,5652
Sin especie vegetal Fertilización 3% grasas y aceites.	[6]0,9797	[6]0,9909	[6]0,5652	

F(4,5)= 1,34; p< 0,3786.

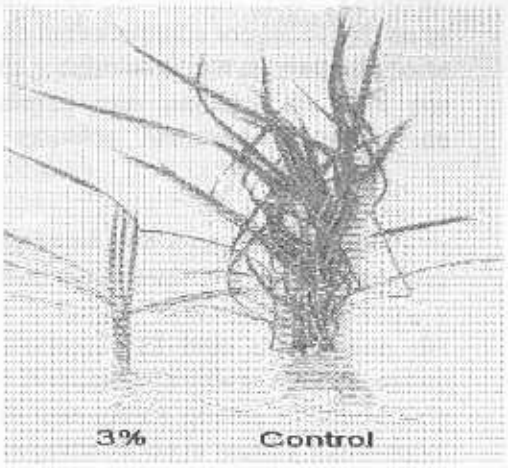
En el transcurso de este estudio se sacrificaron dos (2) recipientes, observándose un desarrollo radicular marcado de la especie *Cynodon nlemfuensis* con respecto a la *Urochloa decumbens* (Figura 11), esto es importante considerarlo para la aplicación de la rizofitorremediación como tecnología para la disminución de hidrocarburos en el suelo (Newman *et al.* , 2.001; EPA, 1.999b). Por su parte, Hutchinson *et al.* , (2.001a), señala que la *Cynodon dactylon*, tiene la capacidad de penetrar en la mezcla suelo-desecho con hidrocarburo rompiendo los agregados del mismo, mejorando de esta manera el contacto de la raíz con la mezcla, permitiendo una mayor disminución del hidrocarburo en el suelo.

El crecimiento radicular (Figura 11) realizado por la especie *Cynodon nlemfuensis*, indica que el diámetro del recipiente influye en la dinámica a nivel de la rizósfera y en la disminución de las grasas y aceites en el suelo. Miller *et al.* , (1.980b), señala que con recipientes de 8-13 cm de diámetro y control de la temperatura a 26°C, propician un mejor crecimiento de plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz (*Zea mays*). Chaineau *et al.* , (2.000), señalan que a mayor área de contacto entre la raíz y el suelo aumenta la actividad en la rizósfera de la planta, favoreciendo el crecimiento de los microorganismos. Considerando que para este estudio el diámetro utilizado fue de 20 centímetros, la *Cynodon nlemfuensis*, tiene un hábito de crecimiento estolonífero, lo que requiere grandes extensiones para su propagación (Colombo, 1.995).

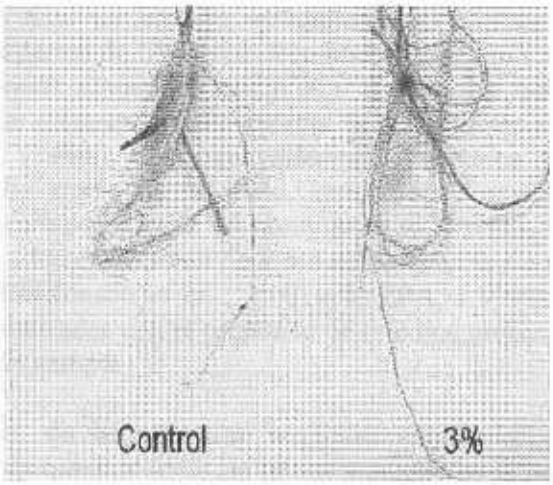
[6] Números en negro: No son estadísticamente significativas.



Urochloa decumbens (silvestre)



Urochloa decumbens (semillas comerciales)



Cynodon nlemfuensis (silvestre)

Figura 11. Crecimiento del sistema radical de las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (semillas comerciales y silvestre) y *Cynodon nlemfuensis* con 0 y 3% de grasas y aceites en ripio con suelo.

La fertilización en este estudio fue básica (3,14 g.N/recipiente), siendo insuficiente para el crecimiento de las plantas con la mezcla suelo-ripio. Hutchinson *et al.* , (2.001b), indican que la incorporación de fertilizante con una relación de C:N:P 100:2:0,2; es importante para la disminución de hidrocarburos totales en el suelo. Para estudios posteriores en fitorremediación, es importante realizar diseños experimentales con diferentes dosis de fertilizante para conocer la más óptima para el crecimiento de las especies vegetales en el suelo con ripio.

La pérdida de hidrocarburos por lixiviado fue despreciable en la disminución cuantitativa de grasas y aceites por las especies vegetales, los valores reportados en el Cuadro 22, señalan que entre las especies *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas

comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*, se obtuvo un promedio de 0,006 g/mL de G/A en las aguas lixiviadas lo que indica que prácticamente no hubo pérdidas por efecto de riego. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Hutchinson *et al.* , (2.001a), donde obtuvieron valores menores de 0,002 g/mL de hidrocarburos totales (TPH) en el agua lixiviada al incorporar 3,5% de TPH en el suelo y cultivadas con un pasto de porte alto (*Festuca arundinacea*). Estos autores concluyen que pérdidas de TPH por lixiviación son despreciables para efectos de estudios realizados a escala de invernadero.

