

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS  
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

**“ FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL  
EN SUELOS CONTAMINADOS CON  
HIDROCARBUROS”**

**Proyecto previo a la obtención del título de  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**Elaborador por:**

**RICHARD VINICIO SILVA CHÁVEZ**

**Director: MSC. Medardo Ulloa.**

**Codirector: Ing. Carolina Zurita.**

**SANGOLQUI, 04 DE JULIO DEL 2006**

## **CERTIFICACIÓN**

El proyecto "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS" fue realizado en su totalidad por el alumno Sr. RICHARD VINICIO SILVA CHÁVEZ como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA.

**Ing. Medardo Ulloa**  
**DIRECTOR**

**Dra. Carolina Zurita**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí 04 de Julio del 2006.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la compañía AGIP Oil ECUADOR B.V. que opera en el Bloque 10 por permitir la ejecución del Proyecto de Fitorremediación y de manera especial a cada una de las personas que forman parte del Departamento de Health Safety Environmental and Quality (HSE-Q) por su abnegado apoyo, colaboración y facilidades prestadas para el desarrollo del proyecto.

A mi director de tesis MSC. Medardo Ulloa Enriquez por compartir su valioso conocimiento y por su apoyo incondicional durante el transcurso de la ejecución del Proyecto.

A cada uno de mis compañeros: Daniel, Cristina, Pedro, Adriana, Ricardo, María José, Carlos, Emilia, Sandra, Verónica, Patricia, Jennifer y Viviana con quienes compartí momentos gratos durante la vida universitaria que quedaran grabados en mi mente y los llevaré por siempre.

***RICHARD SILVA CHÁVEZ***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de dedico a:

Dios por colmarme de bendiciones, fortaleza y sabiduría para poder afrontar y sobrepasar cada uno de los retos y adversidades que se me presentan en el transcurso de mi vida.

A mis padres: Marcelo y Silvia, a mis hermanos: Marcelo y Valeria y a cada uno de los miembros de mi familia por el apoyo incondicional que siempre me brindan, por su esfuerzo para que nunca me falte nada y pueda cumplir mis metas, por su preocupación en todos los momentos de mi vida y por sobre todas las cosas por la comprensión y muestras de cariño que me brindan día a día.

***RICHARD SILVA CHÁVEZ***



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....II	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....III	III
DEDICATORIA.....	
IV	
AGRADECIMIENTO.....	
V	
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....VI	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
IX	
ÍNDICE DE TABLAS.....X	X
ÍNDICE DE CUADROS.....XI	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....XII	XII
NOMENCLATURA.....XI	XI
II	
RESUMEN.....XI	XI
V	
ABSTRACT.....X	X
V	

### Capítulo I. INTRODUCCIÓN.

1.	
Introducción.....	..1
1.1. Planteamiento del problema.....3	3
1.2. Objetivos.....	.5

### Capítulo II. MARCO TEÓRICO.

2. Fitorremediación.....	.6
2.1. El potencial de la Fitorremediación para el tratamiento de los hidrocarburos.....	.9
2.2. Tipos de Fitorremediación.....9	9
2.3. Mecanismos de la Fitorremediación de los hidrocarburos del petróleo.....1	1
2.3.1. Degradación.....1	1

2.3.2. Contención.....	1
8	
2.3.3. Transferencia de los hidrocarburos del petróleo a la atmósfera.....	19
2.3.4. El papel de los microorganismos en la degradación.....	19
2.4. Influencia de factores ambientales en la Fitorremediación.....	21
2.4.1. Estructura del suelo, textura y contenido de la materia orgánica.....	2
2	
2.4.2. Temperatura.....	23
23	
2.4.3. Radiación solar.....	23
2.4.4. El desgaste por la acción atmosférica.....	24
24	
2.5. Alternativas para la Fitorremediación.....	24
24	
2.5.1. Atenuación natural.....	24
24	
2.5.2. Ingeniería.....	25
25	
2.5.3. Técnicas usadas para mejorar la Fitorremediación.....	25
25	
2.5.4. Fitorremediación vs. métodos tradicionales.....	26
26	
2.6. Comparación de la Fitorremediación a las estrategias alternativas de la remediación.....	27
27	
2.6.1. Ventajas directas de la Fitorremediación.....	27
27	
2.6.2. Ventajas indirectas de la Fitorremediación.....	28
28	
2.6.3. Limitaciones de la Fitorremediación.....	28
28	
2.6.4. Costos de la Fitorremediación.....	29
29	
2.7. Especies Fitorremediadoras.....	30
30	
2.7.1. Familia <i>Asteraceae</i> .....	31
31	
2.7.1.1. Características botánicas de la familia <i>Asteraceae</i> o Compuesta.....	31
31	
2.7.1.2. Girasol.....	34
34	
2.7.1.3. Etapas fenológicas.....	36
36	

2.7.1.4. Requerimientos edáficos.....	39	climáticos	y
2.7.1.5. Requerimientos nutricionales.....	41		
2.7.2. Familia <i>Solanaceae</i> .....	43		
2.7.2.1. Características botánicas de la familia <i>Solanaceae</i> .....	43		
2.7.2.2. Tomate.....	45		
2.7.2.3. Etapas fenológicas.....	48		
2.7.2.4. Requerimientos edáficos.....	49	climáticos	y
2.7.2.5. Requerimientos nutricionales.....	51		
2.7.3. Familia <i>Brassicaceae</i> .....	53		
2.7.3.1. Características botánicas de la familia <i>Brassicaceae</i> .....	53		
2.7.3.2. Col.....	55		
2.7.3.3. Etapas fenológicas.....	58		
2.7.3.4. Requerimientos edáficos.....	60	climáticos	y
2.7.3.5. Requerimientos nutricionales.....	62		
2.8. Níquel.....	64		
2.8.1. Introducción.....	64		
2.8.2. Propiedades.....	65		
2.8.3. Comportamiento ambiente.....	67	en el medio	
2.8.4. Efectos del níquel sobre la salud.....	68		

### Capítulo III. DISEÑO METODOLÓGICO.

3. Diseño metodológico.....	70		
3.1. Marco metodológico.....	70		
3.2. Descripción proyecto.....	71		del
3.2.1. Antecedentes.....	71		

3.2.2. Aplicación del proyecto de Fitorremediación.....	72	
3.2.3. Fase de investigación, caracterización del emplazamiento y del contaminante.....	73	
3.2.4. Consideraciones de diseño y manejo del proyecto.....	74	
3.3. Control y seguimiento.....	81	
3.3.1. Plan de monitoreo.....	81	
3.3.2. Caracterización inicial del suelo.....	84	
3.4. Análisis del proyecto.....	84	
3.4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	84	
3.4.1.1. Girasol.....	91	
3.4.1.2. Col.....	98	
3.4.1.3. Tomate.....	105	
3.4.2. Análisis de la remoción de Níquel en las raíces.....	112	
3.4.2.1. Girasol.....	112	
3.4.2.2. Col.....	114	
3.4.2.3. Tomate.....	116	

#### CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4. Conclusiones y recomendaciones.....	119	
4.1. Conclusiones.....	119	
4.2. Recomendaciones.....	121	

#### CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

5. Bibliografía.....	123	
5.1. Glosario técnico.....	128	
5.2. Apéndices.....	134	

5.3. Anexos.....	1
37	
5.4. Anexos	
fotográficos.....	179

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.-</b> Phytoremediation of soil	
contaminant.....	6

<b>Figura 2.2.- Phytoremediation</b>	
mechanisms.....	8
<b>Figura 2.3.- Types of</b>	
Phytoremediation.....	9
<b>Figura 2.4.- Efecto de la</b>	
rizosfera.....	13
<b>Figura 2.5.- Degradación de los</b>	
hidrocarburos.....	16
<b>Figura 2.6.- Capítulo Girasol, <i>Helianthus</i></b>	
<i>annus</i> .....	34
<b>Figura 2.7.- Etapas fenológicas del Girasol, <i>Helianthus</i></b>	
<i>annus</i> .....	36
<b>Figura 2.8.- Tomate, <i>Lycopersicum</i></b>	
<i>esculentum</i> .....	45
<b>Figura 2.9.- Etapas fenológicas del Tomate, <i>Lycopersicum</i></b>	
<i>esculentum</i> .....	48
<b>Figura 2.10.- Col, <i>Brassica oleracea</i> –</b>	
Capitata.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.-</b> Clasificación científica, Girasol, <i>Helianthus annus</i> .....	34
<b>Tabla 2.2.-</b> Etapas fenológicas, Girasol, <i>Helianthus annus</i> .....	37
<b>Tabla 2.3.-</b> Nutrientes, Girasol, <i>Helianthus annus</i> .....	41
<b>Tabla 2.4.-</b> Clasificación científica, Tomate, <i>Lycopersicum esculentum</i> .....	45
<b>Tabla 2.5.-</b> Nutrientes, Tomate, <i>Lycopersicum esculentum</i> .....	51
<b>Tabla 2.6.-</b> Clasificación científica, Col, <i>Brassica oleracea – Capitata</i> .....	56
<b>Tabla 2.7.-</b> Propiedades Físicas del Níquel.....	66
<b>Tabla 3.1.-</b> Concentración inicial de Níquel en el suelo.....	90
<b>Tabla 3.2.-</b> Concentraciones de Níquel en el control y por cada monitoreo – Girasol.....	92
<b>Tabla 3.3.-</b> Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.....	93

<b>Tabla 3.4.-</b> Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.....	95
<b>Tabla 3.5.-</b> Concentraciones de Níquel en el control y por cada monitoreo – Col.....	99
<b>Tabla 3.6.-</b> Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.....	100
<b>Tabla 3.7.-</b> Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.....	102
<b>Tabla 3.8.-</b> Concentraciones de Níquel por cada monitoreo – Tomate.....	106
<b>Tabla 3.9.-</b> Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.....	107
<b>Tabla 3.10.-</b> Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.....	109
<b>Tabla 3.11.-</b> Resultados de los análisis en raíz – Girasol.....	113
<b>Tabla 3.12.-</b> Resultados de los análisis en raíz – Col.....	115
<b>Tabla 3.13.-</b> Resultados de los análisis en raíz – Tomate.....	116

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.1.-</b> Distribución de las plantas en la platabanda.....	85
---	----



**Cuadro 3.2.- Remoción de Níquel –**  
Girasol.....94

**Cuadro 3.3.-Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto –**  
Girasol.....9  
6

**Cuadro 3.4.- Remoción de Níquel –**  
Col.....101

**Cuadro 3.5.-Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto –**  
Col.....10  
3

**Cuadro 3.6.- Remoción de Níquel –**  
Tomate.....108

**Cuadro 3.7.-Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto –**  
Tomate.....1  
10

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo</b>	<b>A.-</b>	Semillas	de	
Girasol.....				136
<b>Anexo</b>	<b>B.-</b>	Semillas	de	Tomate.
.....				137
<b>Anexo</b>	<b>C.-</b>	Semillas	de	
Col.....				138
<b>Anexo</b>				<b>D.-</b>
Emplazamiento.....				139
<b>Anexo</b>		<b>E.-</b>		Construcción
vivero.....				140
<b>Anexo</b>	<b>F.-</b>	Construcción	de	
Platabandas.....				141
<b>Anexo</b>	<b>G.-</b>	Preparación	del	
Suelo.....				142
<b>Anexo H.-</b>		Hoja de control de Temperatura y Humedad interna del vivero.....		14
				3
<b>Anexo</b>	<b>I.-</b>	Datos estación metereológica	del	
CPF.....				145

<b>Anexo</b>	<b>J.-</b>	Hoja de control de monitoreo de las plantas.....	146
<b>Anexo</b>	<b>K.-</b>	Análisis iniciales de suelo.....	152
<b>Anexo</b>	<b>L.-</b>	Análisis finales de suelo – Girasol.....	155
<b>Anexo</b>	<b>M.-</b>	Análisis finales de suelo – Col.....	161
<b>Anexo</b>	<b>N.-</b>	Análisis finales de suelo – Tomate.....	167
<b>Anexo</b>	<b>O.-</b>	Análisis de raíz – Girasol.....	172
<b>Anexo</b>	<b>P.-</b>	Análisis de raíz – Col.....	174
<b>Anexo</b>	<b>Q.-</b>	Análisis de raíz – Tomate.....	176

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Los hidrocarburos del petróleo son productos químicos, que normalmente son usados por los seres humanos para una variedad de actividades.

El gas natural, el petróleo y los asfaltos son diferentes tipos de hidrocarburos integrados por varias proporciones de: alcanos (Ej. metano, etano, propano), de compuestos aromáticos (Ej. benceno, tolueno, etilbenceno y xileno conocido colectivamente como BTEX) y de aromáticos policíclicos HAP's (Ej. naftalina, fenantreno, antraceno, benzopireno). (Cookson, H. T. 1995).

Durante el último siglo, la industrialización ha dado lugar a una confianza cada vez mayor a los productos petroquímicos, alternadamente esto ha dado lugar a la contaminación de un número significativo de sitios, tanto con petróleo, como con sus subproductos.

La técnica de fitorremediación, es el uso de plantas y microorganismos asociados al tratamiento in situ de suelos contaminados, es una tecnología que surge potencialmente para la limpieza eficaz y barata de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Cookson, H. T. 1995).

Algunas plantas destruyen los agentes contaminantes orgánicos degradándolos directamente. Otras plantas toman los contaminantes inorgánicos del suelo o del agua y los concentran en el tejido o la raíz de la planta. Usando diversas plantas, la fitorremediación se puede aplicar para la contención, destrucción o extracción de los contaminantes. (Banks, M. K., and Schwab, A.P. 1993).

Esencialmente, la fitorremediación es una técnica empleada por el ser humano para mejorar la atenuación natural de sitios contaminados, por lo tanto es un proceso que es intermedio entre la ingeniería y la atenuación natural.

La fitorremediación es eficaz para degradar y contener los hidrocarburos del petróleo así como la transferencia de estos compuestos del suelo a la atmósfera. De interés particular está el hecho de que varias plantas, junto con sus microorganismos asociados, se han encontrado para aumentar el retiro de los hidrocarburos del petróleo en el suelo contaminado. (Cunningham, S. D. and Berti, W. R. 1993).

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En el proceso de producción de crudo, se pueden producir eventualmente contaminaciones del suelo con Hidrocarburos. Los suelos contaminados son sometidos a procesos de Biorremediación para sujetarse a límites máximos permisibles en el contenido de Hidrocarburos.

Sin embargo los procesos de Biorremediación convencionales no remueven los metales pesados contenidos en la base del hidrocarburo, dado por lo cual, las concentraciones de estos metales y para el caso en estudio específicamente el níquel generalmente incumple el límite máximo permisible, que establece la normativa ambiental específica. (REGLAMENTO SUSTITUTIVO AL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS DEL ECUADOR). (APÉNDICE I).

Consecuentemente es necesario reducir la cantidad de este metal pesado en el suelo. Este tipo de contaminación es muy difícil de eliminar, permaneciendo durante largas décadas en el suelo y concentrándose a lo largo de la cadena trófica. Las propiedades físicas del suelo se ven muy afectadas por la contaminación con hidrocarburos y sus derivados: al aglutinarse las partículas del suelo se generan estructuras más gruesas que cubren la superficie de las partículas, el espacio poroso y afectan a la aireación del suelo, la película que cubre las partículas es hidrófoba y disminuye la retención de agua, por otro lado el contenido de materia orgánica del suelo se incrementa

notablemente, así como la acidificación, la saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico.

Resulta un blanco perfecto el Níquel para la Fitorremediación, ya que una vez que se encuentra en el suelo, posee escasa movilidad y forma una delgada capa en la superficie del suelo, donde puede estar en contacto directo con las raíces.

Uno de los métodos analizados y reportados bibliográficamente es el de “**Fitorremediación**” (Uso de plantas para limpiar ambientes contaminados).

Por tal motivo como objetivo principal del presente estudio, en lo referido a la Fitorremediación, es disminuir la concentración de Níquel en los suelos biorremediados. Al final del presente trabajo los niveles de concentración de Níquel en el suelo fitorremediado, será menor que la concentración inicial desde la cual se partió.

Por las características del área, se desea evaluar su aplicabilidad práctica en el Área de Influencia (*Zona de Bosque Húmedo – Tropical, de población indígena (Quichua) dispersa, donde se ubica el Centro de Facilidades de Producción de Crudo (CPF) de la Compañía AGIP Oil Ecuador, B.V. En un área aproximada de 16 hectáreas rodeada de bosque parcialmente intervenido*). (APÉNDICE II).

## **1.2. OBJETIVOS.**

### 1.2.1. GENERAL.

Aplicar la Fitorremediación para remoción de Níquel en suelos contaminados con Hidrocarburos bajo las condiciones ambientales de la Amazonía.

### 1.2.2. ESPECÍFICOS.

- ✓ Determinar la viabilidad del **Girasol** ( *Helianthus annuus* ) para la remoción de Níquel por Fitorremediación en suelos contaminados con Hidrocarburos.
  
- ✓ Determinar la viabilidad de la **Col** ( *Brassica oleracea-Capitata* ) para remoción de Níquel por Fitorremediación en suelos contaminados con Hidrocarburos.
  
- ✓ Determinar la viabilidad del **Tomate** ( *Lycopersicum esculentum* ) para la remoción de Níquel por Fitorremediación en suelos contaminados con Hidrocarburos.



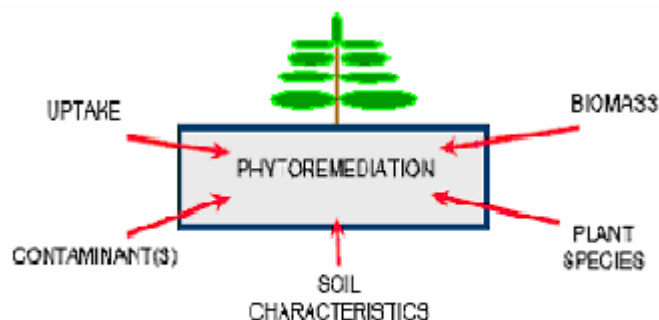
## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2. FITORREMEDIACIÓN.

***“ La Fitorremediación es una ciencia floreciente, con un presente asombroso y un futuro muy prometedor. ”***

Fitorremediación (fito = planta y remediación = recuperar el medio ambiente) la fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos, etc. (Steven A. Rock. 1997).

**Figura 2.1 Phytoremediation of soil contaminants.**



Fuente.- Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996.

La fitorremediación es el término que se aplica al uso de una amplia variedad de plantas para remover de los diferentes recursos, igualmente una amplia variedad de contaminantes; existen diversos mecanismos usados para varios tipos de fitorremediación.

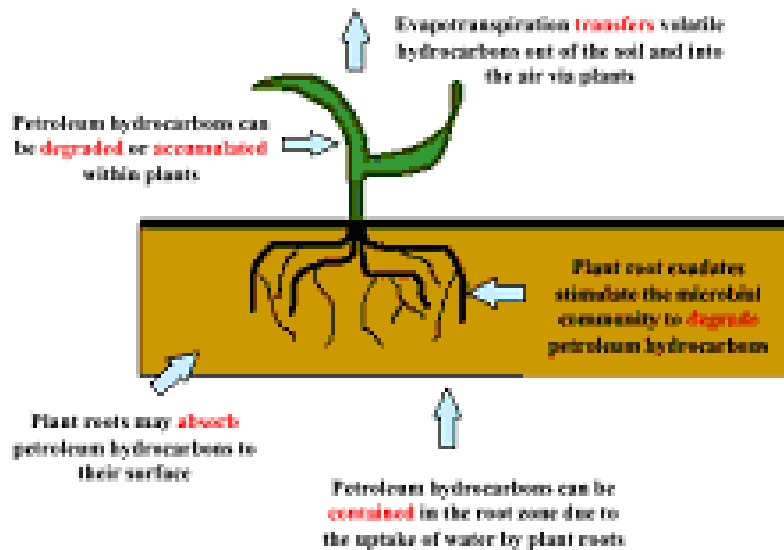
La idea de utilizar plantas con una alta capacidad de acumular metales, para removerlos selectivamente del suelo cuando se encuentran en exceso, fue propuesta en el año 1983 por Chaney y sus colaboradores, pero recién tuvo aceptación a partir de 1990 y se ha denominado como una tecnología práctica y potencialmente rentable. (Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996)

La fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, es un método de bajo costo para la limpieza del suelo y algunos metales extraídos se pueden reciclar. Los costos son mínimos para cultivar comparados a los del retiro y reemplazo del suelo. El uso de plantas en suelos contaminados para remediarse se considera una gran promesa.

Las plantas hiperacumuladoras tienen la capacidad de extraer elementos del suelo y de concentrarlos en las raíces, tallos y hojas, mientras que actúan como aspiradoras, las plantas deben poder tolerar y sobrevivir en concentraciones altas de metales pesados existentes en el suelo.

La fitorremediación utiliza a las plantas para transformar a los contaminantes del suelo en menos tóxicos y a menudo también se refiere como proceso final luego de una Biorremediación convencional.

**Figura 2.2 Phytoremediation mechanisms.**



Fuente.- Anderson, T.A., Hoylman J. M., Edwards N.T. and Walton B.T.. 1997.

Estas plantas poseen los genes que regulan la cantidad de metales tomados del suelo por las raíces y depositados en otras localizaciones dentro de la planta, estos genes gobiernan los procesos que pueden aumentar la solubilidad de los metales en el suelo que rodea las raíces, así como las proteínas del transporte que mueven los metales en las células de la raíz. (Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996)

De allí, los metales se incorporan en el sistema vascular de la planta para el transporte adicional a otras partes de la planta y se depositan en última instancia en células de la hoja. Se han identificado diferentes variedades de plantas para que su potencial facilite a la

fitorremediación de los sitios contaminados con los hidrocarburos del petróleo.

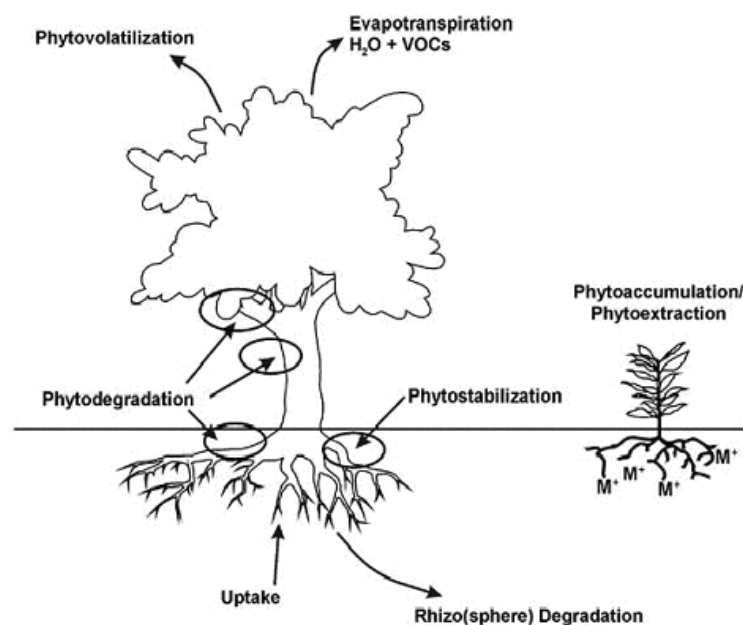
## 2.1. EL POTENCIAL DE LA FITORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS.

La vegetación puede mejorar procesos in situ de biorremediación, la fitorremediación es una tecnología emergente "verde" que se emplea en distintas unidades de proceso o plantas de producción para remediar el suelo, los sedimentos, el agua superficial, y aguas subterráneas que se encuentran contaminados por metales tóxicos, orgánicos y radionucleidos. (Steven A. Rock. 1997).

## 2.2. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN.

Hay diversos tipos de fitorremediación:

**Figura 2.3 Types of phytoremediation.**



Fuente.- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996.

### **Fitoestabilización.**

Mediante la fitoestabilización, los compuestos químicos producidos por la planta inmovilizan a los contaminantes.

Este proceso reduce la movilidad del contaminante y previene la migración potencial al agua subterránea o al aire y reduce la biodisponibilidad para la entrada en la cadena trófica. Esta técnica se puede utilizar para restablecer una cubierta vegetativa en los sitios donde hay ausencia de vegetación natural debido a las concentraciones altas del metal en los suelos, y prevenir la migración de estos a otros estratos. (Anderson, T.A., Hoylman J. M., Edwards N.T. and Walton B.T. 1997)

### **Fitoestimulación.**

Es la interrupción de los contaminantes en el suelo con la actividad microbiana que es mejorada por la presencia de la rizosfera y es un proceso mucho más lento que la fitodegradación.