Los cambios físico-químicos (pH, RAS y CE) generados al incorporar el el 3% de grasas y aceites al suelo, disminuyeron sustancialmente el desarrollo de las especies vegetales a los 86 días de estudio, siendo en la *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales); donde prácticamente no crecieron. El bajo crecimiento del sistema radicular de todas las plantas estudiadas, no permitió cuantificar eficientemente la disminución de grasas y aceites en el suelo, lo que indica que la utilización de enmiendas agrícolas mejoraría las condiciones físico-químicas de la mezcla suelo-ripio, aumentando la capacidad de las raíces de penetrar y adsorber del suelo los nutrientes necesarios para el crecimiento de estas especies vegetales.

Finalmente, la disminución de grasas y aceites en ripio por las especies no se observados a los 86 días de estudio, encontrándose diferencias no significativas ($p<0,3786$) entre las especies de *Urochloa decumbens* (silvestre y semillas comerciales) y el *Cynodon nlemfuensis* silvestre (Cuadro 32). Esto indica que el factor tiempo es primordial para obtener respuestas satisfactorias de disminución de grasas y aceites en suelos. Witse *et al.* , (1.998), estudiaron diferentes genotipos de Alfalfa (*Medicago sativa*) con un 2% de crudo en el suelo, concluyendo que las respuestas en la disminución de hidrocarburos totales se obtuvieron en un año de investigación. Los estudios realizados en fitorremediación de hidrocarburos en suelo tienen una duración a lo sumo de un año (Hutchinson *et al.* , 2.001ayb; EPA, 1.999a). Las investigaciones cortas en tiempo son realizadas con el propósito de estudios preliminares en invernadero para llevarlo a escala de campo.

Las potencialidades de las especies vegetales estudiadas, radican más en su capacidad de tolerar más que disminuir las grasas y aceites en el suelo para este estudio. Solamente es importante señalar el mayor crecimiento radicular del *Cynodon nlemfuensis* con respecto a la *Urochloa decumbens*, para estudios posteriores en fitorremediación a nivel de la rizósfera.

Con los resultados estadísticos de biomasa seca total y el balance de grasas y aceites por las especies vegetales: *Urochloa decumbens* (silveste y semillas comerciales) y *Cynodon nlemfuensis*, nos hace suponer que para encontrar respuestas más satisfactoria en el proceso de la fitorremediación de hidrocarburos en el suelo, se deben realizar estudios de larga duración (en invernadero) de los diseños experimentales, utilizando para ello las siguientes consideraciones:

- Dosis óptima de fertilización para las especies vegetales bajo el efecto de la mezcla suelo con el ripio.
- Utilización de recipientes más grandes para un mejor crecimiento de las plantas.
- Enmiendas agrícolas para mejorar las características físico-químicas del suelo-ripio.

- Determinaciones de grasas y aceites en las especies vegetales para conocer la movilización de los hidrocarburos del suelo a la planta.

Se recomienda realizar estudios de campo, siempre y cuando se tomen en consideración de los posibles impactos ambientales al incorporar el ripio en el suelo. Este trabajo de investigación, representa los primeros pasos del uso de la fitorremediación como técnica de disminución de grasas y aceites en suelo, siendo necesario profundizar los estudios a nivel de invernadero para aplicarla a escala de campo.

VII. CONCLUSIONES.

1. La concentración máxima de grasas y aceites minerales en ripio con suelo que tolera la especie vegetal bioindicadora maiz (*Zea mays*) y Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre, es del 3% siendo la dosis límite para su crecimiento.

2. Al incorporar concentraciones del 1 hasta 5% de grasas y aceites al suelo, se producen altas restricciones de crecimientos en todas las especies estudiadas con respecto al tratamiento control (sin ripio), siendo la Relación de Absorción de Sodio (RAS), el pH y conductividad eléctrica (CE), los parámetros más limitantes para el rendimiento de estos cultivos.

3. El sodio (Na^+), es el catión que determina los cambios químicos del suelo (pH, RAS, CE y salinidad) al incorporar el ripio en el suelo, siendo posiblemente el elemento que limita el crecimiento de las especies vegetales: maiz (*Zea mays*), pasto barrera (*Urochloa decumbens*) silvestre y semillas comerciales y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*).

4. Las posibles disminuciones de grasas y aceites encontradas con las especies vegetales: Pasto Barrera (*Urochloa decumbens*) silvestre y semillas comerciales y Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre no son representativas a los 86 días, siendo un tiempo muy corto para tener respuestas satisfactorias.

5. Para este estudio, la utilización de plantas silvestre y semillas comerciales no hubo diferencias significativas ($p<0,999$) en la disminución de grasas y aceites en el suelo comparados con el control sin plantas, lo que indica que la *Urochloa decumbens*, no es una especie recomendada para la recuperación de áreas bajo el impacto de hidrocarburos, sino para el establecimiento de potreros.

6. Las potencialidades de la especie vegetal: Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre, radican más en su capacidad de tolerar que en disminuir las grasas y aceites presentes en el suelo para el tiempo evaluado (86 días).

7. Este trabajo de investigación, representa los primeros pasos del uso de la fitorremediación como técnica de disminución de grasas y aceites en suelo, siendo necesario profundizar los estudios a nivel de invernadero para aplicarla a escala de campo.

8. La contribución de la fitorremediación para el tratamiento de ripios en la industria petrolera, es muy reciente, siendo importante realizar investigaciones más extensas, especialmente con la especie vegetal Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) silvestre para la disminución de grasas y aceites en el suelo.

VIII. RECOMENDACIONES.

1. Duración de diseños experimentales en invernaderos mayores a los realizados en este estudio de manera tal de obtener mejores respuestas en la disminución de grasas y aceites en ripio por las especies vegetales estudiadas.

2. Realizar estudios del crecimiento radicular con la especie: Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y evaluar las interacciones del ripio con la raiz (rizósfera), con la finalidad de observar las posibles disminuciones de grasas y aceites en el suelo.

3. Realizar diseños experimentales con recipientes más grandes para que las especies vegetales logren un desarrollo radicular eficiente al incrementar el tiempo de evaluación.

4. Realizar estudios de las dosis adecuadas de fertilizante (relación: carbono, nitrógeno y fósforo), adaptadas para la mezcla suelo-ripio para obtener mejor crecimiento de las especies vegetales y por ende mayor disminución de las grasas y aceites en el suelo.

5. Utilizar enmiendas agrícolas para mejorar las condiciones físico-químicas de la mezcla suelo Santa Bárbara-Ripio Base Aceite Mineral, principalmente de los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE) y Relación de Absorción de Sodio (RAS), para el buen crecimiento de las especies vegetales.

6. Utilizar la técnica de fitorremediación de grasas y aceites en suelos con otras especies vegetales a nivel de invernadero, con el objetivo de evaluar las posibles potencialidades para disminuir las grasas y aceite en ripio mezclado con el suelo.

7. Utilizar la tecnología de fitorremediación a nivel de campo y en los diferentes pozos petroleros de Venezuela donde se realiza el manejo, tratamiento y disposición de los ripios de perforación de manera de evaluar las potencialidades de las diferentes especies vegetales en tolerar y/o disminuir las grasas y aceites en el suelo.

IX. GLOSARIO.

Agroclimatología: Parte de la agronomía que se encarga del estudio del clima.

Alúmina pulverizada: compuesto que contiene la bentonita.

Barita: Sulfato de bario.

Bentonita: Sustancia coloidal de origen volcánico.

Bioacumularse: Efecto de acumularse los contaminantes del ambiente en las especies vegetales.

Biodegradación: Proceso de degradación de un componente contaminante orgánico por medio de los microorganismos, ya sea autóctonos o introducidos.

Bioestimulación: La población de microorganismos autóctonos en el área es aumentada con la adición de nutrientes y manipulación del área (arado, rastra, etc.).

Bioaugmentación: La población de microorganismos específicos son agregados a una zona impactada y son ayudados con la adición de nutrientes y manipulación del área (arado, rastra, etc.).

Biorremediación enzimática: Es la disminución de un contaminante específico por una enzima específica. Las enzimas son las encargadas de acelerar cambios químicos, esto es, inducir complejas reacciones de transformación química con un gasto energético mínimo y con una elevada velocidad de reacción

Biorremediación rizósfera: Degradación de compuestos orgánicos realizada por microbios y hongos debido a la exudación enzimática en una zona de la raíz (Rizósfera).

Broca: Parte adyacente a la punta de la mecha en el taladro de perforación.

BTEX: Compuesto orgánico: Benceno-tolueno-etil-xileno.

Compostaje: Proceso biológico por el cual los compuestos orgánicos peligrosos son convertidos por los microorganismos a productos estabilizados no peligrosos al ambiente.

Demanda química de oxígeno: Usada como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a la oxidación contenida en una oxidación química.

Demanda biológica de oxígeno: La cantidad de oxígeno requerida por las bacterias mientras realizan la descomposición (el término descomposición puede ser interpretado como que la materia orgánica sirve de alimento a las bacterias) de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas.

Estructura blocosa angular: Agregados en forma de bloques bordeados por otros agregados cuyas caras redondeadas y subangulares forman el molde para el agregado.

Enmiendas: Material agrícola utilizado para el crecimiento de las especies vegetales (Fertilizantes, cascarilla de arroz, rastrojo, gallinaza, etc.).

Estolonífero: Forma de crecimiento en la familia de las gramíneas que consiste en alargamiento de los vástagos aéreos (estolones) formando masas enmarañadas.