Los microorganismos (levaduras, hongos o bacterias) consumen y digieren las sustancias orgánicas para la nutrición y la energía. Ciertos microorganismos pueden digerir sustancias orgánicas tales como combustibles o solventes que sean peligrosos para los seres humanos y transformarlos en productos inofensivos con la biodegradación. (Anderson, T.A., Hoylman J. M., Edwards N.T. and Walton B.T. 1997)

### **Fitoextracción.**

También llamada fitoacumulación, en este proceso, las raíces de la planta absorben y desplazan a los contaminantes junto con los nutrientes y el agua.

Ciertas plantas hiperacumuladoras absorben cantidades inusualmente grandes de metales en comparación a otras plantas. Una combinación de estas plantas se selecciona y se planta en un sitio donde existe la presencia de los metales. Después de que las plantas hayan crecido por varias semanas o meses, se cosechan e incineran.

### **Fitodegradación .**

En este proceso, las plantas metabolizan y destruyen realmente a los contaminantes dentro de los tejidos finos de la planta, los cuales se utilizan como nutrientes. Las plantas producen las enzimas, tales como deshalogenasa y oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación. (Anderson, T.A., Hoylman, J. M., Edwards N.T. and Walton B.T. 1997)

### **Fitovolatilización.**

Es la absorción y transpiración de un contaminante al interior de una planta, el contaminante ya transformado en compuestos menos tóxicos, es eliminado por la planta a la atmósfera. (Anderson, T.A., Hoylman J. M., Edwards N.T. and Walton B.T. 1997)

### **Rizofiltración.**

Es la adsorción o la precipitación de los contaminantes sobre las raíces o la absorción de los contaminantes por la planta a través de las raíces que están en la solución que rodea la zona de la raíz. (Anderson, T.A., Hoylman, J. M., Edwards N.T. and Walton B.T. 1997)

### **Diferentes acciones de la Fitorremediación.**

Según la planta y el agente contaminante, la fitorremediación puede producirse por:

- Acumulación del contaminante en las partes aéreas de la planta (por Ej. metales pesados).
- Absorción, precipitación y concentración del contaminante en raíces (por Ej. metales pesados, isótopos radioactivos).
- Reducción de la movilidad del contaminante para impedir la contaminación de aguas subterráneas o del aire (por Ej. lagunas de desecho de yacimientos mineros).
- Desarrollo de bacterias y hongos que crecen en las raíces y degradan a los contaminantes (por Ej. hidrocarburos del petróleo).
- Captación y modificación del contaminante para luego liberarlo a la atmósfera con la transpiración (por Ej. mercurio, selenio y metales clorados).
- Captación y degradación del contaminante para originar compuestos menos tóxicos (por Ej. pesticidas, herbicidas, etc.).

## **2.3. MECANISMOS DE LA FITORREMEDIACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO.**

Hay tres mecanismos primarios por los cuales el suelo y el agua son remediados por las plantas y microorganismos. Estos mecanismos incluyen la degradación y la contención, así como la transferencia de los hidrocarburos del suelo a la atmósfera. (Davis, L.C., Erickson, L.E., Lee E., Shimp, J.F. and Tracy, J.C.. 1993)

### **2.3.1. DEGRADACIÓN.**

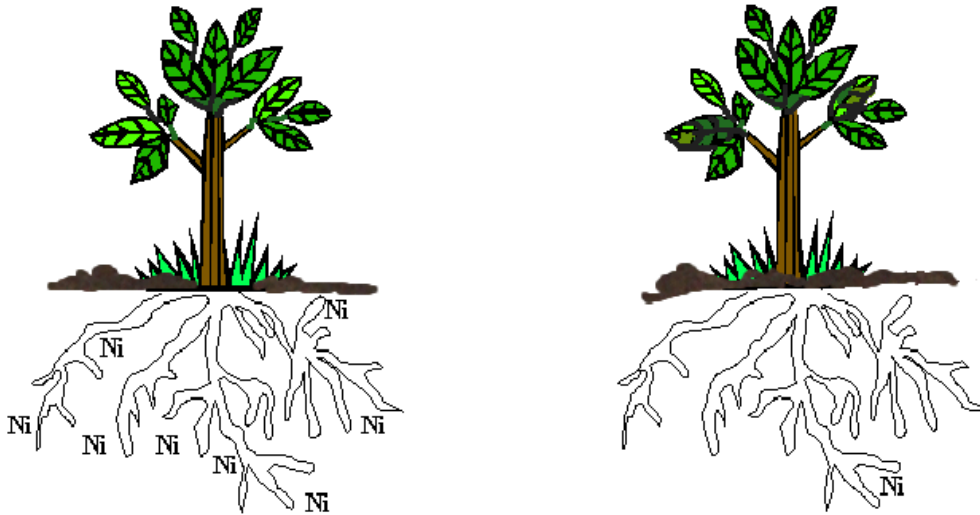
Las plantas y los microorganismos están implicados directamente e indirectamente en la degradación de los hidrocarburos del petróleo en productos (Ej., alcoholes, ácidos, dióxido de carbono y agua) que son generalmente menos tóxicos y menos persistentes en el ambiente que el compuesto original. Aunque las plantas y los microorganismos pueden degradar los hidrocarburos del petróleo independientemente el uno del otro, la técnica de fitorremediación implica la interacción entre las plantas y los microorganismos (es decir, el efecto de la rizosfera) que es el mecanismo primario responsable de la degradación petroquímica.

#### **Efecto de la rizosfera.**

Es una serie de efectos que las plantas tienen con la población microbiana en la rizosfera, que es el área inmediata que rodea la raíz. Hay una cierta simbiosis que ocurre entre la planta y sus vecinos microbianos.

**Figura 2.4 Efecto de la rizosfera.**





Fuente.- Anderson, T.A. and Walton, B. T. 1993.

La rizosfera es la región del suelo más cercana a las raíces de las plantas y esta por lo tanto bajo la influencia directa del sistema de la raíz. Las plantas proporcionan los exudados de la raíz, la energía, los nutrientes, las enzimas y a veces el oxígeno a las poblaciones microbianas presentes en la rizosfera.

Los factores limitadores para el crecimiento microbiano aerobio incluyen el oxígeno, los nutrientes y el agua. Las raíces de muchas plantas proporcionan estos requisitos a la zona microbiana como subproducto del crecimiento vegetal normal.

Cuando las raíces penetran en el suelo hay aireación pasiva y aireación activa cuando las raíces emanan el oxígeno como parte de la respiración normal de la planta. (Anderson, T.A. and Walton, B. T. 1993).

### **El papel de las plantas en la degradación.**

### **Degradación Directa.**

Proceso de la planta que degrada por sí mismo a los contaminantes. Esto puede ocurrir con un contaminante dentro de la planta introduciéndolo en el metabolismo, transformándolo o mineralizando a una forma menos tóxica a través de los exudados. La evidencia con respecto a la degradación directa de los hidrocarburos del petróleo por las plantas es algo limitada en cantidad.

### **Degradación Indirecta.**

Los papeles indirectos desempeñados por las plantas en la degradación de los hidrocarburos del petróleo, incluyen: (i) la fuente de los exudados de la raíz que causan el efecto de la rizosfera y mejoran la degradación cometabólica, (ii) la asociación de las enzimas de la raíz capaces de transformar a los agentes contaminantes orgánicos y (iii) los efectos físicos y químicos de las plantas y sus sistemas de la raíz. (Shimp, J.F., Tracy, J.C, Davis, L.C., Lee, E., Huang, W. and Erickson, L.E. 1993)

### **Exudados de la raíz.**

Los exudados de la raíz son el acoplamiento entre las plantas y los microorganismos que como resultado de esto conduce al efecto de la rizosfera. El tipo y la cantidad de exudado de la raíz dependen de la especie de la planta y de la etapa del desarrollo de la planta.

El tipo de exudado de la raíz es también probable ser específico del sitio y del tiempo. El sitio y el factor tiempo incluyen las variables tales como tipo de suelo, niveles de nutrientes, pH, humedad, temperatura, estado del oxígeno, intensidad de luz y concentración atmosférica del dióxido de carbono que afectan el tipo y la cantidad de exudados de la raíz (Anderson, T.A. and Walton, B. T. 1993).

El tipo de exudado de la raíz puede influenciar en la interacción entre las plantas y los microorganismos del suelo. Las interacciones pueden ser "específicas" o "no específicas" dependiendo del exudado.

Las interacciones específicas ocurren cuando la planta exuda un compuesto específico (o compuestos) en respuesta a la presencia de un contaminante.

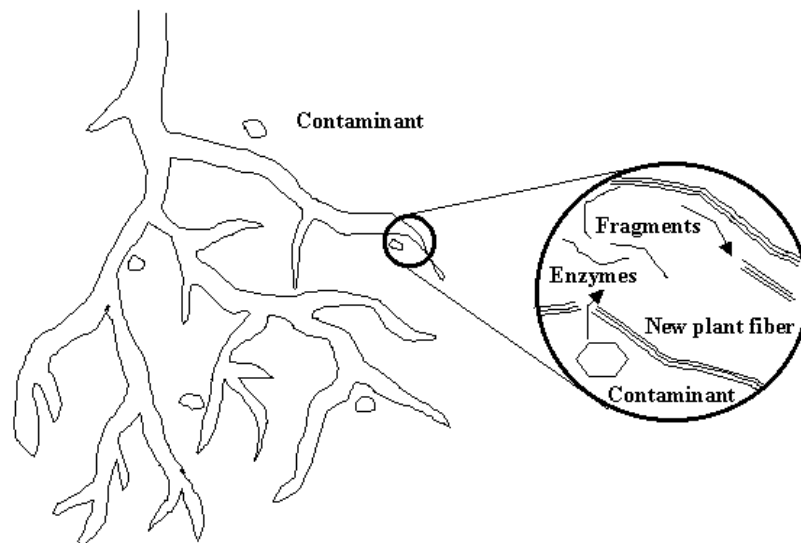
Las interacciones no específicas ocurren cuando los exudados típicos o "normales" de la planta son químicamente similares al contaminante orgánico, dando por resultado una actividad microbiana creciente y la degradación creciente de los contaminantes (Anderson, T.A. and Walton, B. T. 1993).

### **Enzimas de la planta implicadas en la Fitorremediación.**

Otro papel indirecto que las plantas desempeñan en la degradación de los hidrocarburos del petróleo, implica la emisión de enzimas por parte de las raíces. Estas enzimas son capaces de transformar a los

contaminantes orgánicos catalizando las reacciones químicas en el suelo.

**Figura 2.5 Degradación de los hidrocarburos del Petróleo.**



Fuente.- Shimp, J.F., Tracy, J.C, Davis, L.C., Lee, E., Huang, W. and Erickson, L.E. 1993.

Se ha identificado a las enzimas de la planta como los posibles agentes causantes de la transformación de los contaminantes mezclados con el suelo.

### **Efecto de la planta en la condición fisicoquímica del suelo.**

Las plantas y sus raíces pueden influenciar indirectamente en la degradación, alterando la condición física y química del suelo. La exploración del suelo por las raíces de la planta atrae a: microorganismos, nutrientes y los contaminantes.

La planta puede tener influencia en el movimiento de los contaminantes, los contaminantes volátiles se pueden tomar con el agua y volatilizar a través de la transpiración normal de la planta.

(Shimp, J.F., Tracy, J.C, Davis, L.C., Lee, E., Huang, W. and Erickson, L.E. 1993)

## **El uso de las raíces de plantas para la Fitorremediación.**

La fitorremediación fue desarrollada para aprovechar la capacidad de las raíces de la planta para absorber o secretar varias sustancias.

La biotecnología está transformando a la agricultura del mundo, agregando nuevos rasgos a las plantas. Además de las aplicaciones convencionales, la biotecnología abre las puertas a las aplicaciones de las plantas que están ganando la mayor aceptación del público y la atención de la comunidad científica. Estas aplicaciones "de valor añadido" incluyen la fitorremediación, el uso de plantas para eliminar los agentes contaminantes del ambiente.

Sin embargo, estas tecnologías mejorarán la calidad de vida para mucha gente si su desarrollo continúa. El próximo desafío para la fitoextracción de metales es reducir más el costo y aumentar el espectro de los metales favorables a esta tecnología. Esta meta puede ser alcanzada creando las variedades de plantas superiores para la fitoextracción usando la ingeniería genética para introducir rasgos valiosos en las plantas. (Gleba, A.D, Borisjuk, N.V, Borisjuk, G.L. 1999).

### **2.3.2. CONTENCIÓN.**

La contención implica el usar las plantas para reducir o para eliminar la biodisponibilidad de los contaminantes del medio ambiente. Los contaminantes no se degradan necesariamente cuando se contienen. Los mecanismos directos de la contención de las plantas incluyen la

acumulación de los hidrocarburos del petróleo dentro de las plantas y de la adsorción de los contaminantes en la superficie de la raíz.

Las plantas actúan indirectamente para contener a los contaminantes, suministrando las enzimas que ligan a los contaminantes en la materia orgánica del suelo (humus) en un proceso llamado humificación y aumentando el contenido de la materia orgánica del suelo (Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996).

### **Acumulación de los hidrocarburos de petróleo por las plantas.**

Este proceso de acumulación puede tomar diversas formas en diversas especies de plantas. La captura es un proceso para inmovilizar a un contaminante. (Gleba, A.D, Borisjuk, N.V, Borisjuk, G.L. 1999).

Se han identificado ciertas plantas que no sólo acumulan a los metales en la estructura de la raíz, sino también después desplazan los metales acumulados de la raíz a la hoja. Algunas de las plantas hiperacumuladoras son pequeñas de tamaño, de modo que acumulan porcentajes significativos de metales pesados, debido a que su biomasa es baja con relación a la cantidad total del contaminante. (Gleba, A.D, Borisjuk, N.V, Borisjuk, G.L. 1999)

### **2.3.3. TRANSFERENCIA DE LOS HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO A LA ATMÓSFERA.**

El suelo puede ser fitorremediado usando las plantas para transferir los hidrocarburos volátiles del petróleo del suelo a la atmósfera, esto ocurre mientras las plantas toman el agua y a los contaminantes orgánicos. Algunos de estos contaminantes pueden pasar a través de las raíces a las hojas y volatilizarlos a la atmósfera en concentraciones comparativamente bajas.

#### **2.3.4. EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA DEGRADACIÓN.**

Actualmente, los microorganismos se utilizan para destruir o para inmovilizar los contaminantes orgánicos en ausencia de plantas en un proceso llamado biorremediación. (Steven A. Rock. 1997).

##### **Tipos de microorganismos.**

Una variedad de microorganismos están implicados en la degradación de los hidrocarburos del petróleo. En general, *pseudomonas*, *artrobacter*, *alcaligenes*, *corynebacterium*, *flavobacterium*, *achromobacter*, *mycobacterium*, y *nocardia* se divulgan como las especies bacterianas más activas en la degradación de hidrocarburos. Los hongos también desempeñan un papel en la degradación de los hidrocarburos del petróleo.

## **Degradación microbiológica de contaminantes orgánicos.**

La degradación microbiana de los contaminantes orgánicos ocurre normalmente como resultado del uso de los contaminantes por parte de los microorganismos para su crecimiento y reproducción. Los contaminantes orgánicos no solamente proveen a los microorganismos de una fuente de carbón, sino también proporcionan los electrones que los organismos utilizan para obtener la energía. Las bacterias son capaces de distribuir rápidamente la información genética entre una y otra, así permitiendo que se adapten rápidamente a los cambios ambientales, tales como la exposición a los contaminantes nuevos. (Steven A. Rock. 1997).

En general, los procesos metabólicos de los microorganismos actúan en una gama más amplia de compuestos, realizan reacciones más difíciles de degradación y transforman a los contaminantes en moléculas más simples que los de las plantas.

Sin embargo, no todos los microorganismos degradan los contaminantes orgánicos de manera semejante. La composición y el tamaño de la comunidad microbiana en la rizosfera depende de la especie de la planta, edad de la planta y del tipo del suelo.

## **Papel de los microorganismos en la reducción de la fitotoxicidad a las plantas.**

Otro papel que juegan los microorganismos es implicar su capacidad para reducir la fitotoxicidad de los contaminantes a tal punto donde las



plantas puedan crecer en las condiciones adversas del suelo, de tal modo que estimulan la degradación de los contaminantes. (Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996)

Las plantas y los microorganismos han desarrollado una estrategia beneficiosa para ocuparse de la fitotoxicidad, donde los microorganismos se benefician de los exudados de la planta mientras las plantas se benefician de la capacidad de microorganismos.

## **2.4. INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA FITORREMEDIACIÓN.**

Una variedad de factores ambientales afecta o altera los mecanismos de la fitorremediación. El tipo del suelo y el contenido de la materia orgánica pueden limitar la biodisponibilidad de los contaminantes del petróleo.

La luz del sol puede transformar al compuesto original en otros compuestos, que pueden tener diversas toxicidades y biodisponibilidades. (United States Environmental Protection Agency. USEPA. 1996).

### **2.4.1. ESTRUCTURA DEL SUELO, TEXTURA Y CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA.**

El tipo del suelo se define según varias características incluyendo la estructura, textura y contenido de la materia orgánica.

La textura del suelo puede también afectar a la fitorremediación influenciando en la biodisponibilidad del contaminante. Por ejemplo, la arcilla es capaz de atar las moléculas más fácilmente que la arena.

Consecuentemente, la biodisponibilidad de contaminantes puede ser más baja en suelos con el alto contenido de la arcilla.

### **Nutrientes.**

Los hidrocarburos del petróleo pueden reducir la disponibilidad de los nutrientes de la planta en el suelo. La disponibilidad baja de nutrientes resulta del hecho de que los hidrocarburos del petróleo tienen alto contenido de carbón.

Mientras los microorganismos del suelo que degradan los hidrocarburos, utilizan los nutrientes disponibles (es decir, nitrógeno, fósforo y potasio) creando deficiencia de nutrientes en el suelo contaminado.

La deficiencia de nutrientes en el suelo causado por los hidrocarburos del petróleo se pueden compensar por el uso de fertilizante o abono orgánico. (Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. and Schroeder, E. D. 1998)

### **Disponibilidad de agua y oxígeno.**

El agua y el oxígeno son dos elementos importantes para las plantas y los microorganismos. Si el contenido de agua en el suelo es bajo,

habrá una pérdida de actividad microbiana y deshidratación de las plantas. Demasiada humedad da lugar a intercambio de gas y a la creación de las zonas anóxicas en donde la degradación es dominada por los microorganismos anaerobios. (Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. and Schroeder, E. D. 1998)

#### **2.4.2. TEMPERATURA.**

La temperatura afecta a los porcentajes en los cuales se desarrollan los diferentes mecanismos de la fitorremediación.

#### **2.4.3. RADIACIÓN SOLAR.**

Fotomodificaciones por la luz ultravioleta pueden ocurrir en el agua o en la superficie del suelo, además el aumento de la polaridad y de la toxicidad de los compuestos antes de la captación en la planta.

#### **2.4.4. EL DESGASTE POR LA ACCIÓN ATMOSFÉRICA.**

Los procesos de desgaste por la acción atmosférica incluyen la volatilización, la evapotranspiración, la fotomodificación, la hidrólisis, la lixiviación y la biotransformación del contaminante. Estos procesos reducen selectivamente la concentración de los contaminantes que son más fáciles de degradar.

### **2.5. ALTERNATIVAS PARA LA FITORREMEDIAION.**

La fitorremediación no es el único medio para recuperar un sitio contaminado con los hidrocarburos del petróleo, la Atenuación natural y la Ingeniería son alternativas.

### **2.5.1. ATENUACIÓN NATURAL.**

Las ventajas primarias de la atenuación natural es (i) disturbio mínimo del sitio; es decir, el sitio que va a ser remediado por procesos naturales y (ii) puesto que no implica ninguna intervención humana, los costos operacionales son bajos. La atenuación natural se denomina la remediación de las "manos - apagadas" que confía enteramente en procesos naturales sin la intervención humana. (United States Environmental Protection Agency. USEPA. 1996).

Los procesos biológicos, tales como el crecimiento de plantas y de las comunidades microbianas se pueden también implicar, la limitación principal de la atenuación natural es que es más lenta que cualquier otro método de remediación.

Además, las plantas y los microorganismos más apropiados pueden no estar presentes y/o las condiciones ambientales naturales pueden no ser las óptimas para facilitar la remediación natural de la contaminación. Los riesgos de salud del sitio contaminado pueden existir por un período de tiempo que no es aceptable desde un punto de vista social y ambiental.

### **2.5.2. INGENIERÍA.**

Las técnicas de la ingeniería son sobre todo físicas, químicas y mecánicas en la naturaleza. Pueden implicar métodos ex situ tales como excavación, transporte e incineración del suelo contaminado. Procesos in situ, por ejemplo extracción del vapor del suelo y lavados químicos, pueden estar implicados en el proceso. El tratamiento químico implica el aplicar de un agente químico en el suelo o a través de un sistema de inyección el mismo que puede neutralizar, inmovilizar o alterar químicamente al contaminante orgánico de modo que ya no sea una amenaza al ambiente.

### **2.5.3. TÉCNICAS USADAS PARA MEJORAR LA FITORREMEDIACIÓN.**

Varias técnicas, sobre todo agronómicas, se pueden utilizar para mejorar la eficacia de la fitorremediación. Estas técnicas incluyen el uso de fertilizantes y/o abonos y surfactantes en el suelo contaminado.

Incluso si el suelo contaminado no es inicialmente limitado de nutriente, los nutrientes disponibles en el suelo se pueden utilizar rápidamente para que los microorganismos degraden los hidrocarburos del petróleo.

El uso del fertilizante puede por lo tanto, mejorar la degradación de los hidrocarburos del petróleo reduciendo la competición entre las plantas y los microorganismos. La labranza puede también desempeñar un papel importante dentro de la fitorremediación aireando el suelo y mezclando el fertilizante, en el suelo contaminado antes de plantar.

#### **2.5.4. FITORREMEDIACIÓN VS. MÉTODOS TRADICIONALES.**

La fitorremediación es considerada en todo el mundo como una tecnología innovadora para el tratamiento de residuos tóxicos sólidos o líquidos con el objeto de recuperar suelos y aguas contaminadas.

Entre las diversas categorías de la fitorremediación se destacan:

- ✓ La fitoextracción: uso de plantas para remover contaminantes del suelo.
- ✓ La fitoestabilización: uso de plantas para transformar los metales del suelo en formas menos tóxicas (o no tóxicas).
- ✓ También despierta interés, para los fines descritos, el sistema de asociación de plantas con los organismos de la rizosfera.

Si bien la factibilidad de su empleo aún está siendo evaluada desde diferentes perspectivas, los estudios que se disponen coinciden en señalar que se trata de una técnica más limpia, simple, efectiva y aún de menor costo, en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, tales como el reemplazo de suelos, la solidificación, el lavado o la incineración.

Estos últimos, han sido asociados con altos índices de contaminación atmosférica y por otra parte, requieren de altos costos. Otra ventaja que ofrece la fitorremediación sobre los métodos tradicionales es que permite la eliminación selectiva de contaminantes y su recuperación para futuros usos.

## **2.6. COMPARACIÓN DE LA FITORREMEDIACION A LAS ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS DE LA REMEDIACIÓN.**

La fitorremediación presenta algunas alternativas con las diferentes técnicas:

### **2.6.1. VENTAJAS DIRECTAS DE LA FITORREMEDIACIÓN.**

Técnica realizada in situ, está particularmente bien adaptada al tratamiento de áreas grandes de la contaminación superficial, cuando otros métodos pueden no ser rentables.

La principal ventaja de la fitorremediación es que implica generalmente menos disturbio superficial que los métodos ex situ y de tal modo reduce el potencial para la exposición humana a los contaminantes. Los métodos in situ también requieren de una cantidad mínima de instalaciones. Al remediar un sitio contaminado con plantas es mucho menos costoso que las opciones convencionales. Los costos de las instalaciones son típicamente muy bajos. La aceptación pública de un proyecto de fitorremediación es muy aceptada, debido a la estética y al mínimo disturbio ambiental. (Erickson, L.E., Banks, M.K., Davis, L.C., Schwab, A.P., Reilley, K. and Tracy, J.C. 1994)

### **2.6.2. VENTAJAS INDIRECTAS DE LA FITORREMEDIACIÓN.**

Una ventaja indirecta de la fitorremediación es el mejoramiento de la calidad del suelo, mejorando la porosidad y por lo tanto, la infiltración del agua, además proporciona nutrientes y aumenta el carbón orgánico del suelo. El uso de las plantas es un esfuerzo de la remediación para estabilizar el suelo, así previniendo la erosión y la exposición humana. Así mismo, la fitorremediación tiene el potencial de ayudar a reducir emisiones de gas de invernadero porque no requiere el uso de bombas o motores que emiten los gases.