Ecosistema: Es la totalidad de los organismos (comunidad) de un área determinada que actúa en reciprocidad con el medio físico de modo que una corriente de energía conduzca a una estructura trófica, una diversidad biótica y a ciclos materiales (vivas e inertes) claramente definidas dentro de un sistema ecológico o ecosistema.

Explayamiento: Es un proceso geomorfológico de ambientes deposicionales/aluviales, dispersado por las aguas durante el tiempo.

Fitoestabilización: Absorción y precipitación de metales (principalmente) por las especies vegetales, inmovilizando o reduciendo la movilidad y previniendo la migración de estos por los suelos a niveles freáticos, aguas subterráneas o a la atmósfera.

Fitoextracción: Acumulación de metales por parte de la biomasa vegetal-extractiva que transloca y concentra metales, y algunos compuestos orgánicos para remediar suelos y aguas contaminados.

Fitorremediación: Tecnología que utiliza las especies vegetales (flora arbórea, arbustiva o herbáceo) para remediar lugares contaminados, normalmente se usan plantas autóctonas para extraer los contaminantes de: fluidos, sedimentos, suelo, aire y agua.

Fitotransformación: Proceso donde las especies vegetales básicamente toman los compuestos orgánicos complejos o los nutrientes y los transforman en moléculas simples las cuales son incorporadas a los tejidos de las mismas.

Fitovolatilización: Captación y transpiración de un contaminante por una planta, con el descargo de los contaminantes en forma modificada del contaminante a la atmósfera por la planta.

Fertilización básica: Nutrientes (Nitrógeno, fósforo y potasio) aplicados a un cultivo para que su crecimiento.

Fluidos de perforación: Compuestos químicos que se utiliza para la extracción del petróleo.

Fluido base aceite: Son compuestos orgánicos y inorgánicos (Diesel y Aceite Mineral Desaromatizados) que se utilizan para la perforación de petróleo, son utilizados generalmente en pozos profundos

Fluido base sintética: Son compuestos orgánicos y inorgánicos (Ester, éter y polialfaolefina) que se utilizan para la perforación de petróleo, son sustancias biodegradables y no tóxicas.

Fluido base agua: Son compuestos orgánicos y inorgánicos (Lignito/Lignosulfonato dispersado, cromo, Potasio/KCl, cal, yeso, polímero catiónico, alta temperatura con

cromo, alta temperatura sin cromo y sal-KCl ó NaCl). Compuestos principalmente de agua y de una sustancia coloidal de origen volcánico, llamada bentonita, compuesta de sílice y alúmina pulverizada que se utilizan para la perforación de petróleo.

Fotosintatos: Proveniente de fotosíntesis que representa la síntesis por la acción de la luz p. ej., la del ácido clorhídrico, por combinación de hidrógeno y cloro (que no se produce en la oscuridad). Formación de glúcidos (hidratos de carbono) en las plantas verdes.

Hábitat: Lugar donde vive o el lugar donde uno buscaría un organismo. El nicho ecológico, por potra parte, es un término más comprensivo, que incluye no sólo el espacio físico ocupado por un organismo, sino también su papel funcional en la comunidad (como por ejemplo, su posición trófica) y su posición en los gradientes ambientales de temperatura, humedad, pH, suelos y otras condiciones de existencia. Estos tres aspectos del nicho ecológico pueden designarse apropiadamente como nicho espacial o de hábitat, nicho trófico y nicho multidimensional o de hipervolúmen.

Hidrociclones: Equipo que se utiliza para la separación de los fluidos de perforación de los desechos de la industria petrolera (ripios).

Hidrofobicos: Se dice de un coloide que no muestra afinidad por el agua como solvente.

Hongos de micorrizas: Asociación entre la raíz de una planta y las hinfas de determinados hongos.

Humus: Producto resultante después de cesar la actividad microbiana.

Ladnfarming: Técnica que consiste en esparcir el ripio base agua en el suelo, cuando este presenta concentraciones de hidrocarburos $\leq 1\%$, y de metales pesados que no superen a las permitidas en el Decreto 2.635, Artículo 50.

Ladnspread: Técnica que consiste en esparcir el ripio base agua en el suelo, cuando este presenta concentraciones de hidrocarburos $\geq 1\%$, y de metales pesados que no superen a las permitidas en el Decreto 2.635, Artículo 50.

Lodos aceitosos: Véase fluido aceitoso.

Lutitas: Rocas sedimentarias detríticas, pero de grano fino constituidas por partículas de limo y de arcilla, con una estructura generalmente laminar.

Lignificación: Proceso por el cual las especies vegetales se endurecen o se secan, las plantas pierden la clorofila.

Lixiviado: Agua que penetra a través del suelo, dependiendo de la naturaleza del agua, puede contener diferentes compuestos químicos en su matriz.

Menas: Mineral metalífero, principalmente el del hierro, tal como se extrae y antes de limpiarlo.

Macolla: Forma de crecimiento normalmente de la familia de las gramineas que consiste en que los vástagos laterales surgen en gran número, densamente agrupados unos junto a los otros o por encima de los otros.

Material parental: Es un material sin consolidar compuesto principalmente de minerales y materia orgánica que forma el suelo. El material parental esta expuesto al proceso de meteorización, lo que condiciona el tipo de vegetación natural, que al mismo tiempo es dependiente de las condiciones climáticas.

MTBE: Compuesto orgánico: Metil-tolueno-etil-benceno.

Necrosis de la raiz: Apariencia de pérdida de agua por la raiz.

Nivel freático: Es la superficie en la cual el agua se encuentra a presión atmosférica en un medio saturado. Por debajo, del nivel freático el agua se encuentra a presiones superiores a la atmosférica. A esta zona se le denomina zona freática. Por encima del nivel freático, las fuerzas capilares pueden saturar el medio poroso a lo largo de una zona llamada franja capilar.

Paleorinoco: Formación y dispersión del material parental por el Río Orinoco.

Pastura agresiva: se refiere al grado de dominancia de una graminea en un área determinada.

PCBs: Policloruro de bifenilo.

Pedogénesis: Estudio del suelo como un producto natural proveniente de la desintegración de las rocas por la acción del clima y los microorganismos.

Perenne: Que vive indefinidamente.

Plásmidios: Bacterias con diversas moléculas ciclicas de DNA, que replican de forma autónoma.

Revoque: Acción que ocurre cuando se inyecta el fluido base sintética en la pared del pozo de perforación. Mejora la extracción del ripio de perforación.

Ripios: Son fragmentos de rocas triturados extraídos en la barrena junto con el fluido de perforación.

Rizofiltración: Uso de las raíces de las plantas para que estas absorban, concentren y precipiten metales pesados y compuestos orgánicos provenientes de suelos y aguas contaminadas, posteriormente los metales pueden ser removidos por filtración del agua contaminada, disponiéndose adecuadamente al ambiente

Rizósfera: Parte de la raiz donde se absorben los nutrientes.

Rocas ígneas: Formadas a partir del enfriamiento y consecuente solidificación del magma (masa fluida o roca fundida).

Textura arenosa: La arena representa más del 70 por ciento de la fracción sólida del suelo. En este grupo se reconocen las texturas arenosas y areno- francosa.

Textura arcillosa: Son los que poseen mínimo 35 por ciento de arcilla y en la mayoría de los casos más de 40 por ciento. Las texturas arcillo-arenosos, arcillo-limoso, son típicas de este grupo de suelos.

Textura francosa: Es una mezcla de areno, limo y arcilla; pero las propiedades que estas fracciones ofrecen al suelo son aproximadamente iguales. En este grupo hay seis (6) clases texturales: Franco-arcillosos, Franco-arcilloso-limoso, Franco-limoso, Franco-arenoso, Franco arcilloso-arenoso y Franco.

Unidades de floculación química: Equipo que se utiliza para la separación de los fluidos de perforación de los desechos de la industria petrolera (ripios).

VOC´s: Hidrocarburos volátiles.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

ADAMS, M. 1.995. *Fundamentos de Quimica de Suelos*. Universidad Central de Venezuela. Concejo de Desarrollo Científico y Humanistico. Caracas. Venezuela. Capítulo I y II.

AMAKIRI, J.; and Onofeghara F. 1984. *Effects of Crude Oil Polution on the Germination of Zea mays and Capsicum frutescen*. Environmental Pollution (Serie A) 35 159-167 pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (A.ST.M 4500), 1.988. *Medición de Cloruros*.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1975a. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (SMEWW 5520-B). *Medición de grasas y aceites*. 14 Edition. Washington D.C.

----------. 1992b. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW 2520 A). *Medición de Conductividad eléctrica y Salinidad*. Washington D.C.

ALAIN, F.; and Voroney R. 1.998. *Decomposition of Land Applied Oily Waste and Associated Changes in Soil Aggregate Stabilit*. Biodegradation and Biorremediation. *y*. Environ Qual. Vol.: 24.

BADILLO, V.; Schnee L. Y Benitez, C. 1.995. *Clave de las Familias de Plantas Superiores de Venezuela*. Espasande. 7 ª Edición. Caracas. Venezuela. 203 p.

BRADY, N.C. 1.984. *The nature and propierties of soils*. 10th Ed. MacMillan, Publishing Co., Inc., New Cork. Capitulos 7, 8 y 9.

BRAVO, L. 1.980. *Relaciones Metabólicas de los Mecanismos de Absorción de iones en raices de Zea mays L.* Universidad Central de Venezuela. Tesis Doctoral. 3-25 pp.

BRAVO, P. 1.988. *Nutrición Mineral de las Plantas*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomia. Departamento de Botánica. Guia de estudio. Maracay-Venezuela. 47 p.

CARTY, D.; and Priebe W. 1.997. *Remediation of Salt-Affected Soils at Oil and Gas Production Facilities*. Health and Environmetal Sciences Department. API Publication Number 4663. Americam Petroleum Institute. Section Four.