Otra ventaja indirecta es que el crecimiento de ciertas plantas robustas en un suelo contaminado puede permitir el crecimiento de otras plantas menos robustas. (Erickson, L.E., Banks, M.K., Davis, L.C., Schwab, A.P., Reilley, K. and Tracy, J.C. 1994)

### **2.6.3. LIMITACIONES DE LA FITORREMEDIACIÓN.**

La contaminación del hidrocarburo de petróleo debe ocurrir a profundidades bajas para que la fitorremediación sea eficaz. Sin embargo algunas plantas, tales como los árboles, pueden tener sistemas de la raíz que se puedan extender hasta una profundidad de 60m, la mayoría de las plantas no producen raíces a esta profundidad y la densidad de la raíz disminuye generalmente con la profundidad. (Erickson, L.E., Banks, M.K., Davis, L.C., Schwab, A.P., Reilley, K. and Tracy, J.C. 1994)



La fitorremediación es más lenta que los métodos ex situ, requiriendo típicamente varias estaciones para la limpieza del sitio. El tiempo requerido para alcanzar los estándares de la limpieza que usa la fitorremediación puede ser particularmente largo para los agentes contaminantes hidrofóbicos que están limitados firmemente a las partículas del suelo.

Cuando el contaminante presenta un peligro inmediato a la salud humana o al ambiente, la fitorremediación no es una solución apropiada. La eficacia de la fitorremediación también dependerá de la naturaleza química de los contaminantes. Las condiciones ambientales, tales como textura del suelo, pH, salinidad, disponibilidad de oxígeno, temperatura y nivel de los contaminantes del hidrocarburo deben estar dentro de los límites tolerados por las plantas.

Además, las plantas no crecerán si las concentraciones del contaminante son demasiadas altas. Así, la fitorremediación del contaminante no procederá a menos que se realiza un pretratamiento del suelo para reducir la fototoxicidad. (Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996)

#### **2.6.4. COSTOS DE LA FITORREMEDIACIÓN .**

Varios factores contribuyen al bajo costo de la fitorremediación y los principales son: básicamente porque el proceso es in situ y conducido por energía solar.

El costo de aplicar sistemas de cultivo para la fitorremediación se ha estimado en \$0.02USD a \$1.00USD por m<sup>3</sup> por el año (o \$200USD a \$10,000USD por hectárea), que es menos costoso que las tecnologías de remediación físicoquímicas. (Cunningham 1995).

Los costos de inversión de remediación in situ son generalmente más bajos que para los tratamientos ex situ. Los proyectos ex situ del tratamiento son más rápidos, pero a la vez más costosos, extendiéndose a partir de \$60,00 USD hasta \$1.180,00 USD por m<sup>3</sup>.

Es interesante observar que en la fitorremediación los costos agronómicos, incluyendo labrar, plantar, fertilizar y cosechar, pueden ser insignificantes. Los costos también son dependientes en las características del suelo, condiciones del sitio y volumen total a ser remediado.

## **2.7. ESPECIES FITORREMEIADORAS.**

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. En la mayoría de los casos, no se trata de especies raras, sino de cultivos bien conocidos por todos. Se define hiperacumulación como la posibilidad de las plantas de almacenar altas cantidades de sustancias.

Las plantas que hiperacumulan metales han llamado la atención desde hace tiempo como indicadoras geobotánicas de depósitos de

minerales. La posibilidad de extraer metales del suelo y concentrarlos en la parte aérea proporcionan una aplicación práctica llamada fitorremediación.

Otras plantas comunes con las que se ha ensayado con éxito son las especies fitorremediadoras: alfalfa, mostaza, tomate, calabaza, girasol, sauce y bambú. Incluso existen especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del suelo, gracias a su capacidad para acumular el cloruro de sodio. Otros géneros, por el contrario, menos conocidos, podrían llegar a hacerse famosos en los próximos años gracias a sus excelentes propiedades como hiperacumuladores, es el caso de una pequeña planta de la extensa familia de las *Brassicaceae*.

### **2.7.1. FAMILIA ASTERACEAE.**

La familia *Asteraceae* (del griego *Aster* = astro o estrella) incluye siete especies de significativo interés hortícola, agrupadas en cinco géneros. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

#### **2.7.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA FAMILIA ASTERACEAE o COMPUESTA.**

La familia de las *Asteraceae*s o Compuestas, con más de 1.000 géneros y aproximadamente 20.000 especies, es una de las más importantes de las plantas formadoras de semillas (espermatofitos), tanto en lo que respecta al número de especies como en la diversidad

de su morfología, hábitat, formas vitales y sistemas de dispersión de los frutos.

Por su estructura floral y su composición química, se considera la familia más evolucionada de todas las dicotiledóneas. Incluye plantas con polinización anemófila (por el viento) y la mayoría, presentan polinización entomófila (por medio de insectos), tales como girasol (*Helianthus annuus*).

Pertenecen a esta familia algunas plantas como: Lechuga (*Lactuca sativa*), Alcachofa (*Cynara scolymus*), Girasol (*Helianthus annuus*), Manzanilla (*Matricaria chamomilla*) y una multitud de especies son utilizadas en jardinería por su valor ornamental como las dalias, los crisantemos, las margaritas y los claveles. Son especies herbáceas perennes o anuales, raramente arbustos, aunque en algunos géneros pueden ser árboles pequeños o de talla mediana. Las hojas pueden ser compuestas o simples, se disponen de manera alterna, a veces, opuestas. Los tallos son generalmente herbáceos, mostrando un crecimiento secundario bien desarrollado.

#### **Clasificación botánica:**

**División:** *Magnoliophyta*

**Clase:** *Magnoliopsida*

**Subclase:** *Asteridae*

**Orden:** *Asterales*

**Familia:** *Asteraceae* o *Compositae*

Las *asteraceae*s o compuestas se caracterizan sobre todo, por su inflorescencia, el capítulo. En éste, las flores de dimensiones muy pequeñas, se disponen sobre un receptáculo que puede ser plano o cóncavo, rodeado por una serie de brácteas herbáceas, espinosas o lanosas. El conjunto es una estructura formada por centenares de flores con aspecto de una sola flor. Los capítulos pueden ser solitarios o normalmente, agruparse entre ellos formando inflorescencias de diversos tipos.

La inflorescencia de las compuestas es un claro ejemplo de adaptación a la polinización entomófila, que es la más extendida entre la familia.

En general, las hortalizas de la familia son originarias de regiones templadas, por lo que están adaptadas a crecer y desarrollarse en zonas de temperaturas moderadas. Las plantas cumplen su etapa vegetativa durante el período invernal y continúan, posteriormente, con la floración y fructificación hacia las estaciones más calurosas del año, pues estas etapas se relacionan con temperaturas más elevadas. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

### 2.7.1.2. GIRASOL.

El girasol (*Helianthus annuus*) era considerado como una planta ornamental hasta hace pocos años, sin tomar en cuenta sus múltiples aplicaciones como materia prima para uso industrial y para la fitorremediación de sitios contaminados. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

**Tabla 2.1 Clasificación científica, Girasol, *Helianthus annuus*.**

Clasificación científica	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Asterales
<b>Familia:</b>	Asteraceae
<b>Género:</b>	<i>Helianthus</i>
<b>Especie:</b>	<i>annuus</i>

Fuente.- Krarup, C. y Moreira, I. 1998.

**Figura 2.6 Capítulo Girasol, *Helianthus annuus*.**



Fuente.- Dimitri, M.J. 1998

**Raíz.**

Pivotante, con una raíz principal que puede llegar a superar los 1.5 metros, de profundidad, dependiendo de las condiciones del suelo ya que es muy sensible a obstáculos físicos.

Las raíces secundarias crecen horizontalmente de 10 a 30cm. del tallo principal y luego comienzan a hundirse y a ramificarse. El crecimiento de las raíces dura hasta aproximadamente 75 días.

**Cotiledones.**

Los cotiledones son grandes y emergen expandiéndose para lo cual no deben tener impedimentos físicos (planchado de suelo) pues son sensibles a ello y una demora en esta etapa expone a la planta a ataques por parte de insectos y hongos.

**Tallo.**

Es único no ramificado. La ramificación desde el punto de vista genético es recesivo e influido por varios factores. Puede ramificar por problemas ambientales (heladas hasta estado de 1a hoja impar). Puede medir desde 50cm. hasta más de 4 metros.

**Hojas.**

Luego de los cotiledones aparece el primer par de hojas verdaderas y a continuación siguen apareciendo de a pares hasta el quinto, de ahí en más aparecen individuales en forma de espiral hasta completar un número variable de acuerdo al híbrido de entre 25 y 40 hojas.

### **Inflorescencia.**

Está compuesta de 700 a 3000 flores distribuidas en forma de arcos radiales saliendo del centro.

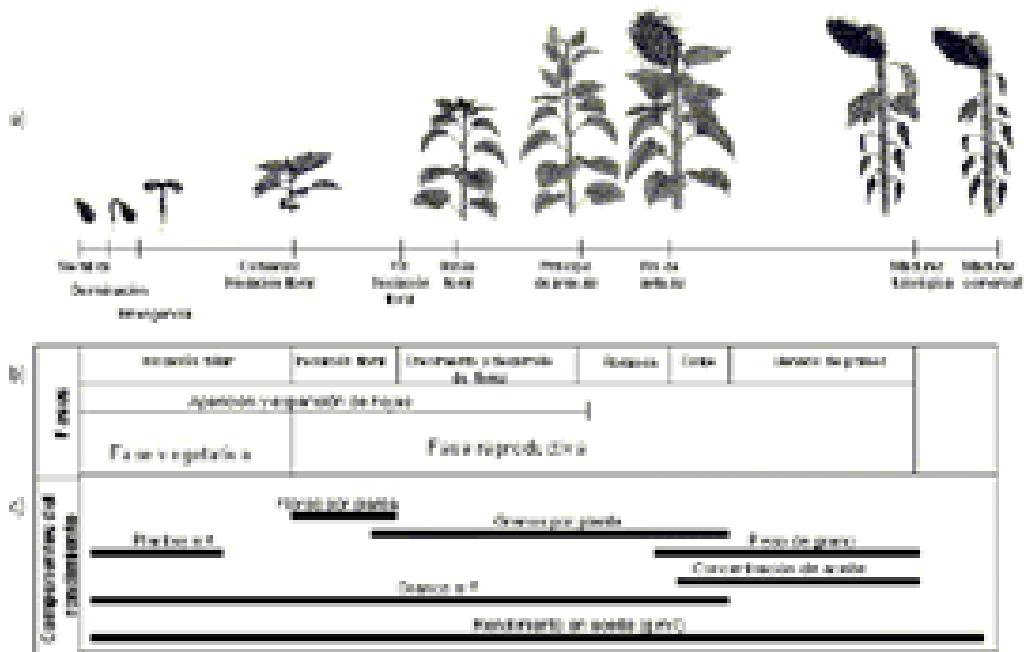
Las flores fértiles dan origen a los aquenios (semillas). El conjunto de flores conforma el capítulo que puede medir desde 5 a 50cm. de diámetro. Dicho capítulo puede ser cóncavo o convexo. Los capítulos jóvenes tienen heliotropismo positivo por lo que siguen la rotación del sol hasta que se desarrollan las flores, entonces quedan mirando a la salida del sol.

El ciclo promedio del girasol comprende entre 100 y 150 días según genotipos, fechas de siembra, latitud y disponibilidad de agua y nutrientes. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

### **2.7.1.3. ETAPAS FENOLÓGICAS.**

**Figura 2.7 Etapas fenológicas del Girasol, *Helianthus annuus*.**





Fuente.- Dimitri, M.J. 1998

**Tabla 2.2 Etapas fenológicas, Girasol, *Helianthus annuus*.**

Etapas fenológicas	Días	Duración	Descripción
<b>Implantación</b>	0 – 14	14	Siembra 1er.- Par de hojas verdaderas.
<b>Vegetación</b>	14 – 45	31	1er. Par de hojas verdaderas. 1a. Hoja Impar.
<b>Elongación</b>	45 – 77	32	1a. Hoja impar – botón floral.
<b>Floración</b>	77 – 87	10	Botón floral-fecundación flores centrales.
<b>Fructificación</b>	87 – 115	28	Fec.flores centrales-secado de brácteas(madurez fisiológica).
<b>Senescencia</b>	115 – 130	15	Madurez fisiológica-secado a cosecha.

Fuente.- Dimitri, M.J. 1998

### Implantación.

La temperatura es el factor más importante en el control de la germinación de las semillas siendo la óptima cercana a los 26°C, con temperaturas máximas de 40°C y mínimas entre 3 y 6°C.

Temperaturas menores demoran la emergencia afectando el vigor de las plántulas, la eficiencia de implantación y el rendimiento. (Dimitri, M.J. 1998).

La disponibilidad de agua actúa sobre la imbibición de las semillas, sobre el crecimiento posterior de la plántula. Su exceso disminuye la cantidad de aire en el suelo. La calidad de la semilla (viabilidad, poder germinativo, vigor de plántula) es otro factor importante.

### **Vegetación.**

Comienza con la emergencia de la plántula y finaliza cuando se comienza a diferenciar la inflorescencia.

Esto sucede unos 20 a 30 días después de la siembra, cuando se visualizan alrededor de 6 hojas expandidas.

Durante esta fase queda fijado el número de hojas que tendrá la planta.

La duración de esta etapa depende del cultivar, de la temperatura y del fotoperíodo, acortándose (menor cantidad de hojas quedan definidas) con temperaturas y radiación altas.

### **Elongación y Floración.**

Es a partir de la aparición de la inflorescencia (vista desde arriba tiene el aspecto de una estrella con muchas puntas, llamándose “estado de estrella visible”) y finaliza con la floración completa. Al verse el botón

floral, el número de flores (número potencial de frutos/planta) ya está determinado.

Esto ocurre a los 35-45 días desde la siembra, unos 15 días antes de la floración. La duración de esta fase es regulada por la temperatura y el fotoperíodo. Al aumentar la temperatura aumenta el número de flores diferenciadas, pero se acorta el tiempo durante el cual ocurre este proceso.

### **Fructificación y Senescencia.**

Es a partir de la floración completa y hasta que los granos alcanzan su máximo peso seco. La duración de la floración es de unos 7 a 10 días. En forma práctica, la madurez fisiológica se define por los cambios de color del envés del capítulo (pasa de verdoso a amarillento) y de sus brácteas (se tornan marrones). La duración de la fase fructificación y senescencia depende principalmente de la temperatura.

La sequía y las enfermedades pueden acelerar la pérdida de hojas interrumpiendo el crecimiento de los granos y acortando su duración. (Dimitri, M.J. 1998).

### **2.7.1.4. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS.**

#### **Temperatura.**

La planta de girasol tiene requerimientos ecológicos que la hace adaptable a diferentes climas, desde el templado al cálido. Es indiferente al foto período. (Silveira J. M. y Durán J. M. 2000).

### **Precipitación.**

El girasol tolera prolongados períodos de sequía y para desarrollarse requiere de unos 400 a 450 mm de lluvia durante su ciclo vegetativo que posee un rango de duración de 100 a 150 días. Lo más conveniente es que la mayor parte de la precipitación ocurra desde la siembra hasta la floración, la cual se inicia generalmente entre los 40 a 55 días después de la siembra. Sin embargo, lluvias excesivas durante este período pueden afectar la fecundación. Durante la madurez fisiológica del cultivo es conveniente un período seco para evitar la incidencia de enfermedades.

### **Altura.**

De acuerdo con los requerimientos biológicos, el girasol encuentra buenas condiciones de producción desde el nivel del mar hasta 1800 metros de altura.

### **Suelo.**

El cultivo no es muy exigente con relación a los suelos, ya que tolera tanto los de textura franco-arenosa, de fertilidad media, como los de textura arcillo-arenosa, con buen drenaje pH entre 6 y 7. El girasol ha sido cultivado tradicionalmente en suelos pesados, constituidos por una buena estructura física y con un elevado contenido de nutrientes.

El girasol está compuesto básicamente por carbono, oxígeno e hidrógeno; si bien, para crecer necesita de otros elementos, algunos de los cuales los requiere en mayores cantidades (macronutrientes), mientras que otros (micronutrientes) pueden ser suficientes en menores proporciones. Entre los primeros destacan: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Entre los segundos, los más importantes son: hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), cloro (Cl) y molibdeno (Mo). (Silveira J. M. y Durán J. M. 2000).

#### **Humedad.**

Actúa sobre la imbibición de la semilla. Al aumentar la humedad la amplitud térmica es menor y el oxígeno se difunde más lentamente.

#### **Semillas.**

No hay diferencias de rendimiento ni en Kg. ni en % de aceite entre plantas nacidas de semillas grandes o chicas.

*Semilla chica* requiere menos agua para nacer por lo que se establece más rápido.

*Semilla más grande* se puede sembrar a más profundidad.

Las plantas provenientes de semillas grandes desarrollan más rápido hasta los 17-20 días, entre los 20-25 días lo hacen las de semillas chicas, luego se emparejan los desarrollos. (Silveira J. M. y Durán J. M. 2000). (**ANEXO A.-** Semillas de Girasol).

#### **2.7.1.5. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.**

Es un cultivo muy exigente con unas altas necesidades nutritivas. Diversos autores cifran las necesidades de nutrientes por cada 1.000Kg. de producción:

**Tabla 2.3 Nutrientes, Girasol, *Helianthus annuus*.**

Nutrientes	
<b>Nitrógeno (N):</b>	50Kg.
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):</b>	19Kg
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O):</b>	97Kg.

Fuente.- Dimitri, M.J. 1998

El aprovechamiento óptimo del agua por el girasol sólo se obtiene cuando la fertilidad del suelo es la adecuada para conseguir altas producciones. Si los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio son bajos por un abonado deficiente o desequilibrado, el consumo de agua no se reduce, pero sí lo hace la producción. (Dimitri, M.J. 1998).

### **Nitrógeno.**

Como en otros cultivos, es un elemento determinante de la producción, interviene en la formación de la estructura de la planta. Los momentos críticos de necesidades de nitrógeno se presentan en el período de crecimiento inicial, desde que la planta tiene 3 ó 4 hojas hasta la floración, fase en la que absorbe alrededor del 80% de sus necesidades totales, acumulándose en las hojas y tallos, desde donde emigra a las semillas que llegan acumular el 60% del total asimilado.

La deficiencia de nitrógeno se manifiesta por un desarrollo escaso del cultivo, hojas de color verde pálido, secándose las inferiores si la deficiencia es severa, capítulos pequeños con semillas vacías.

### **Fósforo.**

Interviene fundamentalmente en la síntesis y emigración de los glúcidos y en el metabolismo de los lípidos. La deficiencia de fósforo afecta a la formación y llenado de las semillas, por lo que en muchos suelos, especialmente calizos y ácidos, es el nutriente más limitante en el rendimiento. La buena disponibilidad de fósforo soluble en el suelo aumenta la resistencia a la sequía de las plantas y el contenido graso de las semillas.

La deficiencia de fósforo se manifiesta por hojas pequeñas de color verde oscuro, tallos cortos y rígidos, retrasos en la maduración y por rendimientos y contenidos grasos bajos.

### **Potasio.**

Tiene un papel muy importante en la formación y transporte de los hidratos de carbono y en la resistencia del cultivo a la sequía, al favorecer el incremento de la capacidad de retención de agua de las plantas y al disminuir su transpiración, debido a su efecto sobre la turgencia de las células.

La deficiencia de potasio provoca una reducción del diámetro de los tallos y necrosis en los bordes de las hojas, afectando negativamente a la producción pero no al rendimiento graso. (Dimitri, M.J. 1998).

### **2.7.2. FAMILIA SOLANACEAE.**

La familia Solanaceae posee cerca de 90 géneros y más de 2.600 especies de distribución cosmopolita pero centrada en la zona tropical. Muchas de estas especies son de interés económico ya sea como cultivos industriales, cultivos medicinales, cultivos ornamentales y especialmente, como cultivos hortícolas, entre los que hay varios de significación mundial como papa, tomate, pimiento, ají y berenjena, todos susceptibles a daño por heladas y a daño por enfriamiento. (Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales, Cultivo de Tomate. 1999).

#### **2.7.2.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA FAMILIA SOLANACEAE .**

En el género *Solanum* la polinización es realizada por insectos que con la vibración de sus alas producen la salida del polen de las anteras con dehiscencia poricida.

La posición del pistilo situado entre las anteras hace posible que en la mayoría de los casos haya autopolinización. En los tomates las flores en un racimo o cima no se abren simultáneamente de modo que siempre hay botones, flores y frutos en la misma rama. La autopolinización es la norma en los tomates cultivados. La polinización cruzada debido a insectos ocurre en un 5% aproximadamente.

##### **Clasificación botánica:**

**División:** *Magnoliophyta* .

**Clase:** *Magnoliopsida* .



**Subclase:** *Asteridae*.

**Orden:** *Solanales*.

**Familia:** *Solanaceae*.

Las características principales de la familia son las de ser plantas generalmente herbáceas, aunque hay especies arbustivas y arbóreas.

Las hojas son alternadas y las flores pentámeras perfectas, cuyos pétalos forman una corola tubular, al menos en la base y en los estambres se alternan con los cinco lóbulos de la corona. En varias especies existe una reconocida producción de alcaloides o compuestos nitrogenados aromáticos (ej.: atropina, nicotina, solanina, tomatina, etc.) los que, en algunos casos, se usan como drogas medicinales o estimulantes pero fácilmente pueden llegar a ser tóxicos para los animales y el hombre.

Esto hace que las solanáceas, en general, hayan sido consideradas como especies venenosas y motivo de desconfianza por muchos años. (Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales, Cultivo de Tomate. 1999).

#### **2.7.2.2. TOMATE.**

El tomate es una planta originaria de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

**Tabla 2.4 Clasificación científica, Tomate, *Lycopersicum esculentum*.**

Clasificación científica	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>Subreino:</b>	Tracheobionta
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Asteridae
<b>Orden:</b>	Solanales
<b>Familia:</b>	Solanaceae
<b>Género:</b>	<b><i>Solanum</i></b>
<b>Especie:</b>	<b><i>Lycopersicum</i></b>

Fuente.- Krarup, C. y Moreira, I. 1998

**Figura 2.8 Tomate, *Lycopersicum esculentum*.**



Fuente.- Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales, Cultivo de Tomate. 1999.

El tomate es una planta herbácea, anual pubescente semileñosa en la parte inferior de 50 cm. a un metro de altura, hojas dimorfas flores amarillas, agrupadas en racimos.

Su fruto es una baya globosa, lisa, deprimida en la base, con costillas en algunas variedades y perfectamente esférica en las más estimadas, tiene aproximadamente 6cm. de diámetro. Dentro de la baya se contiene un gran número de semillas aplanadas.

**Raíz.**

El sistema radicular del tomate está constituido por: raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera a dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, cortex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes).

Generalmente se extiende superficialmente sobre un diámetro de 1.5m y alcanza más de 0.5m de profundidad; sin embargo, el 70% de las raíces se localizan a menos de 0.20m de la superficie.

### **Tallo.**

Eje con un grosor que oscila entre 2 - 4cm. en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera a dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

### **Hojas.**

Compuestas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas.

Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés y constan de un nervio principal.

### **Flor.**

Es perfecta, regular y consta de 5 ó más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de  $135^{\circ}$ , de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo.