CASANOVA, O. 1.991. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomia. Concejo de Desarrollo Científico y Humanístico Caracas. Venezuela. Capitulo 6.

CIAT, 1.984. *Evaluación de las pasturas con animales*. Alternativas Metodológicas. Memorias de una Reunión de Trabajo celebrada en Perú. 292 p.

COLOMBO, P. 1.995. *Efecto de la Suplementación con Gliricidia sepium Sobre la Ganancia de Peso de Mautes Pastoreando Estrella (Cynodon nlemfuensis)*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Instituto de Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Estado Aragua. Venezuela.

COPLANARH, 1.974. *Inventario Nacional de Tierras, Región Centro Oriental*. Publicación 35. Caracas.

CUBILLOS, G. 1.985. *Algunos Factores de Manejo en la Producción de las Gramíneas Tropicales*. (Mimeo).

CHAINEAU, C.H.; Morel J. and Oudot J. 1.997. *Phitotoxicyty and Plant Uptake of Fuel Oil Hydrocarbons*. J. Environ Qual. Vol.: 26. 1478-1483 pp.

_____. 2.000. *Biodegradation of Fuel Oil Hydrocarbons in the Rhizosphere of Maize*. Environ Qual. Vol.: 29: 569-577 pp.

DAVIS, B.; Renato, D.; Herman, E., Ginsberg, H.; W.Barry, W. 1.978. *Tratado de Microbiología. Inmunología y genética molecular*. SALVAT-Editores S.A. Barcelona. España. p. 1126.

DÍAZ, E; Y Hernández N. 1.994. *Efecto de la Suplementación con Gliricidia sepium y Concentrado Sobre la Ganancia de Peso en Mautes*. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Estado Aragua. Venezuela.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA 9045 C). 1.980. *Método de medición de pH*.

----------.1.990. *Identificando su residuo, El punto de Partida. Tres pasos a seguir para identificar un residuo*. 1-4 pp.

---------- (EPA 3500). Julio 1.992a. *Método Extracción orgánicas y preparación de muestras*.

----------.1.992b Method 1311. *Toxicity Characteristic leaching procedure*. Federal register.

----------. 1.992c. *Technical of remediation, alternatives to diminish the contamination of the floor*.

----------(EPA 3540). Septiembre 1.994. *Método de Extracción Soxhlet para medición de Grasas y Aceites*.

----------(EPA 3052). 1.995. *Método de Medición de Metales pesados y no pesados*.

----------(EPA 542-B-99-003). 1.999a. *Phytoremediation Resource Guide*. Disponible: **http://www.epa.gov/tio**.

----------(EPA 600-R-99-107). 1.999b. *Introduction to Phytoremediation*. Disponible: **http://www.epa.gov/tio**.

FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1.990. *Estudio Agroecológico del Campo Experimental Santa Bárbara. Estado Monagas. Estación Experimental Monagas*. Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables. Zona 12. Maturín. Estado Monagas. Venezuela.

FUNDACIÓN SERVICIOS PARA EL AGRICULTOR. 1.986. *Pastos*. 10:92-95. Caracas Venezuela.

GACETA OFICIAL DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA 5.212.. Fecha del 3 de agosto de 1.998. *Normas para el control de la generación y manejo de desechos peligrosos*. Decreto Nº 2.635. Nº Extraordinario. Caracas. Venezuela

GARCÍA A.; Garrido O: *Análisis de Regresión*. Notas. Mimeografiado. México.

GUZMÁN, J. 1.996. *Pastos y Forrajes. Producción y aprovechamiento*. Espasande.3ª Edición. Caracas. Venezuela. 286-294. pp.

GREALT M.; Levin M. y Shields M. 1.995. *Uso de Microorganismos para la Biodegradación de Materiales Peligrosos en Trabajos de Campo*. Capitulo 8.

HOLT A. and Coventry J. 1.990. *Nutrient Cycling in Australian Savannas*. Journal Biogeography. Vol 17, 427-432.

HOWARD M. RESH. *Cultivos Hidropónicos*. Nuevas Técnicas de Producción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 27-28 pp.

HUTCHINSON, L.; Schwad P.; Banks K. 2.001a. *Phytoremediation of Aged Petroleum Sludge: Effect of Irrigation Techniques and Sheduling*. Journal of Environmental Quality Vol. 30, 1.516-1.522 pp.

_____. 2.001b. *Phytoremediation of Aged Petroleum Sludge: Effect of Inorganic Fertilizer*. Journal of Environmental Quality Vol. 30, 395-403 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2.001. *Informe: 2634*. República Bolivariana de Venezuela, Ministerio de Tecnologia, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Agroecológicos. El Limón, Maracay, Estado Aragua. Venezuela.

JAKSON L. M. 1.982. *Análisis químico de suelos*. 4ta edición. OMEGA. Barcelona, España. p. 662.