La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

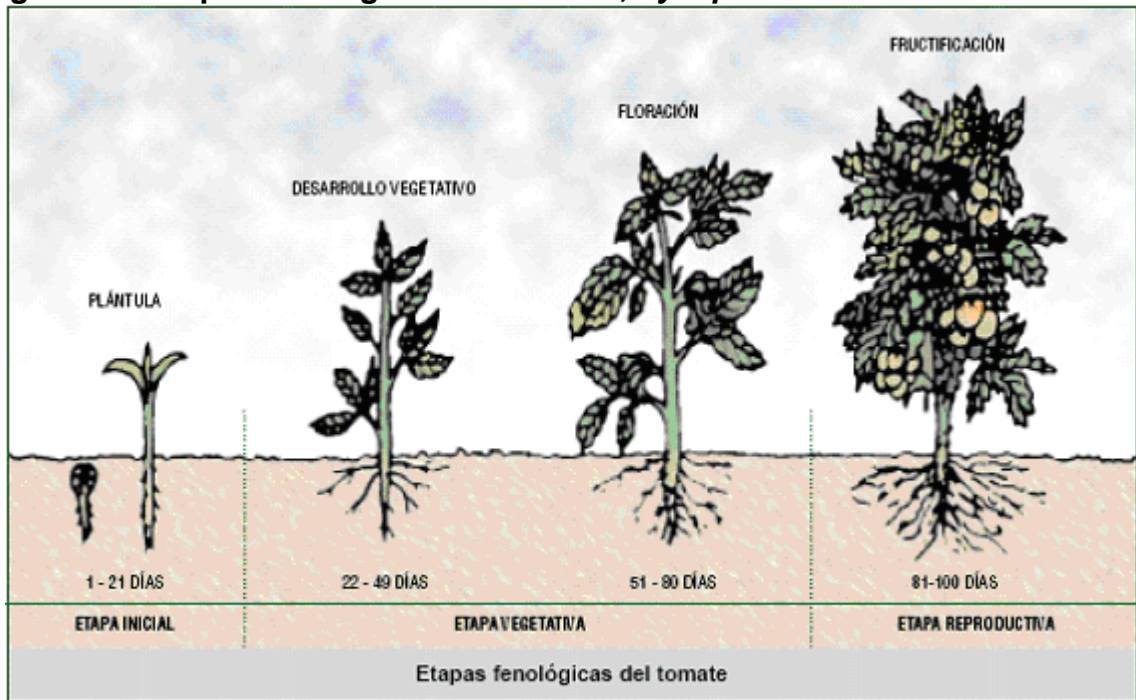
### **Fruto.**

Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre 100 y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

### 2.7.2.3. ETAPAS FENOLÓGICAS.

La fenología del cultivo comprende las etapas que forman su ciclo de vida.

**Figura 2.9** Etapas fenológicas del Tomate, *Lycopersicon esculentum*



Fuente.- ( Van Haeff, JNM.2001).

Dependiendo de la etapa fenológica de la planta, dependen sus demandas nutricionales, necesidades hídricas, susceptibilidad o resistencia a insectos y enfermedades. (Van Haeff, JNM.2001).

En el cultivo del tomate, se observan 3 etapas durante su ciclo de vida:

#### **Inicial.**

Comienza con la germinación de la semilla. Se caracteriza porque la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.

#### **Vegetativa.**

Esta etapa se inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas, ramas en crecimiento y expansión.

### **Reproductiva.**

Se inicia a partir de la fructificación, dura entre 30 ó 40 días y se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración. (Van Haeff, JNM.2001).

#### **2.7.2.4. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS.**

##### **Temperatura.**

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche, temperaturas superiores a los 30 – 35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12 – 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. (Van Haeff, JNM.2001).

##### **Precipitación.**

Los rendimientos están en función de la transpiración. Las necesidades hídricas, según ciclos y prácticas culturales, están comprendidas entre 300 y 600mm. (de 3.000 a 6.000 m<sup>3</sup>/ha).

##### **Altura.**

El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2000 msnm, tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido.

### **Suelo.**

El tomate no es muy exigente en suelos, siempre que tengan un buen drenaje, lográndose los mejores resultados cuando se cultiva en los de textura franca y profundos.

### **Humedad.**

En el cultivo de tomate, es conveniente que la humedad relativa (HR) del aire sea entre 70 y 80%, los valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades del follaje.

### **Semillas.**

La semilla de tomate es aplanada y de forma lenticelar tienen 0.25cm. de longitud, son grisáceas, ligeramente alargadas, de forma oval y de 3 – 5mm. de diámetro. La superficie está cubierta de vellosidades. Una semilla de calidad deberá tener un porcentaje de germinación arriba del 95%. (Van Haeff, JNM.2001). (**ANEXO B.-** Semillas de Tomate).

#### **2.7.2.5. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.**

Dependiendo de la variedad de tomate a sembrar y del tipo de manejo, serán las demandas nutricionales sin embargo, en forma general, los requerimientos nutricionales del cultivo, en kg/ha, son:

**Tabla 2.5 Nutrientes, Tomate, *Lycopersicum esculentum*.**

Nutrientes
------------

<b>Nitrógeno (N):</b>	3 - 3,25 Kg.
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):</b>	0,90 - 1,10 Kg.
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O):</b>	5,20 - 6 Kg.

Fuente.- (Dimitri, M.J. 1998).

### **Nitrógeno.**

Favorece el desarrollo, la producción y el tamaño del fruto. Su exceso puede ocasionar problemas de esterilidad de las flores y crecimientos anómalos de los frutos, favoreciendo el ahuecado y agrietado de los mismos, por lo que su dosificación debe estar de acuerdo con las aportaciones de fósforo y potasio, pues un equilibrio entre los tres nutrientes es fundamental para lograr, además de altos rendimientos, buena calidad.

En las primeras 3 semanas posteriores al trasplante, las necesidades de nitrógeno son muy bajas, absorbiendo sólo un 2% aproximadamente, de las extracciones. Pero, a partir del incremento del desarrollo vegetativo y el engorde del primer racimo el ritmo de absorción se incrementa, llegando a ser en plena recolección del orden de los 5/7 Kg. de nitrógeno por hectárea y día.

### **Fósforo.**

Contribuye al desarrollo de un potente sistema radicular, favorece el grosor y consistencia del tallo y es imprescindible para lograr una buena floración. Su deficiencia al inicio del cultivo puede originar retrasos importantes en la recolección.



El ritmo de absorción del fósforo es similar al del nitrógeno, coincidiendo las mayores necesidades con la floración y engorde de los frutos.

### **Potasio.**

Tiene una gran influencia sobre la calidad de los frutos. Aumenta la cantidad de sólidos disueltos en el jugo, su peso, consistencia, mejora el sabor y junto al magnesio, contribuye a la formación y homogénea distribución de los pigmentos colorantes sobre su superficie.

El abonado potásico está muy influenciado por la presencia de cloruros en el agua de riego y por la dosis de nitrógeno. La máxima demanda de este nutriente se inicia a los 60/75 días de trasplante, fecha que coincide, aproximadamente, con el engorde del primer racimo y donde existe una intensa actividad vegetativa. (Dimitri, M.J. 1998).

### **2.7.3. FAMILIA BRASSICACEAE.**

*Brassica* es el nombre latino de las coles; término que deriva a su vez, del latín *caulis* que significa tallo y que corresponde al nombre general

en español para el grupo de hortalizas que componen esta especie de  $2n = 18$  cromosomas. (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

Las plantas originarias todavía crecen en forma silvestre a lo largo de las costas del Mediterráneo y en las costas marítimas de Gran Bretaña y del sudoeste de Europa. De éstas se han derivado, por selección o mutación, las distintas formas de la especie que se cultivan actualmente.

#### **2.7.3.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA FAMILIA *BRASSICACEAE*.**

Las coles son plantas bianuales (excepto muchos cultivares de brócoli y coliflor que presentan ciclo de vida anual), por lo que requieren de un período de vernalización para florecer. Se cultivan como bianuales o como anuales dependiendo de la finalidad de su utilización.

Las formas de esta especie se consideran plantas de arraigamiento superficial, con raíz pivotante que alcanza hasta 80 cm. de profundidad, pero cuya masa radical más importante (raíces secundarias, terciarias y raicillas) se concentra en los primeros 40 a 60 cm. del perfil del suelo, en especial cuando se destruye la raíz primaria, como ocurre casi siempre al realizar su cultivo por almácigo y transplante.

Presentan un tallo erecto, cuyo tejido medular experimenta un fuerte crecimiento primario en grosor, lo que se asocia a un severo freno al crecimiento en longitud; durante el posterior crecimiento secundario en grosor, un anillo de xilema se forma alrededor de la médula, por lo que la parte baja del tallo se mantiene relativamente delgada.

Las hojas de esta especie son grandes y presentan nervadura muy notoria. La superficie foliar está recubierta de ceras epicuticulares que dificultan el mojado, causando el escurrimiento del agua y otorgan el color verde azulado opaco común en la especie. Las flores son amarillas o blanquecinas, de unos 2,5cm. de diámetro y se agrupan en racimos desarrollados a partir del tallo principal y de sus ramificaciones. La polinización es cruzada y entomófila. El fruto es una silicua cilíndrica, dehiscente y glabra, de aproximadamente 10 cm. de longitud y 4 a 5cm. de ancho y contiene unas 20 semillas por lóculo, las que son redondeadas y pequeñas (2mm. de diámetro).

La familia *Brassicaceae* comprende numerosas especies de variados usos destacando los géneros *Brassica* y *Raphanus* como los más difundidos y utilizados. Esta familia botánica comprende especies originadas en zonas de clima templado, por lo que están adaptadas a desarrollarse y crecer en zonas con temperaturas moderadas. Las especies resisten heladas, especialmente en la etapa vegetativa del desarrollo y no presentan susceptibilidad a daño por enfriamiento (DPE).

### **Clasificación botánica:**

**División:** *Magnoliophyta*

**Clase:** *Magnoliopsida*

**Orden:** *Brassicales*

**Familia:** *Brassicaceae*

Las especies hortícolas son plantas herbáceas, de ciclo anual, bianual (la mayoría) y perenne, cultivadas comercialmente como anuales y de hábitat terrestre a excepción del berro de agua.

Presentan inflorescencia típicamente racimosa (formada por un eje principal) con pedicelos que sostienen flores hermafroditas y con cuatro pétalos libres en forma de cruz (muy característico de la familia y razón de su anterior nombre: Cruciferae). (Krarup, C. y Moreira, I. 1998).

#### **2.7.3.2. COL.**

La col o repollo se considera una planta bianual, pero muchas veces florece el primer año sin haber pasado por el período de frío requerido. Ello se atribuye a un carácter ancestral dado que las formas silvestres de *B. oleracea* son anuales o bianuales. Al igual que las otras variedades botánicas de la especie, presenta un sistema radical reducido y superficial, que limita la capacidad exploratoria del suelo,

haciendo a la planta muy sensible a la falta de agua. (Giaconi, V., M. Escaff. 1997).

**Tabla 2.6 Clasificación científica Col, *Brassica oleracea*-Capitata.**

Clasificación científica	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Brassicales
<b>Familia:</b>	Brassicaceae
<b>Género:</b>	<i>Brassica</i>
<b>Especie:</b>	Oleracea
<b>Variedad:</b>	Capitata

Fuente.- Krarup, C. y Moreira, I. 1998

**Figura 2.10 Col, *Brassica oleracea*-Capitata.**



Fuente.- Giaconi, V., M. Escaff. 1997

La col o repollo es considerada una planta de crecimiento relativamente lento. Es posible diferenciar distintos períodos en el ciclo biológico de esta hortaliza: la fase vegetativa se refiere a la etapa de formación abundante de hojas, en las que se acumulan las reservas elaboradas por la planta. Luego, estas reservas se movilizan para ser usadas en la etapa reproductiva, la cual se inicia con la formación de los primordios florales, sigue con el alargamiento del tálamo floral y continúa con la formación de flores amarillas.

La planta es autoestéril por incompatibilidad con su propio polen, por lo que presenta polinización entomófila. (Giacconi, V., M. Escaff. 1997).

### **Raíz.**

Es cilíndrica pivotante y posee raíces secundarias que absorben los nutrientes y el agua. Al igual que las otras variedades botánicas de la especie, presenta un sistema radical reducido y superficial, entre 40 y 45cm. que limita la capacidad exploratoria del suelo.

### **Tallo.**

Durante el primer ciclo vegetativo la planta forma un tallo herbáceo, relativamente grueso, corto, jugoso, erecto y sin ramificaciones; con la parte exterior leñosa y entrenudos cortos, no presenta ramificaciones y no alcanza más de 30cm. debido a que el crecimiento en longitud se detiene en estados iniciales del desarrollo.

La cabeza del repollo corresponde a un tallo que sostiene gran número de hojas no desplegadas, descansando una sobre otra y que forman un conjunto más o menos apretado, que encierra la yema terminal y las hojas más jóvenes.

### **Hojas.**

Parten del tallo con un ángulo que difieren según la variedad y que va a definir la compactación de la cabeza, color verde azulado, verdes y rojas según la variedad.

**Flor.**

La planta produce centenas de flores en racimos; la corola es amarillenta de pétalos ovalados.

De naturaleza hermafrodita pero la polinización es cruzada, realizándose ésta a través del viento e insectos. La planta es auto estéril por incompatibilidad con su propio polen, por lo que presenta polinización entomófila. Una vez polinizadas y fecundadas, las flores dan origen a silicuas gruesas, rectas o curvas, de 10 cm. de largo por 5mm. de ancho.

**Fruto.**

Es una silicua alargada, terminada en un cuernecillo cilíndrico, con numerosas semillas. Dehiscente cuando esta seco.

**2.7.3.3. ETAPAS FENOLOGICAS.**

Las plantas de col o repollo son bianuales, en clima templado, tardan un año para crecer y otro para producir flores y semillas. En clima tropical la planta tiene un ciclo de tres a cuatro meses, por lo general no florece. El primer ciclo de su vida corresponde a la fase vegetativa, representado por el desarrollo de raíces, hojas y tallos y termina con la producción de un tallo ancho y corto que actúa como un órgano de reserva. Las hojas nuevas forman una masa compacta que se desarrolla desde el interior y no contiene clorofila. Estas hojas son suculentas y en ellas se encuentran grandes cantidades de almidones y azucars. (Casseres, E. 2000).

## **Fase Vegetativa.**

El primer ciclo de la vida de la col o repollo o fase de crecimiento vegetativa, es la más importante ya que se cumple de forma natural.

Esta fase se divide en cuatro etapas:

### **Primera etapa.**

Se realiza entre los ocho y diez días, inicia con la germinación de la semilla y termina cuando la plántula tiene entre cuatro y cinco hojas verdaderas; corresponde al momento apropiado para el trasplante. Durante esta etapa las plantas desarrollan su sistema radical y las primeras hojas verdaderas.

### **Segunda etapa.**

Inicia desde el establecimiento de la planta al trasplante hasta que ésta tiene de seis a ocho hojas. Luego de recuperarse del estrés del trasplante, las plantas entran en una fase de rápido aumento de biomasa. El área foliar se incrementa rápidamente al igual que el sistema radical y el tallo de la planta.

### **Tercera etapa.**



Llamada de preformación de cabeza, la planta continúa produciendo hojas de pecíolos alargados y limbos extendidos, finaliza cuando la planta tiene aproximadamente doce hojas. Las hojas originadas hasta ese momento, no formarán parte de la cabeza y sólo algunas de las producidas durante la última etapa se doblarán ligeramente para formar una capa protectora.

#### **Cuarta etapa.**

Se caracteriza por la producción de hojas sin pecíolo, que se superponen formando una bola, estas crecen rápidamente, permitiendo el desarrollo de más hojas suculentas hasta que la cabeza alcanza el tamaño propicio. Al final de esta etapa, las hojas han formado una bola compacta que al tacto se siente firme y dura; en algunos casos, las hojas interiores pueden producir mucha presión sobre las externas, provocando rajaduras en la cabeza.

#### **Fase Reproductiva.**

Requiere el estímulo de bajas temperaturas, las que activan los procesos fisiológicos que culminan con la producción de uno o más tallos florales en los que se origina la inflorescencia. (Casseres, E. 2000).

### **2.7.3.4. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS .**

#### **Temperatura.**

Requiere temperaturas que varían de los 15 a los 28°C. En la última década se ha introducido híbridos que se adaptan a climas cálidos, es decir se adaptan a temperaturas entre 22 y 35°C. (Casseres, E. 2000).

### **Precipitación.**

El requerimiento hídrico de la col o repollo es alrededor de 4.000 metros cúbicos por hectárea. El riego realizado inmediatamente después del transplante aminora el estrés de las plantas.

### **Altura.**

Se cultiva en zonas con alturas que oscilan desde los 400 hasta los 1.800 metros sobre el nivel del mar.

### **Suelo.**

No son muy exigentes en el tipo de suelo, pero este debe retener humedad y a los suelos ligeros o arenosos se les debe proporcionar agua con mayor frecuencia. Se obtiene buen desarrollo en suelos de textura franca ricos en materia orgánica. En suelos pesados (arcillosos) es necesario hacer un buen drenaje para evitar el encharcamiento. No se recomienda sembrar en suelos arenosos el cultivo se desarrolla en suelos ligeramente ácidos con pH comprendido entre 5.5 y 6.5, además pueden crecer a un pH de 7.6 si no hay deficiencia de algún elemento esencial.

## **Semillas.**

Las semillas son redondeadas, pequeñas y de color café en un gramo se encuentran alrededor de 342 semillas. (Casseres, E. 2000).  
(ANEXO C.- Semillas de Col).

### **2.7.3.5. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.**

La fertilización debe ser bastante equilibrada, ello se logra mediante la aplicación de fertilizantes durante la preparación del suelo y más tarde en el desarrollo del cultivo. (Giaconi, V., M. Escaff. 1997).

## **Nitrógeno.**

Es uno de los principales elementos requeridos por la planta de col o repollo. Los altos niveles de extracción causan bajos rendimientos en cultivos posteriores, por lo que se hace necesario realizar la fertilización nitrogenada acorde con las necesidades del cultivo.

Las plantas con deficiencias en este elemento presentan alargamiento de hojas y pecíolos, rosetas de hojas, repollos pequeños y la maduración se atrasa. La corrección de esta deficiencia deberá hacerse a base de fertilizantes en forma de nitratos para conseguir efectos más rápidos.

Una aplicación tardía de nitrógeno provoca la formación de cabezas de bajo peso y prolonga el ciclo del cultivo. Un exceso incide en el apareamiento de repollos poco compactos y la pudrición de la periferia

de algunas hojas dentro del repollo. La aplicación nitrogenada debe fraccionarse en tres o cuatro aplicaciones.

### **Fósforo.**

Su disponibilidad favorece la formación y aumenta el porcentaje de bolas o cabezas.

Su deficiencia retarda el crecimiento, las hojas externas adquieren color púrpura, presentándose hojas verde oscuro más intenso y bordes rojizos en su parte interior.

### **Potasio.**

Aumenta la resistencia a baja temperatura y mantiene la turgencia en época de verano. Su deficiencia se caracteriza por el bronceado de los bordes de las hojas más viejas. Debe aplicarse al momento del trasplante. (Giacconi, V., M. Escaff. 1997).

## **2.8. NÍQUEL.**

### **2.8.1. INTRODUCCIÓN.**

El níquel es un elemento natural muy abundante. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado que puede combinarse con otros metales, tales como el hierro, cobre, cromo y cinc para formar aleaciones. Estas aleaciones se usan para fabricar monedas, joyas y artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable.

El níquel puede combinarse con otros elementos, como por ejemplo el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Muchos compuestos de níquel se disuelven fácilmente en agua y son de color verde. El níquel se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas. El níquel también se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos. El níquel y sus compuestos no tienen olor ni sabor característicos.

Símbolo Ni, número atómico 28, metal duro, blanco plateado, dúctil y maleable. La masa atómica del níquel presente en la naturaleza es

58.71. El níquel tiene cinco isótopos naturales con masas atómicas de 58, 60, 61, 62, 64. También se han identificado siete isótopos radiactivos, con números de masa de 56, 57, 59, 63, 65, 66 y 67.

La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión.

También es importante en monedas como sustituto de la plata. El níquel finamente dividido se emplea como catalizador de hidrogenación. El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre. Dos minerales importantes son los sulfuros de hierro y níquel. El níquel se presenta en pequeñas cantidades en plantas y animales. Está presente en pequeñas cantidades en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón. (The Metallurgical Society. 1998.)

### **Papel biológico.**

Muchas, aunque no todas, las hidrogenasas contienen níquel, especialmente en aquéllas cuya función es oxidar el hidrógeno. Parece que el níquel sufre cambios en su estado de oxidación lo que parece indicar que el núcleo de níquel es la parte activa de la enzima.

El níquel está también presente en la enzima metil CoM reductasa y en bacterias metanogénicas.

### 2.8.2. PROPIEDADES.

El níquel metálico es fuerte y duro (3.8 en la escala de Mohs), cuando está finamente dividido, es de color negro. La densidad del níquel es 8.90 veces la del agua a 20 °C (68 °F); se funde a 1455 °C (2651 °F) y hierve a 2840 °C (5144 °F); es sólo moderadamente reactivo. Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes, pero los alambres muy finos pueden incendiarse. Está por encima del hidrógeno en la serie electroquímica; se disuelve con lentitud en ácidos diluidos liberando hidrógeno. En forma metálica es un agente reductor fuerte.

El níquel puede existir en los estados de oxidación 0, 1+, 3+, 4+. Además de los compuestos simples o sales, el níquel forma una variedad de compuestos de coordinación o complejos. La mayor parte de los compuestos de níquel son verdes o azules a causa de la hidratación o de la unión de otros ligandos al metal. El ion níquel presente en soluciones acuosas de compuestos simples es a su vez un complejo, el  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ .

**Tabla 2.7 Propiedades Físicas del Níquel**

<b>Propiedades Físicas</b>	
<b>Estado:</b>	Sólido
<b>Estructura cristalina:</b>	Cúbica centrada en las caras
<b>Color:</b>	Blanco plateado
<b>Densidad:</b>	8908 ( <a href="#">Kg/m<sup>3</sup></a> )
<b>Dureza:</b>	4,0 (Mohs)
<b>Conductividad eléctrica:</b>	$14,3 \times 10^6$ S/m
<b>Conductividad térmica:</b>	90,7 W/(m·K)

<b>Calor específico:</b>	440 J/kg·K
<b>Punto de fusión:</b>	1728 K
<b>Entalpía de fusión:</b>	17,47 kJ/mol
<b>Punto de ebullición:</b>	3186 K
<b>Entalpía de vaporización:</b>	370,4 kJ/mol
<b>Presión de vapor:</b>	237 Pa a 1726 K
<b>Velocidad del sonido:</b>	4970 m/s a 293,15 K

Fuente.- The Metallurgical Society. 1998.

### 2.8.3. COMPORTAMIENTO EN EL MEDIO AMBIENTE.

#### Agua.

En los sistemas acuáticos, el níquel habitualmente se encuentra en su forma  $Ni^{2+}$ . La forma en que se encuentra dentro del agua depende, entre otros factores, del pH. Los compuestos de níquel en los cuerpos de agua superficiales o subterráneos se registran por regla general como "níquel total" y los resultados se presentan de la misma manera, si bien el espectro de los compuestos que se introducen en los cuerpos de agua por acción antrópica abarca desde sales solubles y óxidos insolubles hasta polvo de níquel metálico.

Hasta ahora no se tiene conocimiento de compuestos de níquel que se encuentren exclusivamente en el agua.

#### Aire.

El níquel se encuentra en el aire en forma de aerosol. Su forma metálica es estable. La determinación de compuestos de níquel que sólo se dan en el aire es extraordinariamente difícil; por un lado, existen relativamente pocos compuestos y por otro lado, los métodos



analíticos que se aplican producen modificaciones en la sustancia. Con respecto a los valores de emisiones, figuran en primer lugar los sulfatos de níquel, los óxidos de níquel y óxidos complejos de níquel y en medida mucho menor, el polvo de níquel metálico que llega a la atmósfera.

### **Suelo.**

También en los suelos puede encontrarse el níquel de maneras muy diversas: como mineral cristalino inorgánico (o como precipitado), en complejos quelados o como ion libre. El comportamiento de los compuestos de níquel en el suelo depende no sólo de las propiedades de cada compuesto sino también del tipo de suelo, razón por la cual es imposible generalizar. Con la disminución del pH, aumenta el contenido de níquel en la solución de suelo.

### **Cadena alimentaria.**

Son numerosas las plantas que acumulan el níquel que toman del suelo, principalmente a través del sistema radicular.

En condiciones naturales, los contenidos en las plantas son inferiores a 1 mg/kg, si bien en los suelos formados sobre serpentinitas se han registrado concentraciones de 100 mg/kg y niveles de hasta 1.150 mg/kg en suelos sobre los que se han distribuido lodos de clarificación (EPA, 1985).

#### **2.8.4. EFECTOS DEL NÍQUEL SOBRE LA SALUD.**

El níquel es un elemento que está presente en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. Los humanos usan el níquel para muchas aplicaciones diferentes. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería.

Los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel. El chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades. El níquel es tomado y este aumentará cuando la gente come grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Es conocido que las plantas acumulan níquel y como resultado la toma de níquel de los vegetales será eminente. Finalmente, el níquel puede ser encontrado en detergentes. (The Metallurgical Society. 1998.)

En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades este puede ser peligroso para la salud humana.

La toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias:

- ✓ Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.

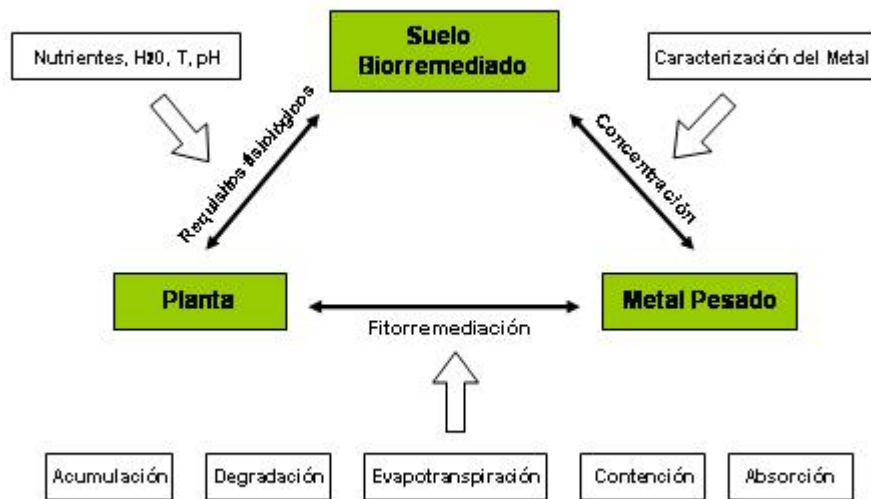
- ✓ Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel.
- ✓ Embolia de pulmón.
- ✓ Fallos respiratorios.
- ✓ Defectos de nacimiento.
- ✓ Asma y bronquitis crónica.
- ✓ Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas.
- ✓ Desordenes del corazón.

## **CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO.**

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO.**

Para el desarrollo del proyecto de Fitorremediación se plantea una metodología o procedimiento ordenado que se sigue para cumplir los objetivos planteados inicialmente.

Científicamente el diseño metodológico es un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo del proyecto.



### 3.1. MARCO METODOLÓGICO.

- ✓ Analizar el suelo biorremediado para determinar la presencia y concentración del metal pesado.
- ✓ Investigar bibliográficamente acerca de las plantas que son hiperacumuladoras de metales pesados.
- ✓ Selección de las plantas en estudio (tomate, girasol y col), las que reúnen las mejores condiciones para la remoción del metal pesado del suelo y de adaptación a las condiciones geoclimáticas donde se encuentra el Centro de Facilidades de Producción (CPF) de la Compañía AGIP Oil Ecuador B.V.

- ✓ Monitorear mensualmente la concentración del metal pesado en el suelo y al final del proyecto las raíces de las plantas, así determinar la mejor especie que sirve para la remoción del metal pesado en estudio.

## **3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

### **3.2.1. ANTECEDENTES.**

Los suelos contaminados con Hidrocarburos son sometidos a Biorremediación, con el objetivo de degradarlo para sujetarse a los límites máximos permisibles.

Sin embargo los procesos de Biorremediación convencionales son utilizados para reducir los TPH's del suelo, mas no para tratar metales pesados contenidos en la base del hidrocarburo, particularmente Níquel, cuyo contenido generalmente es mayor que los límites que establecen las normas nacionales. (REGLAMENTO SUSTITUTIVO AL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS DEL ECUADOR).

Consecuentemente es necesario reducir la concentración de este metal pesado en el suelo. El método escogido es el de **"Fitorremediación"** (Uso de plantas para limpiar ambientes contaminados).

### **3.2.2. APLICACIÓN DEL PROYECTO DE FITORREMEDIACIÓN.**

La fitorremediación es una tecnología naciente que sirve para explotar las capacidades metabólicas de las plantas proporcionando un medio barato, simple y seguro para remediar áreas contaminadas. Es así uno de los pocos campos de la *biotecnología* que no provocan rechazo social.

La fitorremediación se encuentra en desarrollo, pero constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos, etc.

Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas. La fitorremediación es más eficaz en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes (EPA 2001). Algunos problemas de contaminación han encontrado solución en la biotecnología.

### **3.2.3. FASE DE INVESTIGACIÓN, CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y DEL CONTAMINANTE.**

#### **Emplazamiento.**

En el Centro de Facilidades de Producción (CPF), existe un área de 500m<sup>2</sup> ubicada en la parte suroeste que ha sido destinada para el

desarrollo de actividades relacionadas con el manejo ambiental, tales como:

- ✓ Estación de transferencia para el manejo de residuos sólidos.
- ✓ Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante el sistema de Biopilas.

Adicional a estas actividades se incorporó el Proyecto de Fitorremediación, utilizando un área de 36m<sup>2</sup> para la construcción del vivero y ejecución del mismo. (**ANEXO D.- EMPLAZAMIENTO**).

### **Contaminantes.**

Los suelos contaminados por hidrocarburos en las diferentes actividades de las operaciones de AGIP Oil Ecuador, son recolectados y trasladados al lugar de emplazamiento para ser tratados con el sistema convencional de Biopilas, el cual es utilizado para degradar los TPH's del suelo, mas no para remover los metales pesados contenidos en la base del hidrocarburo, particularmente Níquel. (**ÁPENDICE III.- ANÁLISIS DE CRUDO**).

### **3.2.4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y MANEJO DEL PROYECTO.**

#### **Consideraciones de diseño Técnico.**

El diseño de un proyecto de fitorremediación es determinado por varios factores incluyendo el tipo, profundidad y concentración del

contaminante, la tolerancia climática de las plantas, el área total, el tipo de suelo, la hidrogeología del sitio y el tiempo disponible.

En ausencia de un cuerpo de la literatura y/o de la experiencia local, es necesario conducir pruebas a pequeña escala para determinar la optimización antes de elegir una especie para un sitio. Para el caso en estudio se probó con tres especies potencialmente útiles (girasol, tomate y col) para determinar la mejor especie que remueva Níquel.

Para la ejecución del Proyecto de Fitorremediación fue necesario establecer diferentes etapas de trabajo:

### **Investigación Bibliográfica**

La investigación bibliográfica recoge conocimientos o datos de fuentes secundarias y los sistematiza para el logro de nuevos conocimientos. La característica fundamental de la investigación es el descubrimiento de principios generales.

La investigación bibliográfica fue la etapa fundamental para el desarrollo del Proyecto de Fitorremediación ya que los resultados obtenidos durante esta, fueron muy importantes por lo que se obtuvo información muy relevante acerca de esta nueva técnica a nivel país, para la remoción de metales pesados del suelo, investigando acerca de la mayoría de especies fitorremediadoras que sirvieron como línea base para la selección de las tres mejores especies que reúnan las



mejores condiciones: tanto de eficacia para la Fitorremediación de Níquel y que se puedan desarrollar en la zona geoclimática donde se encuentra el Centro de Facilidades de Producción (CPF) de la Compañía AGIP Oil Ecuador que opera en el Bloque 10, donde se desarrolló el Proyecto. (Giordani C, Cecchi S, Zanchi C. 2005; Eapen S, D'Souza S.F. 2005; Cheng S. 2003; Naturforsch Z. 2005.)

### **Selección de plantas.**

Para la fitorremediación acertada de los metales pesados contenidos en la base de los hidrocarburos del petróleo se estableció la selección de plantas apropiadas en el sitio contaminado, para lo cual se toma en cuenta los siguientes aspectos:

1. Identificar la tecnología de la Fitorremediación y las metas remediadoras.
  
2. Reunir información del sitio:
  - Cantidad de luz solar.
  - Cantidad de suelo a tratarse.
  - Temperatura: promedio y rango.
  - Precipitación: tiempo y cantidad.
  - Longitud de crecimiento de las plantas.
  - Tipo de contaminante y concentración.
  - Localización (también relativo a las plantas).
  - Textura del suelo, salinidad, pH, fertilidad, humedad, estructura.

Identificar las plantas que crecen en sitios contaminados con Níquel.

**3. Identificar los criterios importantes para la selección de la planta:**

Tolerancia al frío.

Tolerancia al calor.

Tolerancia a los insectos.

Tolerancia a la salinidad.

Resistencia a la sequía.

Resistencia a enfermedades.

Ciclo: Anual, Bianual, Perenne.

Reproducción método: estaca ó semilla.

Los requisitos del trabajo y del costo no deben ser excesivos.

**4. Aspectos relacionados con la Fitorremediación:**

Eficacia demostrada por la planta: la planta puede tomar y/o degradar a los contaminantes, los exudados del producto pueden estimular a los microorganismos del suelo o poseer las enzimas que se sirven para degradar al contaminante.

Fitotoxicidad del contaminante: el contaminante no debe ser fitotóxico en las concentraciones encontradas en el sitio.

Profundidad de la raíz: la gama de las profundidades de la raíz de una planta dada debe ser considerada.

Profundidad y distribución del contaminante: la profundidad del contaminante debe ser similar a la profundidad de la raíz.

La distribución de la contaminación en las diferentes profundidades del suelo debe tener relación con el tipo de la planta.

### **Construcción de vivero.**

Previo a la construcción del vivero fue necesario realizar una implantación del terreno, así establecer los puntos para el armado de la estructura. (**ANEXO E.-** Construcción vivero).

La estructura con la que se realizó el vivero es de madera, cubriendo el techo y pared posterior con plástico PQA color blanco N° 8, éste plástico permitirá el paso de la luz solar e impedirá el paso del agua.

Mientras que en las paredes laterales y frontal se colocó sarán al 50%, con el objetivo de permitir el ingreso del viento, mantener la temperatura ambiente al anterior del vivero e impedir el ingreso de insectos.

Para el control de la ventilación nocturna al interior del vivero se disponen de cortinas plásticas en las paredes laterales y frontal que se bajaban en la tarde.

Al interior del vivero se construyeron cuatro platabandas, identificadas cada una para la siembra de las tres especies y el control. (**ANEXO F.-** Construcción platabanda).

## **Manejo Técnico.**

El manejo técnico del proyecto de fitorremediación es determinado por diferentes etapas de trabajo:

### **Preparación del Suelo.**

En la preparación del suelo antes de la siembra se procedió a eliminar las piedras y basura del suelo biorremediado, con el objetivo de brindar las mejores características de requerimientos para la germinación de las semillas. Así las raíces podrán desarrollarse mejor y la planta tendrá muchos beneficios.

El material eliminado en la preparación del suelo antes de la siembra los dispuso en los sitios adecuados, la basura a los respectivos recipientes y las piedras al medio natural.

Una buena estructura del suelo debe permitir:

- √ Poros adecuados para la entrada de aire y del agua en el suelo.  
Los poros son los espacios entre partículas del suelo y agregados.
  
- √ Porosidad adecuada para que el agua se mueva a través del suelo y se almacene para los cultivos, así como para que drene si es necesario.

√ Porosidad adecuada para el crecimiento del cultivo. Después de la germinación de las semillas, los nuevos tallos y después las raíces deben ser capaces de explorar completamente el volumen del suelo para conseguir humedad, aire y elementos nutritivos.

Posteriormente se tamizó el suelo para separar los grumos que se han formado en el transcurso del tiempo, los mismos que fueron triturados e incorporados nuevamente a la muestra inicial.

Adicional a cada uno de estos procesos, al suelo previamente preparado se regó de tal manera que se brinde una humedad adecuada para la siembra y se volteo manualmente para permitir el ingreso de oxígeno en el suelo.

Para lograr una consistencia apropiada del suelo, debido a que existe un alto porcentaje de aserrín que no se ha degradado en el proceso de biorremediación (Biopila), se diluyó al suelo biorremediado en proporciones 2 : 1 ( 2 partes de suelo biorremediado y 1 parte de suelo orgánico virgen ). (**ANEXO G.-** Preparación del suelo).

### **Siembra de semillas.**

El suelo previamente preparado se coloca en fundas de 2 Kg. las semillas sembradas pertenecen a las 3 especies seleccionadas en la

etapa de investigación bibliográfica las mismas que poseen las mejores características para fitorremediar el suelo con altas concentraciones de Níquel y fueron: girasol, col y tomate, 25 por cada especie dando un total de 75.

Teniendo un control que estaba formado por la tercera parte de cada una de las platabandas sembradas, 8 semillas por cada una de las especies con un total de 24, las mismas fueron sembradas en suelo orgánico virgen.

### **Control diario.**

Dentro de control diario se han identificado las siguientes actividades diarias: (**ANEXO H.-** Hoja de control de Temperatura y Humedad interna de vivero).

- ✓ **Ventilación del vivero.-** por la mañana las cortinas laterales y frontal son levantadas manualmente para que exista ventilación, al interior del vivero y así obtener una temperatura interna adecuada para el normal desarrollo de las plántulas.
  
- ✓ **Control de Temperatura y Humedad interna del vivero.-** la temperatura y humedad ambiental interna del vivero se controla cuatro veces al día con el siguiente horario: 08h00,

11h00, 14h00 y 17h00. Para lo cual se dispone de un medidor digital de estos dos parámetros.

- ✓ **Control de ventilación nocturna del vivero.**- por la tarde, las cortinas laterales y frontal, se bajan para mantener la temperatura y humedad interna adecuada, además de proteger a las plántulas de una eventual lluvia nocturna.
  
- ✓ **Riego.**- las plántulas son regadas manualmente pasando un día, de tal manera que la humedad sea la óptima en el suelo para la germinación de la semilla y de su normal desarrollo en las siguientes etapas de crecimiento.

### **3.3. CONTROL Y SEGUIMIENTO.**

#### **3.3.1. PLAN DE MONITOREO.**

##### **Parámetros de Control.**

En el plan de monitoreo del sistema de fitorremediación se recogió datos para lo indicado a continuación:

Optimizar la operación del sistema de fitorremediación.

Medir el progreso hacia los objetivos remediadores es decir, destrucción, extracción o contención del metal pesado.

##### **Parámetros de Monitoreo.**

Los parámetros de monitoreo registrados en el proyecto de fitorremediación fueron los siguientes:

### **1. Datos climáticos:**

Temperatura.

Precipitación.

Humedad.

Velocidad y dirección del viento.

(**ANEXO I.-** Datos de la estación metereológica – CPF. ).

### **2. Plantas:**

Características visuales (viabilidad, señales de estrés, daños por insectos, crecimiento, etc.).

Composición del tejido (raíz, tallo y hojas).

Densidad de la raíz.

### **3. Suelo:**

Concentración de metal pesado

### **4. Raíces:**

Concentración de metal pesado.

### **Frecuencia y duración del monitoreo.**

La frecuencia con la que se llevó el monitoreo fue de cada 30 días, con excepción en el primero el cual se efectuó a los 60 días de iniciado el



proyecto ya que en la primera fase de crecimiento las plantas no se desarrollaban fisiológicamente de una manera completa, el segundo monitoreo se realizó a los 90 días y el tercer monitoreo se realizó a los 120 días de iniciado el proyecto, tiempo en el que las plantas llegaron a su madurez fisiológica. **(ANEXO J.- Monitoreo de las plantas.)**

El Proyecto de Fitorremediación tuvo una duración de 210 días efectivos tiempo en el que se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Implantación del terreno.
2. Construcción del vivero.
3. Siembra y monitoreo.

#### **Método de muestreo y monitoreo de suelo.**

El muestreo de las plantas se realizó controlando los siguientes parámetros: altura, número de hojas y diámetro del tallo.

Adicional a la medición de los parámetros antes mencionados se seleccionó al azar 5 plantas por cada especie (Girasol, Col y Tomate), analizando 15 plantas en cada uno de los monitoreos.

Las plantas seleccionadas se las retiraba de la funda y se recogía el suelo presente en las raíces y el que rodeaba la superficie de la misma.

Por cada una de las especies se analizó 20 plantas en los 4 monitoreos, resultando al final del proyecto en un total de 60

muestras, donde únicamente se analizó la concentración del Níquel en el suelo presente a los 60, 90 y 120 días de ejecución y al final del proyecto las raíces. (**Ver ANEXOS Fotográficos Parámetros Controlados**)

### **3.3.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO.**

La caracterización inicial del suelo para determinar la presencia y concentración de Níquel en el suelo fue con el objetivo de determinar los parámetros iniciales con los cuales el proyecto se va a ejecutar así ir evaluando en cada monitoreo los alcances del proyecto.

El método de análisis que se utilizó para determinar la presencia y concentración de Níquel fue el APHA 3111B y EPA 7521, y los laboratorios a los que se enviaron las muestras fueron: ANNCY y GRUNTEC, los cuales están acreditados con las normas de calidad.

## **3.4. ANÁLISIS DEL PROYECTO.**

### **3.4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Una vez recopilado los datos fue necesario procesarlos, es decir, elaborarlos matemáticamente ya que la cuantificación permitirá llegar a determinar si se cumplió los objetivos planteados al inicio del proyecto. Las muestras de suelo, fueron codificadas para cada una de las especies siendo el principal parámetro a medirse la concentración de Níquel presente a la fecha del monitoreo.

### **METODOLOGÍA DEL MUESTREO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.**

La metodología utilizada para determinar la presencia y concentración de Níquel en el suelo de cada una de las especies investigadas: Girasol, Col y Tomate, durante los 3 primeros monitoreos a los 60 (01 Febrero 2006), 90 (03 Marzo 2006) y 120 (03 Abril 2006) días fue el APHA 3111B metodología con la que trabaja el Laboratorio ANNCY, lugar donde se realizaron los primeros 3 análisis del suelo que corresponden a los 3 monitoreos.

**Cuadro 3.1-** Distribución de las plantas en la platabanda.

<b>Platabanda</b>			
1	X	X	2
3	X	X	4
5	X	X	6
7	X	X	8
9	X	X	10
11	X	X	12
13	X	X	14
15	X	X	16
17	X	X	18
19	X	X	20
21	X	X	22
23	X	X	24

Cada una de las muestras de suelo fue recolectada de forma individual en fundas plásticas, en una cantidad aproximada de 300grs. previamente etiquetadas con la siguiente información: nombre del proyecto, punto de muestreo, código de la muestra y fecha del monitoreo.

Debido a una inconformidad con los resultados del tercer monitoreo presentados por el laboratorio ya que no eran los que se esperaban de manera coherente y despejar incertidumbres acerca de los valores de las concentraciones de Níquel, se decidió enviar las muestras de suelo de cada una de las 3 especies pertenecientes al cuarto monitoreo a un laboratorio externo y así por intermedio del Laboratorio GRUNTEC se envía al Canadá a realizar los análisis de suelo para determinar la concentración de Níquel presente en la etapa final del proyecto, utilizando el método EPA 7521, al final del proyecto se analizaron 20 muestras por cada una de las 3 especies con un total de 60.

La principal diferencia que existe entre los dos laboratorios contratados para el análisis de Níquel en el suelo es la metodología que se aplica para la detección del metal pesado en cada uno de ellos, siendo el método EPA 7521 utilizado por el laboratorio externo, el análisis se lo envió a realizar al Canadá, mientras que en el laboratorio contratado inicialmente se utiliza el método APHA 3111B, el análisis se lo realizaba en base a la digestión del suelo mediante ácidos y se

media por absorción atómica la concentración presente en el ácido resultante de la digestión del suelo.

Los tres primeros análisis de los monitoreos del suelo que se realizaron utilizando la metodología APHA 3111B se los hizo en el laboratorio que presta los servicios a la empresa AGIP Oil Ecuador auspiciante de esta investigación.

Razón por la cual los análisis requeridos debían hacerse en el mencionado laboratorio ya que el financiamiento del proyecto fue solventado por parte de la empresa, siendo este el motivo principal de la utilización de los servicios del laboratorio que utiliza la metodología APHA 3111B para la detección de Níquel en el suelo.

#### **ANÁLISIS DEL CONTROL.**

El control es una muestra de suelo no contaminada (no contiene Níquel por procesos industriales) que permitirá determinar por comparación el nivel de absorción de Níquel en las plantas sometidas a Fitorremediación, el mismo que permitirá determinar si las especies que se utilizaron en la ejecución del proyecto son factibles de germinar y tener un desarrollo adecuado en las condiciones geoclimáticas de la zona.

La muestra que servirá como control durante la ejecución de este proyecto es suelo orgánico natural (tomado de una zona que no presenta actividades antrópicas).

El establecimiento del control en el proyecto de Fitorremediación fue fundamental, ya que permitió realizar los respectivos análisis comparativos entre las concentraciones de Níquel presentes en el suelo orgánico natural de la zona y el suelo contaminado con hidrocarburos, además se complementará con análisis comparativos entre las características fisiológicas de las plantas del control y las plantas sembradas en el suelo contaminado con hidrocarburos.

Para descartar que las altas concentraciones de Níquel provienen del suelo orgánico virgen de la zona, se procedió a tomar una muestra de suelo orgánico utilizando la metodología de cuadrícula y cuarteo y enviarla al laboratorio para su respectivo análisis.

Una vez analizada la muestra se reportó una concentración de Níquel de 0.93ppm., presente en el suelo orgánico virgen de la zona, de esta manera se descartó que las altas concentraciones provienen del suelo orgánico virgen de la zona. (**ANEXO K.-** Análisis iniciales de suelo).

El control estaba formado por 8 plantas de cada de una de las 3 especies: Girasol, Col y Tomate en un total de 24 plantas que fueron sembradas en el suelo orgánico virgen de la zona. (**Ver ANEXO Fotográfico – Control**).

Adicionalmente a los monitoreos de detección de la concentración de Níquel en el suelo, se realizó monitoreos individuales a cada una de

las especies sembradas en el suelo del control y en las especies sembradas en el suelo sometido a Fitorremediación midiendo: altura, número de hojas y diámetro del tallo, cuyas medidas se realizó en la misma fecha que los monitoreos del suelo.

Los parámetros medidos en las especies del control fueron menores con relación a las especies sometidas a Fitorremediación, probablemente esta diferencia de los parámetros medidos se dio por la baja cantidad de nutrientes existentes en el suelo del control con relación a la cantidad de nutrientes existentes en el suelo sometido a Fitorremediación. **(ANEXO J.- Monitoreo de las plantas.)**

### **ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL.**

La caracterización inicial del suelo para determinar la presencia y concentración de Níquel fue con el objetivo de conocer los parámetros iniciales con los cuales el proyecto se va a ejecutar. **(ANEXO K.- Análisis iniciales de suelo).**

Para el análisis de la presencia y concentración de Níquel en el suelo para dar paso al inicio la siembra de las semillas se tomaron 4 muestras de suelo (Noviembre del 2005), las muestras se tomaron indistintamente del volumen total del suelo a tratarse, utilizando la metodología de cuadrícula y cuarteo, tomando una cantidad aproximada de 500 grs. por cada una de las muestras para análisis.

En la tabla 3.1 se detalla los resultados de la concentración de Níquel presente en el suelo en el que se inicio la siembra de las semillas.

**Tabla 3.1.-** Concentración inicial de Níquel en el suelo.

<b>Concentración Inicial (ppm)</b>	
<b>M1 (Nov 2005)</b>	499
<b>M1A (Nov 2005)</b>	449
<b>M1B (Nov 2005)</b>	440
<b>M1C (May 2006)</b>	728
<b>Promedio</b>	<b>529 ppm</b>

De las 4 muestras de suelo tomadas inicialmente (Noviembre del 2005), se decide enviar solamente 3 muestras a analizarse (M1, M1A, M1B), reportando el laboratorio las concentraciones de Níquel presente en el suelo indicadas en la Tabla 3.1 resultando un valor promedio de 462ppm, muestras analizadas con el método APHA 3111B,.

Posteriormente por las razones que se explicó anteriormente se envió a un laboratorio externo la cuarta muestra (Mayo del 2006) para validar los resultados anteriores.

El reporte del análisis realizado por el laboratorio externo mediante el método EPA 7521 reportó una concentración de Níquel de 728ppm presente en la muestra inicial de suelo, razón por la cual se promedio



con los 3 valores anteriores de concentraciones de Níquel para obtener el promedio inicial de 529ppm, esta diferencia entre los valores iniciales de las concentraciones de Níquel entre un laboratorio y otro se debe básicamente a la metodología utilizada para el análisis de la presencia y concentración del Níquel en el suelo.

La concentración inicial de Níquel en el suelo sobrepasa al valor permitido por el RAOHE, siendo ésta la razón principal de la ejecución del Proyecto para bajar la concentración de Níquel en el suelo.

#### **3.4.1.1. GIRASOL.**

Durante la ejecución del Proyecto de Fitorremediación se ha procedido a analizar un total de 20 muestras de suelo sometido a Fitorremediación donde se sembró la especie Girasol para determinar la concentración de Níquel presente en cada uno de los monitoreos.

Se realizaron 4 monitoreos a los 60, 90 y 120 días de ejecución del proyecto, en cada uno se analizaron 5 muestras de suelo donde se sembró la especie Girasol, siendo el proceso de selección totalmente al azar y en una cantidad impar ya que estadísticamente se ha demostrado que la cantidad apropiada en un muestreo debe ser impar.