JOSEPH E. B. 1982. *Propiedades geofísicas de los suelos*. Ediciones Lerner Ltda., Bogotá, Colombia. pp.38, 61.

KINGSTON, H. M.; Jassie, L. B. 1988a. *Introduction to Microave Sample Preparation: Theory and Practice*. Eds.; Professional Reference Book Series; American Chemical Society: Washington, DC.

---------- ; Walter, P. J. ; Lorentzen, E. M. L. ; Lusnak, G. P. 1994b. *The Performance ef Leaching Studies on Soil SRMs 2710 and 2711*. Report to NIST Office of Standard Reference Materials, Duquesne University, Pittsburgh, PA.

----------; Hassell, S. 1995c. *Microwave Enhanced Chemistry*. ACS Professional Reference Book Series; Ameerican Chemical Society: Washington, DC.

LABORATORIO DE TRATABILIDAD DE DESECHOS SÓLIDOS. *Análisis de laboratorio*. Resolución: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR) LDP-01-022-01.

KREYSZIG E. 1981. *Introducción a la Estadística Matemática Principios y Métodos*. Ediciones Limusa. México.

LAGOVEN, 1983. *El Pozo Ilustrado, Capitulo III: Perforación. Cuadernos Lagoven*. Filial de Petróleos de Venezuela. Confidencial.

LEUTERMAN, J.A. 1.990. *Recomendaciones para el uso de Lodos en Áreas Ecológicamente sensibles*. Manual, M-I Drilling Fluids de Venezuela C.A. Environmentally Involved.

MARCANO, F. 1.981. *Estudio del Efecto de Diferentes Fuentes Nitrogenados, Dosis y Época de Aplicación Sobre el Rendimiento del Maíz (Zea mays L.)*. X Jornada Agronómicas, San Cristóbal, Estado Táchira. Venezuela. 29 pp.

MARÍN, C. 2.000. *Tratamiento de Ripios*. Seminario de Introducción a la Ingeniería Ambiental. Postgrado de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. Venezuela.

MÁRQUEZ, M. 1.995. *Diagnóstico de la Vegetación en Zonas Afectadas por el Derrame del Pozo MUC-21 Localizado en el Estado Monagas*. Tesis de grado. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Departamento de Ecología Universidad Central de Venezuela.. Caracas. Venezuela.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES (M.A.R.N.R). 1.983. *Estudio preliminar de Suelos llanos altos de Monagas, sector Tarragona, El Tejero, Santa Bárbara, Aguasay*. División de Información e Investigación del Ambiente, Zona 12. Serie de Información Técnicos IT/173. Maturín.

MILES, J.; Maass, B. Y do Valle, C. 1.998. *Urochloa: Biología, Agronomía y mejoramiento*. CIAT. Cali, Colombia. 312 p.

MILLER, R.; Honarvar S.; and Hunsaker B. 1.980a. *Effects of Drilling Fluids on Soils and Plants: I. Individual Fluid Components*. Journal of Environmental Quality 9(4): 547-552 pp.

----------; Pesaran P. 1.980b. *Effects of Drilling Fluids on Soils and Plants: II Complete Drilling Fluid Mixture*. Journal of Environmental Quality. 9 (4): 552-556.

----------. 1.998. *Phytoremediation, Technology Overviem Report, from the Ground-Water Remediation Tecnologies Analysis Center (GWRTAC)*. Disponible: **http://www.gwrtac.org**.

MCLEAN E. O. 1.965. *Aluminum*. En: Black, C.A. et al. (ed). *Methods of soils analysis*. II Chemical and microbiological properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin, E.U. pp. 978-998.

MONZÓN, D. 1.992. *Introducción al Diseño de Experimentos*. Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomia. 3era Edición Maracay. Venezuela. 41 p.

MUÑOZ, F. 1.997. Fitorremediación, CHILE: MEDIO AMBIENTE Y ECOLOGÍA. Environment and Ecology Chile. *Investigación de la Gestión IMA con Plantas Chilenas*. Fitorremediación. La idea por la cual las plantas, ya sea flora arbórea, arbustiva. Disponible: **http://www.usach.cl/ima/fitorrem.htm**.

NEWMAN L.; Reynolds. And Tossel B. 2.001. *The Application of Phytoremediation. In situ and On-Site Biorremediation: The Sixth International Symposium*. Sunday, 3 June.

NICHOLS D.; Wolf C.; Rogers B.; Beyrouty A and Reynolds M. 1.997. *Rhizosphere Microbial Populations in Contaminated Soils*. Water Air and Soil Pollution. Vol.95, 165-178 pp.

NORMA VENEZOLANA COVENIN 2797-91. 1.991. *Desechos tóxicos o peligrosos*. Método de lixiviación.

ODUM, E. *Ecología*. 1.972. Nueva Editorial Interamericana S.A. Tercera edición. México. P. 259.