**(Ver ANEXO Fotográfico – Girasol).**

En la tabla 3.2 se detallan los valores individuales de las concentraciones de Níquel en cada uno de los monitoreos y de manera global promediados de entre los valores de las concentraciones pertenecientes a cada uno de los monitoreos.

**Tabla 3.2.-** Concentraciones de Níquel por cada monitoreo – Girasol.

<b>GIRASOL</b>			
Concentración de Níquel (ppm)	<b>I Monitoreo</b>	<b>II Monitoreo</b>	<b>III Monitoreo</b>
	703	429	569
	326	597	658
	675	525	764
	658	387	794
	675	380	667
			561
	<b>Promedio</b>	<b>607,4 ppm</b>	<b>463,6 ppm</b>

La diferencia que existe entre la cantidad de análisis existentes entre los dos primeros monitoreos con el tercer monitoreo, se debe a que en el tercero se incluye el resultado del análisis de la concentración de Níquel que se envió al Canadá por el Laboratorio GRUNTEC.

El resultado reportado por GRUNTEC se lo introdujo en el tercer monitoreo para realizar la sumatoria y obtener el promedio global de la concentración de Níquel en el tercer monitoreo.

**Tabla 3.3.-** Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.

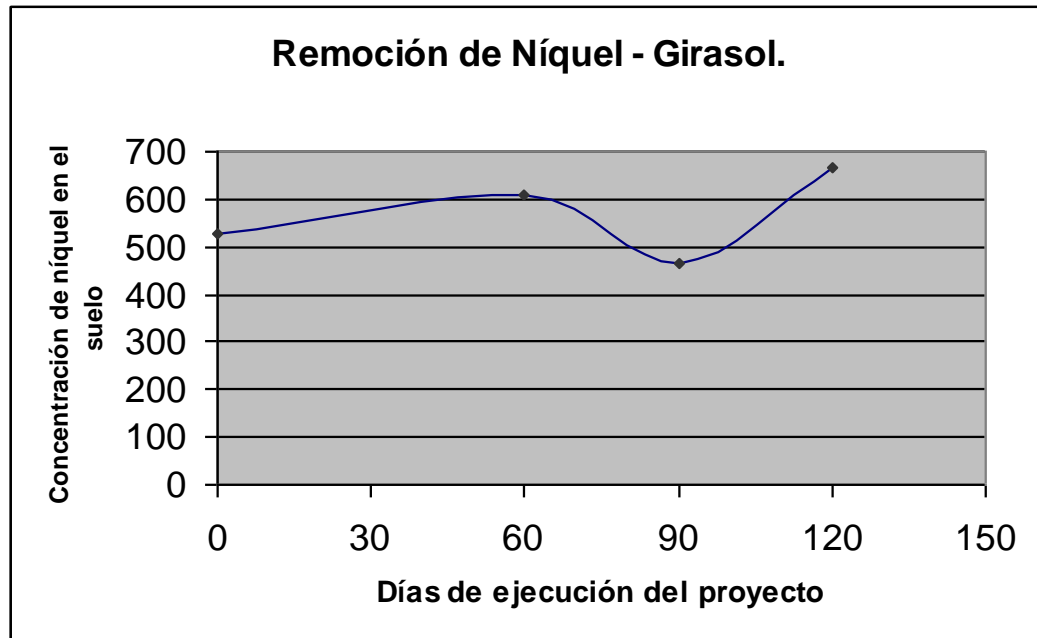
<b>GIRASOL</b>	
<b>Nº días (d)</b>	<b>Promedio de la [ ] de Ni (ppm)</b>
0	529
60	607,4
90	463,6
120	668,8

En la tabla 3.3 se detallan los valores promedio de las concentraciones de Níquel que se obtuvieron de entre los valores individuales que comprenden cada uno de los monitoreos con la especie Girasol, es decir desde la fase inicial que es el día número 0 (Diciembre del 2005) correspondiente al suelo inicial hasta el último día de ejecución del proyecto que es el día número 120 (Abril del 2006).

Con los datos presentados en la tabla 3.3 se construyó el cuadro 3.2, el cual representa la variación de la concentración de Níquel presente en el suelo con respecto al número de días de ejecución del proyecto,

los mismos que corresponden a cada uno de los monitoreos realizados durante el proyecto (0, 60, 90 y 120 días).

**Cuadro 3.2-** Remoción de Níquel – Girasol.



La representación gráfica del cuadro 3.2 aparentemente no es lo que se esperaba como resultado del proyecto de investigación ya que se inicia con un valor de concentración de Níquel de 529ppm., y era de esperarse una curva decreciente.

Los resultados reportados luego del primer monitoreo a los 60 días de ejecución del proyecto tienden a elevarse dando un valor de la concentración de Níquel de 607.4ppm y sobrepasar al valor inicial de 529ppm, para en el segundo monitoreo a los 90 días de ejecución los resultados demuestran que la disminución de la concentración de

Níquel es de 463.3ppm con una tendencia a bajar la concentración existiendo en este monitoreo una remoción del 12.36% del metal pesado presente en el suelo y ya para la etapa final que se contabilizan 120 días de ejecución se esperaba que los resultados disminuyeran en la concentración del metal pesado presente en el suelo, pero los resultados finales llegaron a ser más altos que los valores de las concentraciones de los dos primeros monitoreos, evidentemente esto demostraba una incertidumbre en los análisis de laboratorio realizados.

Razón por la cual se decidió enviar nuevamente al laboratorio externo las muestras finales de suelo de la especie Girasol para realizar el último análisis y validar los resultados finales, una vez analizados se reportó que las concentraciones de Níquel al final del proyecto con la especie Girasol realmente si disminuyeron considerablemente, por tal motivo se decidió introducir este último valor analizado y reportado por el laboratorio externo dentro del tercer monitoreo y realizar la sumatoria para obtener el promedio global del tercer y último monitoreo.

Además como se analizará mas adelante, se valida estos resultados con análisis de concentración en las raíces.

**Tabla 3.4.-** Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.

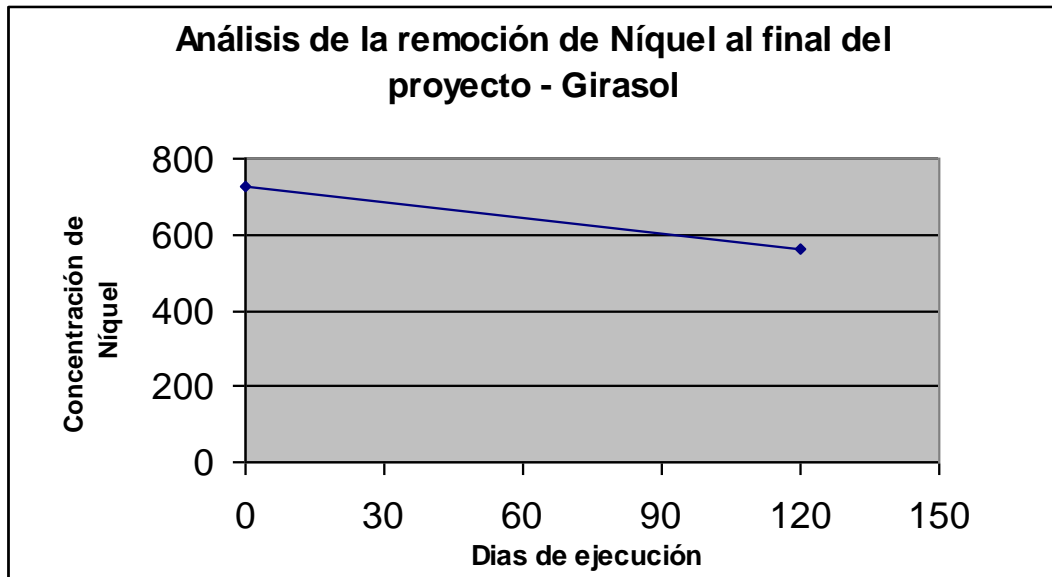
GIRASOL	
Nº días (d)	[ ] Ni (ppm)
0	728
120	561

Los valores presentados en la tabla 3.4 son los resultados analizados y reportados por el laboratorio externo.

Al laboratorio externo se envió una muestra inicial del suelo reportando un valor de 728ppm. Al final al día número 120 (Abril del 2006) de ejecución del proyecto, se envía otra muestra reportando un valor de 561ppm.

El cuadro 3.3 permite representar y visualizar desde el inicio el efecto positivo de la Fitorremediación que si ha permitido disminuir al final del proyecto la concentración del metal pesado presente en el suelo.

**Cuadro 3.3.-** Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto – Girasol.



Al realizar un análisis comparativo de los valores de la concentración de Níquel al inicio y al final del proyecto se determina que se ha logrado una remoción del 22.94% del metal pesado presente en el suelo, que representa una disminución de 167ppm al final del proyecto, empleando la metodología EPA 2571 para la detección de níquel en suelos.

Lo que ratifica con el análisis que se realiza más adelante con la determinación de concentración de Níquel en raíces.

De este análisis se desprende que la Fitorremediación de suelos que contengan altas concentraciones de Níquel es posible con la especie Girasol, si embargo aún persiste la incertidumbre de los porcentajes reales de remoción del Níquel por los problemas analizados de las metodologías utilizadas en el proyecto, que sin embargo podrán

superarse con la definición de un nuevo programa de investigación de manera exclusiva. (**ANEXO L.-** Análisis finales de suelo – Girasol).

Según los límites establecidos por el RAOHE para Níquel en suelos es de 100ppm, en esta fase del proyecto se ha logrado bajar la concentración inicial en 167ppm, de tal manera que es necesario repetir este proyecto y hacer más ciclos de siembra para llegar a cumplir con los límites permitidos.

#### **3.4.1.2. COL.**

Durante la ejecución del Proyecto de Fitorremediación se ha procedido a analizar un total de 20 muestras de suelo sometido a Fitorremediación donde se sembró la especie Col para determinar la concentración de Níquel presente en cada uno de los monitoreos.

Se realizaron 4 monitoreos a los 60, 90 y 120 días de ejecución del proyecto, en cada uno se analizaron 5 muestras de suelo donde se sembró la especie Col, siendo el proceso de selección totalmente al azar y en una cantidad impar ya que estadísticamente se ha demostrado que la cantidad apropiada en un muestreo debe ser impar.

(**Ver ANEXO Fotográfico – Col**).



En la tabla 3.5 se detallan los valores individuales de las concentraciones de Níquel en cada uno de los monitoreos y de manera global promediados de entre los valores de las concentraciones pertenecientes a cada uno de los monitoreos.

**Tabla 3.5-** Concentraciones de Níquel por cada monitoreo – Col.

<b>COL</b>			
Concentración de Níquel (ppm)	<b>I Monitoreo</b>	<b>II Monitoreo</b>	<b>III Monitoreo</b>
	528	571	788
	619	497	577
	689	518	481
	609	373	506
	664	585	854
			683
	<b>Promedio</b>	<b>621,8 ppm</b>	<b>508,8 ppm</b>

La diferencia que existe entre la cantidad de análisis existentes entre los dos primeros monitoreos con el tercer monitoreo, se debe a que en el tercero se incluye el resultado del análisis de la concentración de Níquel que se envió al Canadá por el Laboratorio GRUNTEC.

El resultado reportado por GRUNTEC se lo introdujo en el tercer monitoreo para realizar la sumatoria y obtener el promedio global de la concentración de Níquel en el tercer monitoreo.

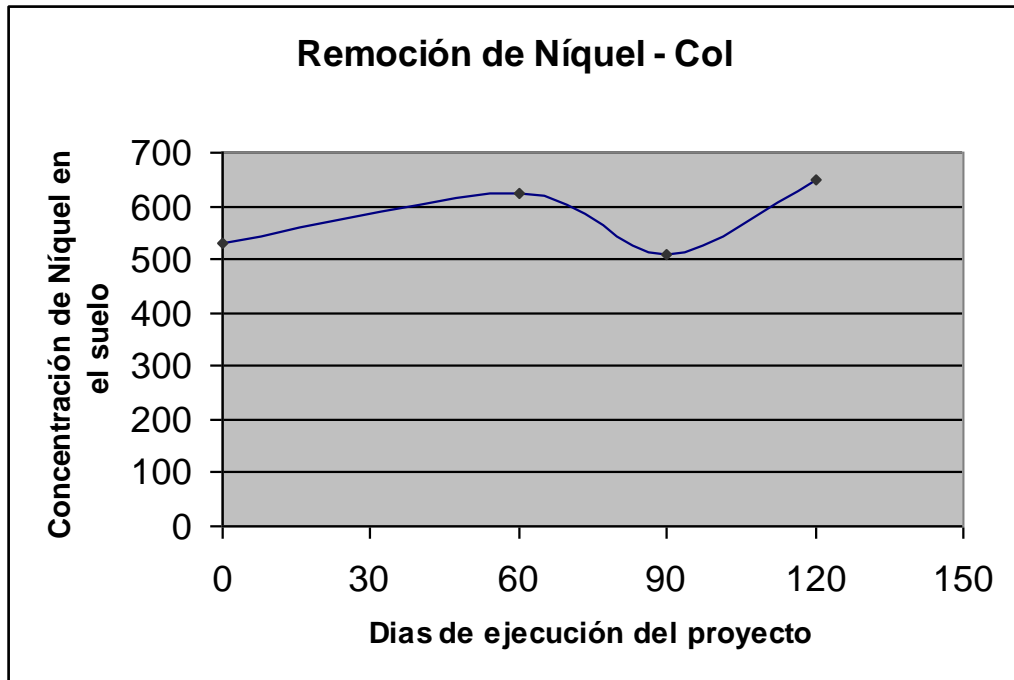
**Tabla 3.6.-** Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.

<b>COL</b>	
<b>Días (d)</b>	<b>Promedio de la [ ] de Ni (ppm)</b>
0	529
60	621,8
90	508,8
120	648,2

En la tabla 3.6 se detallan los valores promedio de las concentraciones de Níquel que se obtuvieron de entre los valores individuales que comprenden cada uno de los monitoreos con la especie Col, es decir desde la fase inicial que es el día número 0 (Diciembre del 2005) correspondiente al suelo inicial hasta el último día de ejecución del proyecto que es el día número 120 (Abril del 2006).

Con los datos presentados en la tabla 3.6 se construyó el cuadro 3.4, el cual representa la variación de la concentración de Níquel presente en el suelo con respecto al número de días de ejecución del proyecto, los mismos que corresponden a cada uno de los monitoreos realizados durante el proyecto (0, 60, 90 y 120 días).

**Cuadro 3.4-** Remoción de Níquel – Col.



La representación gráfica del cuadro 3.4 aparentemente no es lo que se esperaba como resultado del proyecto de investigación ya que se inicia se con un valor de concentración de Níquel de 529ppm., y era de esperarse una curva decreciente.

Los resultados reportados luego del primer monitoreo a los 60 días de ejecución del proyecto tienden a elevarse dando un valor de la concentración de Níquel de 621.8ppm y sobrepasar al valor inicial de 529ppm, para en el segundo monitoreo a los 90 días de ejecución los resultados demuestran que la disminución de la concentración de Níquel es de 508.8ppm con una tendencia a bajar la concentración existiendo en este monitoreo una remoción del 3.82% del metal pesado presente en el suelo y ya para la etapa final que se contabilizan 120 días de ejecución se esperaba que los resultados

disminuyeran en la concentración del metal pesado presente en el suelo, pero los resultados finales llegaron a ser más altos que los valores de las concentraciones de los dos primeros monitoreos, evidentemente esto demostraba una incertidumbre en los análisis de laboratorio realizados.

Razón por la cual se decidió enviar nuevamente al laboratorio externo las muestras finales de suelo de la especie Col para realizar el último análisis y validar los resultados finales, una vez analizados se reportó que las concentraciones de Níquel al final del proyecto con la especie Col realmente si disminuyeron, por tal motivo se decidió introducir este último valor analizado y reportado por el laboratorio externo dentro del tercer monitoreo y realizar la sumatoria para obtener el promedio global del tercer y último monitoreo. Además como se analizará mas adelante, se valida estos resultados con análisis de concentración en las raíces.

**Tabla 3.7.-** Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.

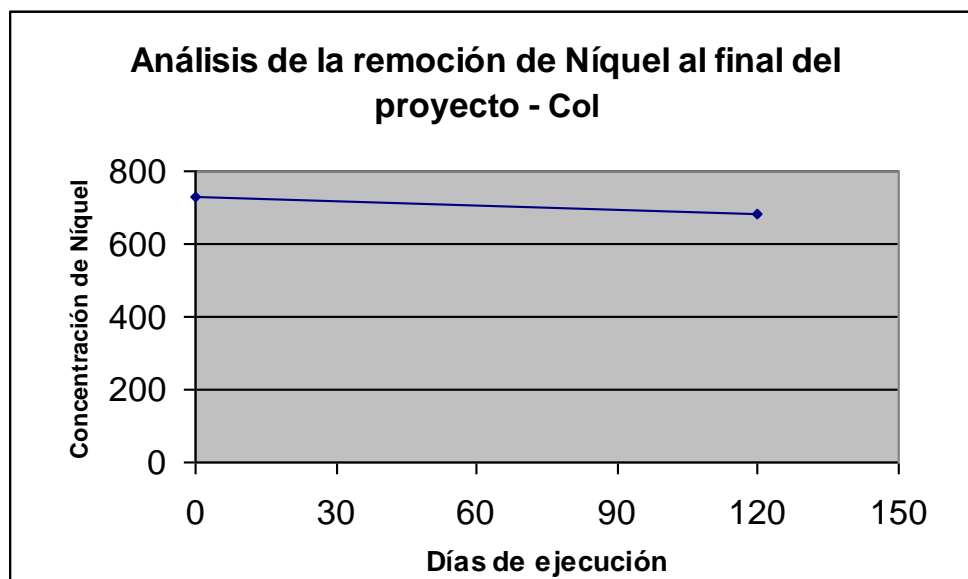
<b>COL</b>	
<b>Días (d)</b>	<b>[ ] Níquel (ppm)</b>
0	728
120	683

Los valores presentados en la tabla 3.7 son los resultados analizados y reportados por el laboratorio externo.

Al laboratorio externo se envió una muestra inicial del suelo reportando un valor de 728ppm. Al final al día número 120 (Abril del 2006) de ejecución del proyecto, se envía otra muestra reportando un valor de 683ppm.

El cuadro 3.5 permite representar y visualizar desde el inicio el efecto positivo de la Fitorremediación que si ha permitido disminuir al final del proyecto la concentración del metal pesado presente en el suelo.

**Cuadro 3.5.-** Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto – Col.



Al realizar una análisis comparativo de los valores de la concentración de Níquel al inicio y al final del proyecto se determina que se ha logrado una remoción leve del 6.18% del metal pesado presente en el

suelo, que representa una disminución de 45ppm al final del proyecto, empleando la metodología EPA 2571 para la detección de níquel en suelos.

Lo que ratifica con el análisis que se realiza más adelante con la determinación de concentración de Níquel en raíces.

De este análisis se desprende que la Fitorremediación de suelos que contengan altas concentraciones de Níquel es posible con la especie Col, si embargo aún persiste la incertidumbre de los porcentajes reales de remoción del Níquel por los problemas analizados de las metodologías utilizadas en el proyecto, que sin embargo podrán superarse con la definición de un nuevo programa de investigación de manera exclusiva. (**ANEXO M.-** Análisis finales de suelo – Col ).

Según los límites establecidos por el RAOHE para Níquel en suelos es de 100ppm, en esta fase del proyecto se ha logrado bajar la concentración inicial en 45ppm, razón por la cual la remoción de Níquel con la especie Col no es recomendable por sus bajos índices de remoción.

### **3.4.1.3. TOMATE.**

Durante la ejecución del Proyecto de Fitorremediación se ha procedido a analizar un total de 20 muestras de suelo sometido a Fitorremediación donde se sembró la especie Tomate para determinar la concentración de Níquel presente en cada uno de los monitoreos.

Se realizaron 4 monitoreos a los 60, 90 y 120 días de ejecución del proyecto, en cada uno se analizaron 5 muestras de suelo donde se sembró la especie Tomate, siendo el proceso de selección totalmente al azar y en una cantidad impar ya que estadísticamente se ha demostrado que la cantidad apropiada en un muestreo debe ser impar. **(Ver ANEXO Fotográfico – Tomate).**

En la tabla 3.8 se detallan los valores individuales de las concentraciones de Níquel en cada uno de los monitoreos y de manera global promediados de entre los valores de las concentraciones pertenecientes a cada uno de los monitoreos.



**Tabla 3.8-** Concentraciones de Níquel por cada monitoreo – Tomate.

<b>TOMATE</b>			
Concentración de Níquel (ppm)	<b>I Monitoreo</b>	<b>II Monitoreo</b>	<b>III Monitoreo</b>
	428	317	742
	575	461	766
	807	546	658
	624	434	724
	751	378	599
			385
	<b>Promedio</b>	<b>637 ppm</b>	<b>427,2 ppm</b>

La diferencia que existe entre la cantidad de análisis existentes entre los dos primeros monitoreos con el tercer monitoreo, se debe a que en el tercero se incluye el resultado del análisis de la concentración de Níquel que se envió al Canadá por el Laboratorio GRUNTEC.

El resultado reportado por GRUNTEC se lo introdujo en el tercer monitoreo para realizar la sumatoria y obtener el promedio global de la concentración de Níquel en el tercer monitoreo.

**Tabla 3.9.-** Concentraciones promedio de Níquel presente al número de días en cada monitoreo del Proyecto.

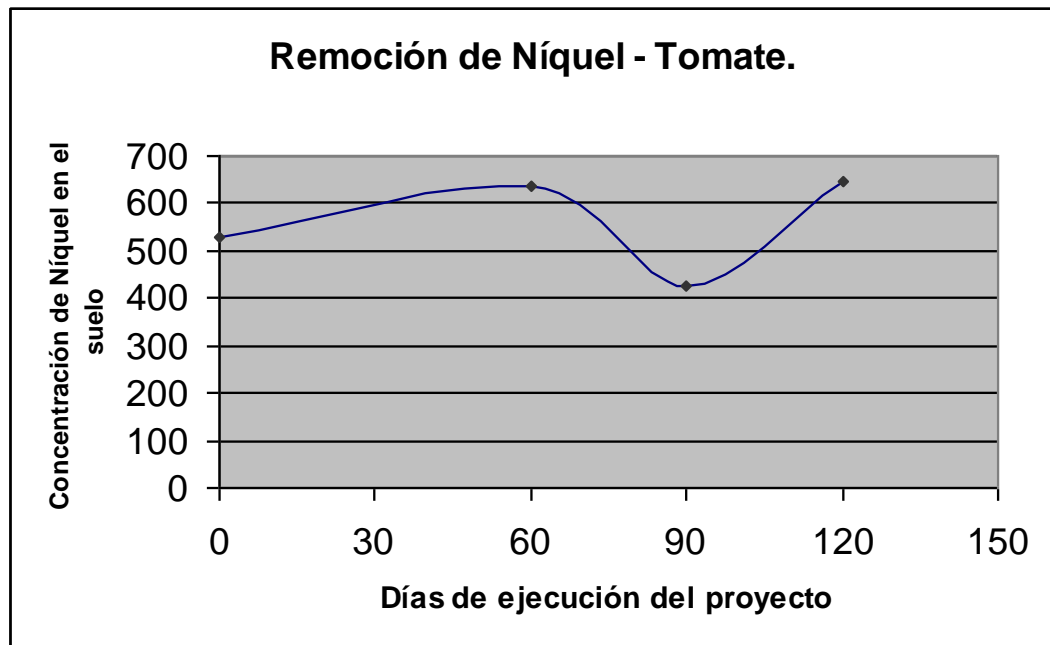
<b>TOMATE</b>	
<b>días (d)</b>	<b>Promedio de la [ ] de Ni (ppm)</b>
0	529
60	637
90	427,2
120	645,7

En la tabla 3.9 se detallan los valores promedio de las concentraciones de Níquel que se obtuvieron de entre los valores individuales que comprenden cada uno de los monitoreos con la especie Tomate, es decir desde la fase inicial que es el día número 0 (Diciembre del 2005) correspondiente al suelo inicial hasta el último día de ejecución del proyecto que es el día número 120 (Abril del 2006).

Con los datos presentados en la tabla 3.9 se construyó el cuadro 3.6, el cual representa la variación de la concentración de Níquel presente en el suelo con respecto al número de días de ejecución del proyecto,

los mismos que corresponden a cada uno de los monitoreos realizados durante el proyecto (0, 60, 90 y 120 días).

**Cuadro 3.6-** Remoción de Níquel – Tomate.



La representación gráfica del cuadro 3.6 aparentemente no es lo que se esperaba como resultado del proyecto de investigación ya que se inicia se con un valor de concentración de Níquel de 529ppm., y era de esperarse una curva decreciente.

Los resultados reportados luego del primer monitoreo a los 60 días de ejecución del proyecto tienden a elevarse dando un valor de la concentración de Níquel de 637ppm y sobrepasar al valor inicial de 529ppm, para en el segundo monitoreo a los 90 días de ejecución los

resultados demuestran que la disminución de la concentración de Níquel es de 427.2ppm bastante significativa con una tendencia a bajar la concentración existiendo en este monitoreo una remoción del 19.24% del metal pesado presente en el suelo y ya para la etapa final que se contabilizan 120 días de ejecución se esperaba que los resultados disminuyeran en la concentración del metal pesado presente en el suelo, pero los resultados finales llegaron a ser más altos que los valores de las concentraciones de los dos primeros monitoreos, evidentemente esto demostraba una incertidumbre en los análisis de laboratorio realizados.

Razón por la cual se decidió enviar nuevamente al laboratorio externo las muestras finales de suelo de la especie Tomate para realizar el último análisis y validar los resultados finales, una vez analizados se reportó que las concentraciones de Níquel al final del proyecto con la especie Tomate realmente si disminuyeron, por tal motivo se decidió introducir este último valor analizado y reportado por el laboratorio externo dentro del tercer monitoreo y realizar la sumatoria para obtener el promedio global del tercer y último monitoreo.

Además como se analizará mas adelante, se valida estos resultados con análisis de concentración en las raíces.

**Tabla 3.10.-** Concentración de Níquel en la etapa inicial y final del Proyecto, presentados por el laboratorio externo.

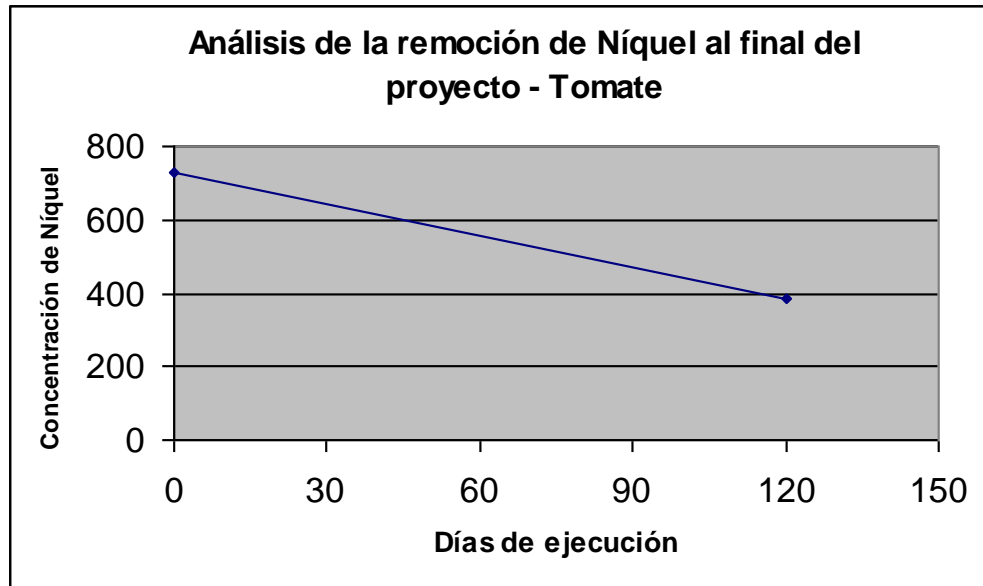
TOMATE	
Días (d)	[ ] Níquel (ppm)
0	728
120	385

Los valores presentados en la tabla 3.10 son los resultados analizados y reportados por el laboratorio externo.

Al laboratorio externo se envió una muestra inicial del suelo reportando un valor de 728ppm. Al final al día número 120 (Abril del 2006) de ejecución del proyecto, se envía otra muestra reportando un valor de 385ppm.

El cuadro 3.7 permite representar y visualizar desde el inicio el efecto positivo de la Fitorremediación que si ha permitido disminuir al final del proyecto la concentración del metal pesado presente en el suelo.

**Cuadro 3.7.-** Análisis de la remoción de Níquel al final del proyecto – Tomate.



Al realizar un análisis comparativo de los valores de la concentración de Níquel al inicio y al final del proyecto se determina que se ha logrado una remoción muy considerable del 47.12% del metal pesado presente en el suelo, que representa una disminución de 343ppm al final del proyecto, empleando la metodología EPA 2571 para la detección de níquel en suelos.

Lo que ratifica con el análisis que se realiza más adelante con la determinación de concentración de Níquel en raíces.

De este análisis se desprende que la Fitorremediación de suelos que contengan altas concentraciones de Níquel es posible con la especie Tomate, si embargo aún persiste la incertidumbre de los porcentajes reales de remoción del Níquel por los problemas analizados de las metodologías utilizadas en el proyecto, que sin embargo podrán

superarse con la definición de un nuevo programa de investigación de manera exclusiva. (**ANEXO N.-** Análisis finales de suelo – Tomate).

Según los límites establecidos por el RAOHE para Níquel en suelos es de 100ppm, en esta fase del proyecto se ha logrado bajar la concentración inicial en 343ppm, siendo necesario establecer repeticiones con esta especie para llegar a las concentraciones permitidas por el RAOHE.

#### **3.4.2. ANÁLISIS DE LA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN LAS RAICES.**

Debido a la incertidumbre descritas en este capítulo y poder mejorar los resultados de la investigación se procedió a analizar las raíces de las plantas de cada una de las especies del control y las sometidas a fitorremediación, para comparar entre las concentraciones de Níquel en las raíces de las plantas del control (sembradas en el suelo orgánico virgen de la zona) y las plantas sometidas a fitorremediación (sembradas en el suelo contaminado con hidrocarburos), así se determinó el porcentaje de presencia del Níquel en cada una de las raíces de las 3 especies fitorremediadoras en función del control, como se analiza más adelante.

### 3.4.2.1. GIRASOL.

En la etapa final del proyecto se procedió a recolectar respectivamente las raíces de 5 plantas de la especie Girasol correspondiente a las raíces de las plantas del control y las raíces de las plantas sometidas a Fitorremediación, en una cantidad aproximada de 500grs. **(Ver ANEXO Fotográfico – Raíz Girasol)**

El análisis de las raíces se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Central, en el departamento de Medio Ambiente, utilizando el método de acenización (CHAPMAN. D., PRATT. P. 1997) y lectura a través de absorción atómica.

En la tabla 3.11 se detalla los resultados presentados por el laboratorio para la especie Girasol, en el cual se reporta a la especie del control (Control – G1) con una concentración del Níquel de 7.36ppm y a la especie sometida a fitorremediación (Fito – G2) con una concentración del Níquel de 175.79ppm.

**Tabla 3.11.-** Resultados de los análisis en raíz – Girasol.

<b>GIRASOL</b>		
<b>N° de días</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>[ ] Níquel (ppm)</b>
120	Control – G1	7,36
120	Fito – G2	175,79



Por los resultados del análisis se demuestra claramente que en las raíces de las plantas sometidas a fitorremediación se produjo una gran absorción del metal pesado con respecto a las raíces de las plantas sembradas en el control.

Esto permite ver la diferencia que existe entre las concentraciones de Níquel presentes en las raíces del control y en las raíces sometidas a Fitorremediación.

Estos valores representan un incremento de concentración de Níquel en las raíces del 2288% por el efecto del proceso de Fitorremediación.

**(ANEXO O.- Análisis de raíz – Girasol. )**

Estos resultados ratifican que la fitorremediación con la especie Girasol es efectiva para la remoción de Níquel en suelos contaminados con hidrocarburos, determinándose consecuentemente su viabilidad, aunque queda por investigar más detalladamente la dinámica de remoción y otros elementos que puedan considerarse.

#### **3.4.2.2. COL.**

En la etapa final del proyecto se procedió a recolectar respectivamente las raíces de 5 plantas de la especie Col correspondiente a las raíces de las plantas del control y las raíces de las plantas sometidas a fitorremediación, en una cantidad aproximada de 500grs. **(Ver ANEXO Fotográfico – Raíz Col)**

El análisis de las raíces se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Central, en el departamento de Medio Ambiente, utilizando el método de acenización (CHAPMAN. D., PRATT. P. 1997) y lectura a través de absorción atómica.

En la tabla 3.12 se detalla los resultados presentados por el laboratorio para la especie Col, en el cual se reporta a la especie del control (Control – C1) con una concentración del Níquel de 3.47ppm y a la especie sometida a fitorremediación (Fito – C2) con una concentración del Níquel de 103.98ppm.

**Tabla 3.12.-** Resultados de los análisis en raíz – Col.

<b>COL</b>		
<b>N° de días</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>[ ] Níquel (ppm)</b>
120	Control - C1	3,47
120	Fito - C2	103,98

Por los resultados del análisis se demuestra claramente que en las raíces de las plantas sometidas a fitorremediación se produjo una gran absorción del metal pesado con respecto a las raíces de las plantas sembradas en el control.

Esto permite ver la diferencia que existe entre las concentraciones de Níquel presentes en las raíces del control y en las raíces sometidas a Fitorremediación.

Estos valores representan un incremento de concentración de Níquel en las raíces del 2896% por el efecto del proceso de Fitorremediación.

**(ANEXO P.- Análisis de raíz – Col)**

Estos resultados ratifican que la fitorremediación con la especie Col es efectiva para la remoción de Níquel en suelos contaminados con hidrocarburos, determinándose consecuentemente su viabilidad, aunque queda por investigar más detalladamente la dinámica de remoción y otros elementos que puedan considerarse.

#### **3.4.2.3. TOMATE.**

En la etapa final del proyecto se procedió a recolectar respectivamente las raíces de 5 plantas de la especie Tomate correspondiente a las raíces de las plantas del control y las raíces de las plantas sometidas a Fitorremediación, en una cantidad aproximada de 500grs. **(Ver ANEXO Fotográfico – Raíz Tomate)**

El análisis de las raíces se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Central, en el departamento de Medio Ambiente, utilizando el método de acenización (CHAPMAN. D., PRATT. P. 1997) y lectura a través de absorción atómica.

En la tabla 3.13 se detalla los resultados presentados por el laboratorio para la especie Tomate, en el cual se reporta a la especie del control (Control – T1) con una concentración del Níquel de 8.03ppm y a la especie sometida a fitorremediación (Fito – T2) con una concentración del Níquel de 19.29ppm.

**Tabla 3.13.- Resultados de los análisis en raíz – Tomate.**

<b>TOMATE</b>		
<b>N° de días</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>[ ] Níquel (ppm)</b>
120	Control - T1	8,03
120	Fito - T2	19,29

Por los resultados del análisis se demuestra claramente que en las raíces de las plantas sometidas a fitorremediación se produjo una absorción del metal pesado con respecto a las raíces de las plantas sembradas en el control.

Por los resultados del análisis se demuestra claramente que en las raíces de las plantas sometidas a fitorremediación se produjo una gran absorción del metal pesado con respecto a las raíces de las plantas sembradas en el control.

Esto permite ver la diferencia que existe entre las concentraciones de Níquel presentes en las raíces del control y en las raíces sometidas a Fitorremediación.

Estos valores representan un incremento de concentración de Níquel en las raíces del 140% por el efecto del proceso de Fitorremediación.

**(ANEXO Q.- Análisis de raíz – Tomate. )**

Estos resultados ratifican que la fitorremediación con la especie Tomate es efectiva para la remoción de Níquel en suelos contaminados con hidrocarburos, determinándose consecuentemente su viabilidad, aunque queda por investigar más detalladamente la dinámica de remoción y otros elementos que puedan considerarse.

La diferencia que existe en la remoción de Níquel por las raíces entre el Girasol y Col, con respecto al Tomate puede haberse dado debido a que esta especie absorbió el metal pesado del suelo y lo transportó hacia otros tejidos u órganos de las plantas.

## **CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **4.1. CONCLUSIONES.**

- ✓ La Fitorremediación siendo una técnica nueva en el país, atractiva y que puede ser económicamente rentable, es un método aplicable y viable para la remoción de Níquel en suelos contaminados con hidrocarburos, especialmente por que se puede trabajar con especies menores de corto período de vida.
  
- ✓ El porcentaje de remoción de Níquel puede variar entre una y otra especie, debido a varios factores que no fueron investigados como: fisiología de la planta, metabolismo, época del año de la siembra, condiciones de crecimiento de cada especie, condiciones geoclimáticas de la zona donde se desarrolla el proyecto y requerimiento de nutrientes de cada especie, pero pueden ser investigados y ser fuente de futuras investigaciones
  
- ✓ Se ha determinado que las tres especies escogidas para el proyecto de investigación han producido la remoción y disminución de la concentración del Níquel presente en el suelo con el siguiente orden decreciente: Tomate 47.12%, Girasol 22.94% y Col 6.18%, en cuanto se refiere a eficiencia de remoción presentados por el Laboratorio Gruntec.
  
- ✓ Los análisis de la concentración de Níquel en las raíces de las plantas investigadas permitió demostrar y aclarar más aún que la Fitorremediación es una técnica viable para la remoción de

Níquel, en suelos contaminados con hidrocarburos, tratados con el sistema de Biorremediación.

- ✓ Es fundamental que los laboratorios en el Ecuador deban contar con el Sistema de Gestión de Calidad y así acreditar sus metodologías realizar análisis de metales pesados particularmente en suelo esto permitirá disponer de técnicas de laboratorio fiables y consecuentemente que puedan realizarse con un mejor soporte tecnológico.

#### **4.2. RECOMENDACIONES.**

- ✓ Promover una investigación adicional para entender de manera más clara la movilidad del metal y las interacciones

que existen entre el metal pesado(Níquel) con los tejidos y órganos de la planta, así poder establecer de manera adecuada el sitio donde se acumula más el metal pesado.

- ✓ Realizar la repetición en varios ciclos de esta investigación trabajando con una sola especie (p.e.j. Girasol) sembrando las plantas en espacios más reducidos, con monitoreos cada 30 días con mayor número de repeticiones en cada uno, se utilizará esta especie ya que es de ciclo corto, no es comestible directamente, fácil de incinerar y remueve al metal pesado del suelo en un porcentaje considerable.
- ✓ Ensayar el Proyecto de Fitorremediación con plantas nativas de la zona que estén dentro de las familias hiperacumuladoras de metales pesados o que presenten alguna descendencia.
- ✓ Realizar los monitoreos en forma más continua con más repeticiones de análisis de las muestras de suelo y complementar con los análisis de tejido vegetal de las plantas investigadas ya que estos análisis permitirán establecer porcentajes de remoción del metal pesado y sitios de localización en la planta.
- ✓ Existe poca información publicada, sin embargo, el uso de la fitorremediación en sitios contaminados por hidrocarburos es muy eficaz por lo cual es muy importante desarrollando este



tipo de proyectos para crear más alternativas para la recuperación de sitios contaminados.

## **CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA y REFERENCIAS**

### **BIBLIOGRÁFICAS.**

#### **5. BIBLIOGRAFÍA.**

1. Anderson, T.A. and Walton, B. T. 1993. Bioremediation in the Rhizosphere. Lewis Publishers. Toronto – Canadá.
2. Anderson, T.A., Hoylman J. M., Edwards N.T. and Walton B.T.. 1997. Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons by vegetation: A comparison of experimental methods. Lewis Publishers. Toronto - Canadá.
3. Banks, M. K., and Schwab, A.P. 1993. The Benefits of Vegetation in the Bioremediation of Hydrocarbons: Magazine. Air and Waste Management 93.
4. Casseres, E. 2000. Producción de Hortalizas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Editorial IICA. San José - Costa Rica. p. 165 – 179.

5. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 1999 Guía Técnica Programa de Hortalizas y Frutales, Cultivo de Tomate. Lima, Perú.
6. Chapman, H.D., and Pratt. P.F. 1997. Métodos de Análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México – México.
7. Cookson, H. T. 1995. Bioremediation Engineering: Design and Application. Ed. McGraw-Hill. Toronto – Canadá.
8. Cunningham, S. D. and Berti, W. R. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: Magazine. In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant.
9. Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. and Hsu, F. C. 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Magazine. Advances in Agronomy.
10. Davis, L.C., Erickson, L.E., Lee E., Shimp, J.F. and Tracy, J.C.. 1993. "Effects of Plants on the Bioremediation of Contaminated Soil and Ground Water ". Ed. Prentice Hall. USA.
11. Dimitri, M.J. 1998. Enciclopedia de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Volumen II. 3era Edición. Editorial ACME. Buenos Aires – Argentina.

12. Erickson, L.E., Banks, M.K., Davis, L.C., Schwab, A.P., Reilley, K. and Tracy, J.C. 1994. "Using Vegetation to Enhance In Situ Bioremediation". Vol. 13. Ed. McGraw Hill. Ohio – USA.
13. Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. and Schroeder, E. D. 1998. *Bioremediation Principles*. Ed. McGraw-Hill. Ohio – USA.
14. Giaconi, V., M. Escaff. 1997. Cultivo de hortalizas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Editorial Universitaria. Santiago de Chile – Chile.
15. Gleba, A.D, Borisjuk, N.V, Borisjuk, G.L. 1999. Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming. Ed. Prentice Hall. Second edition. Iowa – USA.
16. Krarup, C. y Moreira, I. 1998. Hortalizas. Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 1era Edición. Santiago de Chile – Chile. Editorial Universitaria.
17. Shimp, J.F., Tracy, J.C, Davis, L.C., Lee, E., Huang, W. and Erickson, L.E. 1993. "Beneficial Effects of Plants in the Remediation of Soil and Groundwater Contaminated with Organic Materials" . Ed., McGraw Hill. Ohio – USA.

18. Silveira J. M. Y Durán J. M.. 2000. El cultivo del girasol. Universidad Politécnica de Madrid. Edición Eumedia, S.A. Madrid – España.
19. Steven A. Rock. 1997. Introduction to Phytoremediation. The Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. Second Edition, Harry Freeman ed., McGraw Hill. Ohio – USA.
20. The Metallurgical Society. 1998. Extractive metallurgy of Nickel & Cobalt. Edited by G.P. Tyröler and C.A. Londolt. Pennsylvania – United States of America.
21. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. A Citizen's Guide to Natural Attenuation - Technology Fact Sheet. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 542-F-96-015.
22. Van Haeff, JNM.2001. Tomates, producción vegetal. Editorial Trillas. México – México.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELECTRÓNICAS.**

AGROIMPULSO 2000. BUENOS AIRES – ARGENTINA:

<http://www.agroimpulso.com.ar>

BIOTECHNOLOGY INDUSTRY ORGANIZATION:

<http://www.bio.org>

Field study protocol for the phytoremediation of petroleum hydrocarbons in soil out together by the Phytoremediation Action Team:

<http://www.rtdf.org/public/phyto/protocol.htm>

INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYTOREMEDIATION:

<http://www.aehs.com/phytohome.htm>

MINISTERIO DE ENERGÍA y MINAS – ECUADOR:

<http://www.menergía.gov.ec>

PHYTONET PHYTOREMEDIATION ELECTRONIC NEWSGROUP NETWORK:

<http://www.dsa.uunipr.it/phytonet/>

REMEDICATION TECHNOLOGIES DEVELOPMENT FORUM (RTDF):

<http://www.rtdf.org/public/phyto/>

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY:

<http://www.epa.gov>

### **ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.**

Giordani C, Cecchi S, Zanchi C. Phytoremediation of Soil Polluted by Nickel using Agricultural crops. October 2005. Instituto Agronómico per l'Oltremare, Via A. Cocchi, Florence – Italy.

Eapen S, D'Souza S.F. Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. March 2005. Nuclear Agriculture and

Biotechnology División, Bhabha Atomic Research Centre. Mumbai - India.

Cheng S. Heavy metals in plants and phytoremediation. 2003. Institute of hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences. Wuhan – P.R. China.

Naturforsch Z. Using hyperaccumulator plants to phytoextract soil Ni and Cd. March 2005. USDA-Agricultural Research Service. Maryland – USA

## 5.1. GLOSARIO TÉCNICO.

### A

**Absorción.-** Integración de moléculas o sustancias en un todo en que no se puede diferenciar las partes originales individualmente.

**Adsorción.-** Adhesión superficial de sustancias o moléculas en que los componentes no llegan a mezclarse.

**Agente quelante.-** Compuesto orgánico cuyos átomos forman más de un enlace de coordinación con metales que se encuentran en solución.

**Antrópico.-** De origen humano o de las actividades del hombre.

### B

**Biodisponibilidad.-** Capacidad fisiológica de absorción de un compuesto, que depende de su estructura química, del tamaño de la

partícula, de su solubilidad en agua y en lípidos, y del grado de nutrición del organismo.

## **C**

**Capítulo.-** Inflorescencia compuesta de flores sésiles sobre un disco ancho.

**Catalizador.-** Un catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción química sin gastarse en el proceso, por lo que, en condiciones ideales, al final se recupera inalterado.

**Colénquima.-** Se llama colénquima a un conjunto de tipos celulares que tienen en común: 1. Ser células vivas. 2. Tener una pared primaria parcialmente engrosada. 3. Situación subepidérmica en los tallos primarios.

**Contaminación.-** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

**Contaminante.-** Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

## **D**

**Degradación.-** Pérdida de las características que le daban valor a algo (devaluación); descomposición, transformación y pérdida del valor original de un recurso.

**Dehiscente.-** Que se abre después de la madurez.

**Dilución.-** Aumento de la proporción de disolvente con respecto a soluto en un disolución con lo que se disminuye la concentración del soluto por unidad de volumen.

**Disolución.-** Fase homogénea única Líquido, Sólido o Gas que es una mezcla en la que sus componentes (Líquido, Sólido o Gas o combinaciones de ellas) están uniformemente distribuidas.

**Dispersión.-** Distribución de partículas finamente divididas en un medio.

**Distal.-** Parte alejada u opuesta del punto de origen.

## **E**

**Escala de Mohs.-** La escala la desarrolló Friedrich Mohs, hace aproximadamente 200 años. La escala de dureza de Mohs se mide en una escala del 1 al 10. Los minerales más suaves tienen números bajos y los más duros, números elevados.

**Espermatofito.-** Planta con semillas.

**Exudado.-** es una sustancia que sale por las hojas, flores, frutos, tallo, ramas u otras partes de algunas plantas, con o sin necesidad de hacerles una incisión; tampoco se requiere su extracción o muerte.

## **F**



**Fototoxicidad.-** Reacción adversa, fundamentalmente en la piel ocasionada al actuar la luz sobre xenobióticos absorbidos que se transforman en compuestos reactivos citotóxicos.

## **G**

**Glabra.-** Desprovisto absolutamente de pelos.

## **H**

**Hermafrodita.-** Con los dos sexos. Bisexual. Flor con ambos sexos.

**Hidrocarburo.-** Uno de los más grandes grupos de compuestos químicos constituidos tan sólo por Carbono e Hidrógeno, la mayor fuente de Hidrocarburos es el crudo del petróleo.

**Hidrófobo.-** Que carece de afinidad por el repele, no absorbe, ni adsorbe agua.

**Humificación.-** Proceso mediante el cual el carbono procedente de los residuos orgánicos es transformado y convertido en sustancias húmicas por procesos bioquímicos y abióticos.

## **I**

**Imbibición.-** Adsorción de líquidos o vapores en los espacios ultramicroscópicos o poros que se encuentran en la celulosa o un bloque de gelatina; es un fenómeno de adsorción.

**Inflorescencia.-** Agrupación, grupo de flores en un o más talamos. Conjunto de ejes ramificados donde están las flores.

**Ion.-** Átomo o molécula que tiene una carga positiva o negativa, debido a que el número de electrones no es igual al número de protones.

## **L**

**Lámina.-** Parte expandida y aplanada o ensanchada de la hoja.

**Latencia.-** Estado en el cual se reduce la actividad fisiológica.

**Limbo.-** Sinónimo de lámina.

**Lóbulo.-** Parte o división más larga que ancha y con ápice redondeado.

## **M**

**Metales pesados.-** Son metales químicamente con una densidad superior a 4,5 gramos por cada centímetro cúbico y alta masa atómica como el cobre, cadmio, mercurio, cromo, plomo, etc.