OQUENDO, C.; Gerardo, J. Y Manteco N. 1.983. *Comportamiento de Variedades de Pastos en Suelos Pardos de Guaimaro*. Pastos y Forrajes. 6 (3): 319-329.

OUR COMMON FUTURE. 1.987. *Report of the Brutland Commiddion*. Oxford University Press. Londres.

RAMOS J. 1.981. *Productividad y Composición Química de los Pastos: Alemán (Echinoclhloa polystachya H.B.K. Hitchc), Pará (Brachiaria mutica Stapf). Tanner-Grass (Brachiaria mutica Stapf var. Tanner)*. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Botánica Agrícola. Sección de Ecología Agrícola. Maracay. Estado Aragua. Venezuela. 7 p.

REMY, V.; Cáceres, R. Y Garcia, M. Esperance. 1979. *Hierba Bermuda (Cynodon dactylon L. Pers.)*, Rev. de la Estación Experimental de Pasto y Forrajes "Indio Hateuy". Cuba. 19-30 p.

RIVAS E. 1979. *Estadística general*. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca. Caracas.

SÁNCHEZ, L. 1.993. *Análisis e interpretación de algunas propiedades físico-químicas de los suelos de Calabozo Edo. Guárico*. Informe de Laboratorio. Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC). Centro de Ecología y Ciencias Ambientales.

SÁNCHEZ, C. y Medina J. 2.000. *Contaminación de un Ultisol de La Sabana Oriental de Venezuela por Derrame de Fluidos Petroleros. Universidad de Oriente*. Escuela de Ingeniería Agronómicas. L Convención Anual. Universidad Simón Bolívar. XXX Aniversario. ASOVAC 2000. Acta Científica Venezolana. Volumen 51, Suplemento N° 2-2000. 13p.

SÁNCHEZ, G.; Rodríguez, A.; Martínez, A.; Esclapés, M.; Rodríguez, R.; Bruzzanese, A.; Galindo, I.; Sánchez, L.; Pulido, R.; Zorrilla, E. y León, N. 1.999. *Evaluación Ambiental de Fluidos Formulados con Aceite Mineral BIODIL y Biotratamiento de los Ripios de Perforación*. PDVSA-INTEVEP. INT-6818.1.999. CONFIDENCIAL. Los Teques. Venezuela.

SCHEE, L. 1.984. *Plantas Comunes de Venezuela*. 3ª ed. Caracas, Universidad Central de Venezuela. 822 p.

SCHNOOR, J. 1.997. *Phytoremediation, Technology Evaluation Report*, GWRTAC. Disponible: **http://www.epa.gov/tio**

SUTELIFFE, J. Y Baker, D. 1.979. *Las Plantas y las Sales Minerales*. Cuadernos de Biología. Ediciones OMEGA, S.A. Barcelona, España.

THE INTERSTATE TECHNOLOGY AND REGULATORY COOPERATION (ITRC). 1.999. *Phytoremediation Decision Tree*, Prepared by: Work Group Phytoremediation Work Team. November. Disponible: **http://www.itrcwep.org**.

UNIDAD ECOLÓGICA, S.A. (UNECO), 1.998. *La biorremediación "IN SITU". Diferentes estudios y Técnicas de Biorremediación*. Disponible: **http://site.yahoo.com/uneco827/bioremediation.html**.

VÁSQUEZ, P.; Urich J.; Rodríguez A.; Gonzáles V.; Marcano J.; López C.; y Colombo P. 1.998. *Edafic and successional changes generate by drill wastes application in acid-sulfate soils at the upper Orinoco Delta. Society of Petroleum Engineers*. SPE International. SPE 48922.

VELÁSQUEZ, J.; Machado, A.; Castillo, M. Y Delfín, A. 1.993. *Diagnóstico Ambiental y Monitoreo Físico-químico del Área del Pozo MUC-21*. Informe Final. Universidad Central de Venezuela-CORPOVEN S.A., Caracas. Venezuela. 55 p.

VERGARA, P. 1.995. *La Fuerza del equilibrio: Petróleo y Medio Ambiente*. Temas Petroleros. Programa de Educación petrolera. PDVSA. Disponible: **http://www.pdvsa.com/pep/espanol/pep_temas_es.html**.

WESTON F. 1.993. *Windrow Composting Demonstration for Explosives-Contaminated Soils at the Umatilla Depot Activity, Hermison, Oregon, Final Report*, Prepared for USAEC, Contract N° DACA 31-91-D-0079, Report N° CETHA-TS-CR-93043.

WILTSE C.; Rooney, Z.; Chen A.; Schwab P. and Banks M. 1.998. *Greenhouse Evaluation of Agronomic and Crude Oil-Phytoremediation Potencial among Alfalfa Genotypes*. Environ Qual. Vol.: 27. 169-171 pp.

WHAT IS PHYTOREMEDIATION. 2.000. Disponible: **http://www.ecological-engineering.com/phytorem.html**

ZORAIDA, L. 1.963. *Las Gramineas del Distrito Federal*. Instituto Botánico. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. Venezuela. 224.