## **N**

**Necrosis.-** Muerte masiva de áreas de tejido rodeadas de zonas sanas.

## **P**

**Parénquima.-** Tejido compuesto de células que comúnmente tienen paredes delgadas; lugar donde se llevan a cabo la mayoría de los

procesos esenciales como la fotosíntesis, la secreción y el almacenamiento.

**Pecíolo.-** Eje de la hoja que sostiene a la lámina o eje que sostiene a los folíolos al tallo.

**Polinización.-** Transferencia del polen de un estambre a un estigma.

**Primordio.-** El comienzo u origen de cualquier parte de un órgano.

## R

**Recalcitrante.-** Resistente al ataque microbiano.

**Receptáculo.-** Extremo del pedúnculo que constituye el asiento de las diversas flores de un capítulo.

**Rizosfera.-** Zona de interacción entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo. Normalmente ocupa entre unos cuantos milímetros o algunos centímetros de la raíz. Esta región se caracteriza por el aumento de la biomasa microbiana y de su actividad.

## S

**Senescencia.-** acción y efecto de envejecer.

**Silicua.-** Fruto capsular dehiscente linear con dos carpelos que se abren en valvas y deja ver un tabique persistente. Típico en las crucíferas.

**Simpoidal.-**

**Suelo.-** se define como el conjunto de cuerpos naturales originados a partir de materiales minerales y orgánicos que contienen materia viva, y que pueden soportar vegetación en forma natural.

**Surfactante.-** Cualquier sustancia o producto que reduce la tensión interfacial entre dos superficies en contacto. Su denominación proviene de la contracción de las palabras inglesas "surface active agents".

## **T**

**Tálamo.-** Porción axial en el que se asientan los diversos verticilios de una flor. Receptáculo.

**Tálamo.-** Porción axial en que se asientan los diversos verticilios de una flor.

**Turgencia.-** Acción y efecto de hincharse, como consecuencia de la absorción de agua por ósmosis.

## **V**

**Valva.-** Cada una de las secciones en las que se divide una cápsula de un fruto dehiscente.

**Verticilio.-** Conjunto de hojas modificadas que forman la flor. Cada ciclo vegetativo de la flor.

## **5.2. APÉNDICES.**

**APÉNDICE I.-** Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE).

**Tabla 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.**

Los límites permisibles a aplicarse en un proyecto determinado dependen del uso posterior a darse al suelo remediado, el cual constará en el respectivo Programa o Proyecto de Remediación aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental.

De presentar los suelos naturales (no contaminados) del área concentraciones superiores a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores del respectivo parámetro hasta este nivel, siempre que se haya comprobado este fenómeno estadísticamente a través de un monitoreo de suelos no perturbados ni influenciados en el mismo área.

El monitoreo consistirá de una caracterización inicial del sitio y/o material a remediarse, un monitoreo de por lo menos un muestreo con los respectivos análisis cada seis meses, y una caracterización final una vez concluidos los trabajos. Dependiendo de la tecnología de remediación aplicada, la frecuencia del monitoreo será mayor, conforme al Programa o Proyecto de Remediación aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental:

Parámetro	Expresado en	Unidad <sup>1)</sup>	Uso agrícola <sup>2)</sup>	Uso industrial <sup>3)</sup>	Ecosistemas sensibles <sup>4)</sup>
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Niquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

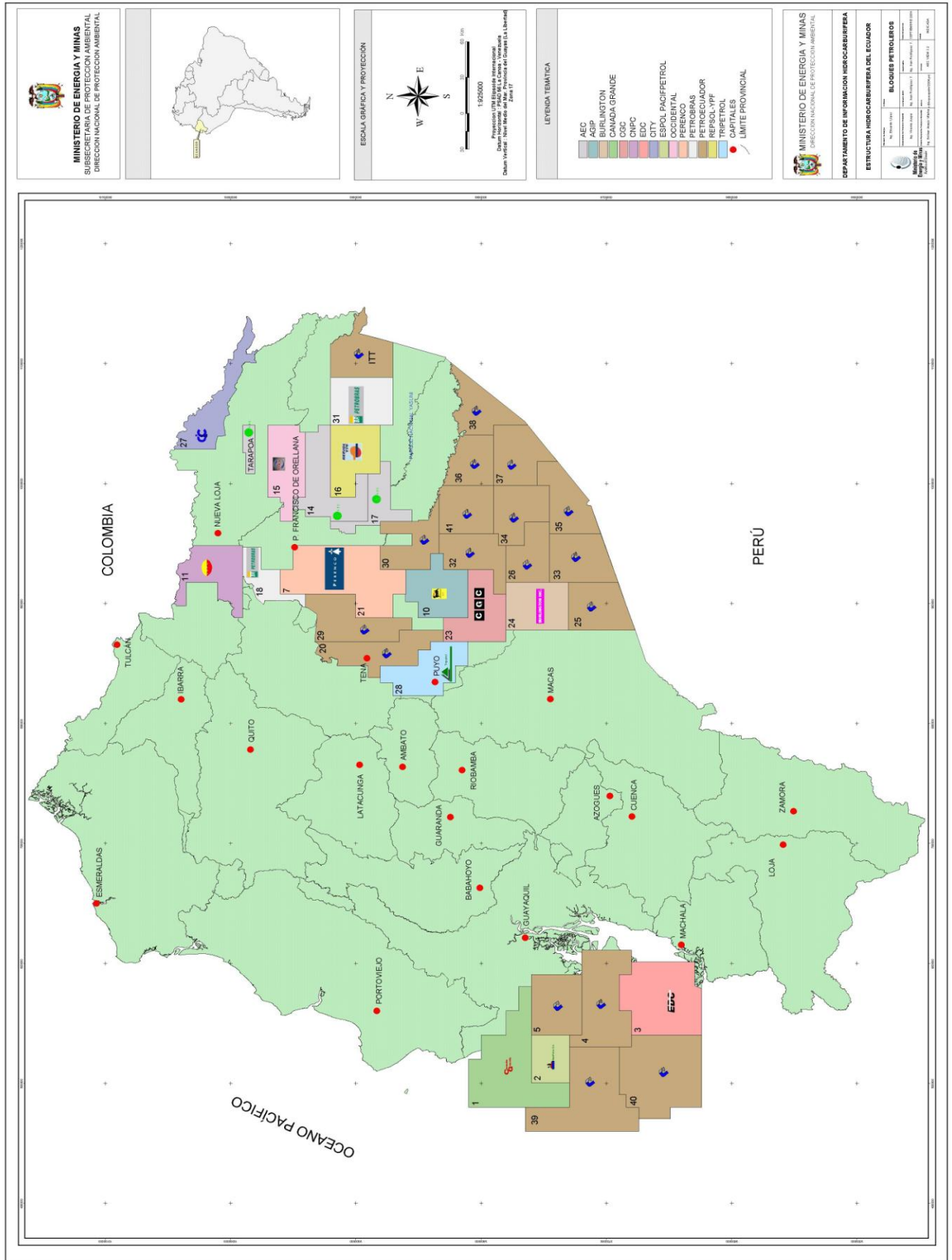
<sup>1)</sup> Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas).

<sup>2)</sup> Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.

<sup>3)</sup> Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.).

<sup>4)</sup> Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como Patrimonio Nacional de Áreas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental.

## APÉNDICE II.- Mapa de ubicación del Bloque 10.



**APÉNDICE III.-** Análisis de crudo AGIP Oil.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 1241  
 Fecha: 2006-01-18

Cliente: Ing. Stalin Heredia  
 Empresa: AGIP OIL B.V.  
 Dirección: NNUU Y AMAZONAS  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Identificación de la muestra: CRUDO  
 Descripción de la muestra: MUESTRA CONTENIDA EN ENVASE PLÁSTICO.  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-12-2005  
 Código de la muestra: CRUDO AGIP OIL  
 Fecha de realización de ensayos: Del 15 de Diciembre del 2005 al 9 de Enero del 2006.

DETERMINACION	UNIDADES	NORMA	RESULTADO
Agua por destilación	%V	ASTM D-4006	0,2
Asfaltenos en C7	% P	ASTM D-3279	41,63
Azufre	% P	ASTM D-129	2,2918
Calcio	mg/kg	ASTM D-5056	59,39
Carbón Conradson	% P	ASTM D-189	9,5
Carbón Ramsbottom	%P	ASTM D-524	8,9
Densidad API		ASTM D-287	19,8
Densidad Relativa a 60/60°F		ASTM D-1298	0,9352
Factor de caracterización Kuop		UOP 375	11,5
Hierro	mg/kg	ASTM D-5056	153,12
Níquel	mg/kg	ASTM D-5056	15,21
Nitrógeno Básico	%	UOP 813	0,010
Nitrógeno Total	%	ASTM D-4629	0,21
Plomo	mg/kg	ASTM D-5056	1,33
Potasio	mg/kg	ASTM D-5056	11,21
Punto de inflamación	°C	ASTM D-92	21
Presión de vapor Reid	lb/plg <sup>2</sup>	ASTM D-323	1,43
Punto de Vertido	°C	ASTM D-97	-15
Sedimento básico y agua	%V	ASTM D-4007	0,23
Sedimentos por extracción	%P	ASTM D-473	0,0688
Sodio	mg/kg	ASTM D-5056	21,32
Vanadio	mg/kg	ASTM D-5056	49,63

Observaciones: el color ASTM es un ensayo que aplica a hidrocarburos claros.

Revisado y Aprobado por

Ing. Luis Calle  
 RESPONSABLE TÉCNICO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGA AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: ujo.uc@andinet.com  
 QUITO - ECUADOR

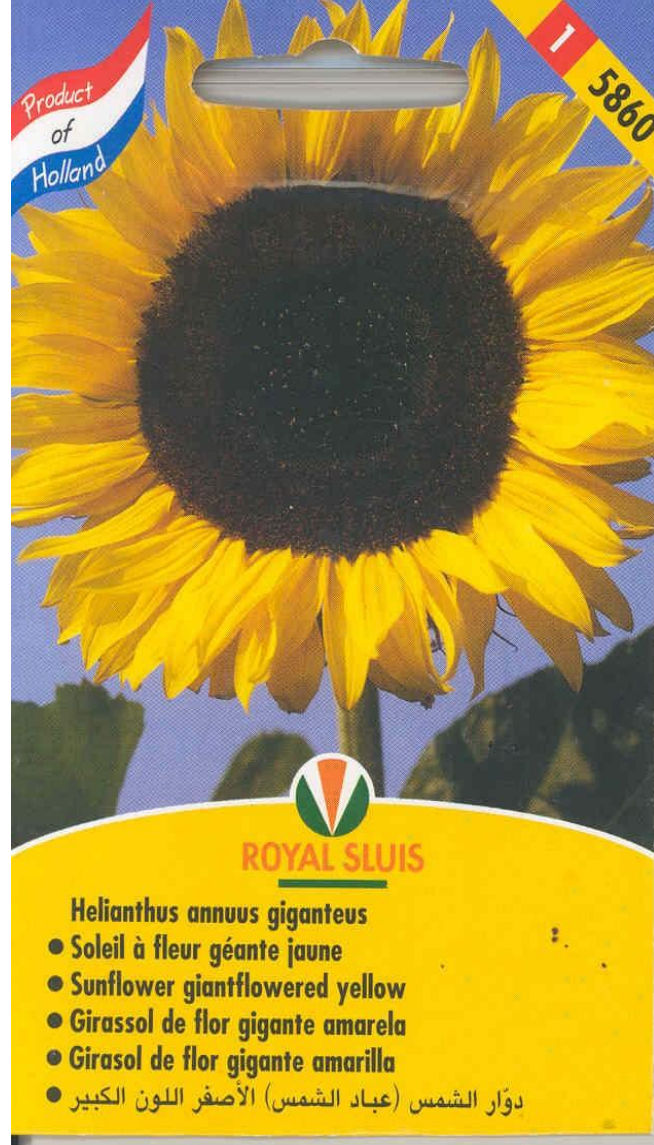
MC2201-P-1

Hoja 1 de 2

**5.3. ANEXOS.**

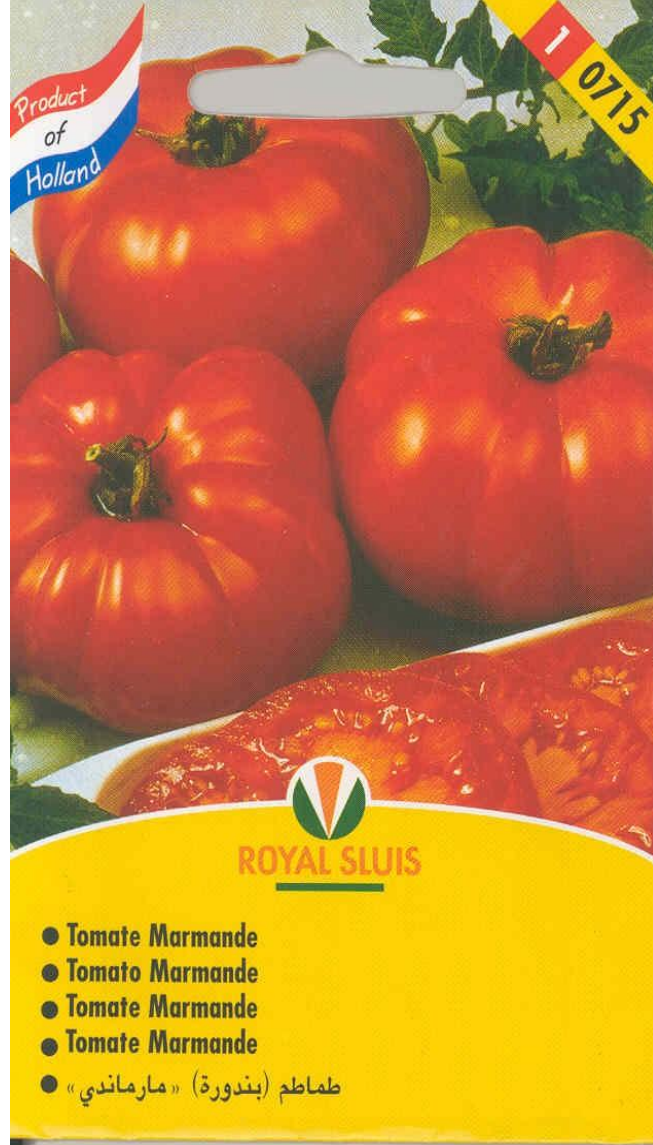


**ANEXO A.- Semillas de Girasol.**

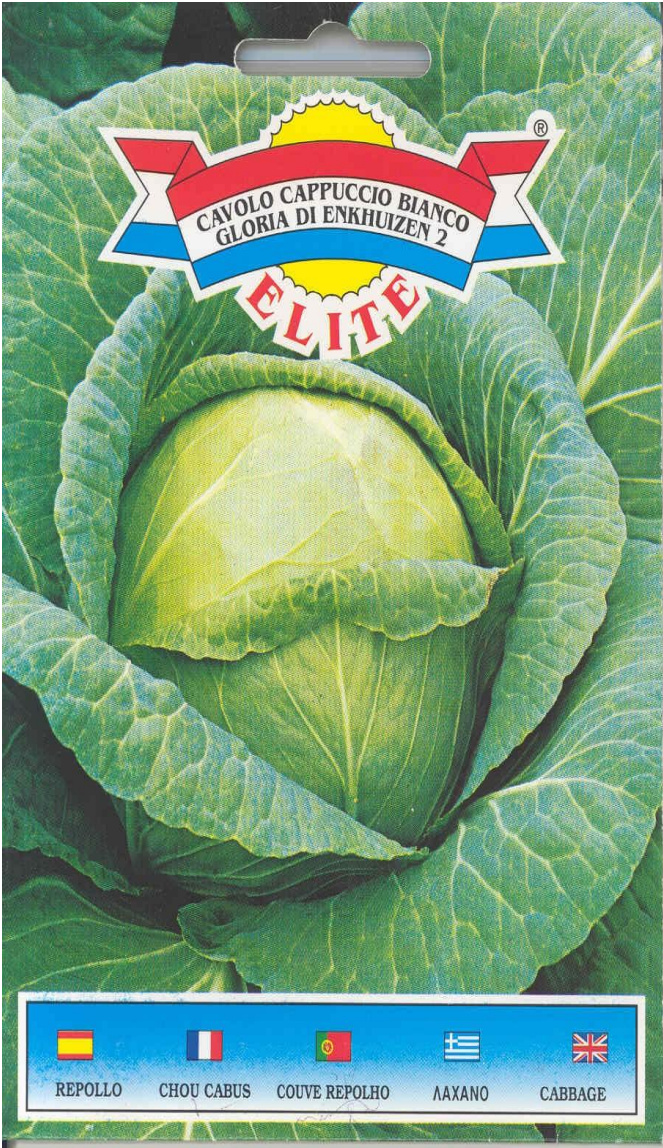




**ANEXO B.- Semillas de Tomate.**



**ANEXO C.- Semillas de Col.**



**ANEXO D.- Emplazamiento.**





**ANEXO E.- Construcción del vivero**





**ANEXO F.- Construcción de platabandas.**





**ANEXO G.-** Preparación del suelo.











**ANEXO I.-** Datos de la estación metereológica – CPF.

<b>ESTACION CPF AGIP OIL ECUADOR: LAT.01° 22' 56" S, LON:77° 45" W, ALT.,.1030m</b>										
<b>Month</b>	<b>Air_Temp Media ° C</b>	<b>Air_Temp Max ° C</b>	<b>Air_Temp Min ° C</b>	<b>Hum_Rel Media %</b>	<b>Hum_Rel Max %</b>	<b>Hum_Rel Min %</b>	<b>Precip Mensual mm.</b>	<b>Vel_Vien Media m/s</b>	<b>Vel_Vien Max m/s</b>	<b>Vel_Vien Min m/s</b>
<b>Oct-05</b>	-53,50	-53,50	-53,50	89,95	98,49	62,95	305	0,29	4,23	0,00
<b>Nov-05</b>	21,13	25,60	18,29	90,22	98,29	66,84	378	0,33	3,99	0,00
<b>Dic-05</b>	20,28	25,30	15,46	90,20	98,43	62,53	320	0,31	4,48	0,00
<b>Promedio</b>	<b>-4,03</b>	<b>-0,87</b>	<b>-6,58</b>	<b>90,12</b>	<b>98,40</b>	<b>64,11</b>	<b>334,44</b>	<b>0,31</b>	<b>4,23</b>	<b>0,00</b>

<b>ESTACION CPF AGIP OIL ECUADOR: LAT.01° 22' 56" S, LON:77° 45" W, ALT.,.1030m</b>										
<b>Month</b>	<b>Air_Temp Media ° C</b>	<b>Air_Temp Max ° C</b>	<b>Air_Temp Min ° C</b>	<b>Hum_Rel Media %</b>	<b>Hum_Rel Max %</b>	<b>Hum_Rel Min %</b>	<b>Precip Mensual mm.</b>	<b>Vel_Vien Media m/s</b>	<b>Vel_Vien Max m/s</b>	<b>Vel_Vien Min m/s</b>
Jan-06	20.11	24.94	17.21	90.28	98.36	65.79	280.50	0.31	4.29	0.00
Feb-06	20.53	25.22	15.76	90.46	98.16	63.30	367.10	0.27	4.50	0.00
Mar-06	20.27	24.91	15.86	90.60	98.21	63.90	335.60	0.29	5.06	0.00
<b>Promedio</b>	<b>20.30</b>	<b>25.02</b>	<b>16.28</b>	<b>90.45</b>	<b>98.24</b>	<b>64.33</b>	<b>327.73</b>	<b>0.29</b>	<b>4.62</b>	<b>0.00</b>

**ANEXO J.- Monitoreo de las plantas.**

**PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"**

<b>Fecha de siembra:</b> 03 de diciembre 2005
<b>Fecha de control:</b> 01 de febrero 2006
<b>Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control:</b> 60

<b>Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	70
<b>Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	28

<b>CONTROL</b>			
1	X	X	2
3	X	X	4
5	X	X	6
7	X	X	8
9	X	X	10
11	X	X	12
13	X	X	14
15	X	X	16
17	X	X	18
19	X	X	20
21	X	X	22
23	X	X	24

		<b>GIRASOL</b>	<b>COL</b>	<b>TOMATE</b>
<b>N° Hojas</b>	<b>X</b>	4	5	3
<b>DT ( cm )</b>	<b>X</b>	0,3	0,4	0,3
<b>Altura ( cm )</b>	<b>X</b>	21,4	8,9	8,3

**PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL  
EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"**

<b>Fecha de siembra:</b> 03 de diciembre 2005
<b>Fecha de control:</b> 01 de febrero 2006
<b>Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control:</b> 60

<b>Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	70
<b>Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	28

**Girasol, Col y Tomate**

1	X	X	2	
3	X	X	4	
5	X	X	6	
7	X	X	8	
9	X	X	10	
11	X	X	12	
13	X	X	14	
15	X	X	16	
17	X	X	18	
19	X	X	20	
21	X	X	22	
23	X	X	X	24

25

		<b>GIRASOL</b>	<b>COL</b>	<b>TOMATE</b>
<b>N° Hojas</b>	<b>X</b>	10	7	7
<b>DT ( cm )</b>	<b>X</b>	0,5	0,4	0,4
<b>Altura ( cm )</b>	<b>X</b>	65,8	9,6	23,3

## PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"

<b>Fecha de siembra:</b> 03 de diciembre 2005
<b>Fecha de control:</b> 03 de marzo 2006
<b>Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control:</b> 90

<b>Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	69.6
<b>Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	29.0

<b>CONTROL</b>			
1	<b>X</b>	<b>X</b>	2
3	<b>X</b>	<b>X</b>	4
5	<b>X</b>	<b>X</b>	6
7	<b>X</b>	<b>X</b>	8
9	<b>X</b>	<b>X</b>	10
11	<b>X</b>	<b>X</b>	12
13	<b>X</b>	<b>X</b>	14
15	<b>X</b>	<b>X</b>	16
17	<b>X</b>	<b>X</b>	18
19	<b>X</b>	<b>X</b>	20
21	<b>X</b>	<b>X</b>	22
23	<b>X</b>	<b>X</b>	24

		<b>GIRASOL</b>	<b>COL</b>	<b>TOMATE</b>
<b>N° Hojas</b>	<b>X</b>	7.00	10.00	6.00
<b>DT ( cm )</b>	<b>X</b>	0.32	0.60	0.37
<b>Altura ( cm )</b>	<b>X</b>	41.30	20.40	18.50

**PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL  
EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"**

<b>Fecha de siembra:</b> 03 de diciembre 2005
<b>Fecha de control:</b> 03 de marzo 2006
<b>Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control:</b> 90

<b>Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	69.6
<b>Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	29.0

**Girasol, Col y Tomate**

1	X	X	2	
3	X	X	4	
5	X	X	6	
7	X	X	8	
9	X	X	10	
11	X	X	12	
13	X	X	14	
15	X	X	16	
17	X	X	18	
19	X	X	20	
21	X	X	22	
23	X	X	X	24

25

		<b>GIRASOL</b>	<b>COL</b>	<b>TOMATE</b>
<b>N° Hojas</b>	<b>X</b>	10.00	19.00	13.00
<b>DT ( cm )</b>	<b>X</b>	0.55	0.55	0.59
<b>Altura ( cm )</b>	<b>X</b>	93.03	16.35	57.44

## PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"

<b>Fecha de siembra:</b> 03 de diciembre 2005
<b>Fecha de control:</b> 02 de abril 2006
<b>Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control:</b> 120

<b>Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	68.77
<b>Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero</b>	<b>X</b>	29.06

<b>CONTROL</b>		
1	<b>X</b>	<b>X</b>
3	<b>X</b>	<b>X</b>
5	<b>X</b>	<b>X</b>
7	<b>X</b>	<b>X</b>
9	<b>X</b>	<b>X</b>
11	<b>X</b>	<b>X</b>
13	<b>X</b>	<b>X</b>
15	<b>X</b>	<b>X</b>
17	<b>X</b>	<b>X</b>
19	<b>X</b>	<b>X</b>
21	<b>X</b>	<b>X</b>
23	<b>X</b>	<b>X</b>

		<b>GIRASOL</b>	<b>COL</b>	<b>TOMATE</b>
<b>N° Hojas</b>	<b>X</b>	11.00	14.00	9.00
<b>DT ( cm )</b>	<b>X</b>	0.42	0.78	0.47
<b>Altura ( cm )</b>	<b>X</b>	52.30	22.10	61.20

## PROYECTO "FITORREMEDIACIÓN PARA REMOCIÓN DE NÍQUEL EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS"

Fecha de siembra: 03 de diciembre 2005
Fecha de control: 02 de abril 2006
Días de ejecución del Proyecto hasta la fecha de control: 120

Humedad ( %H ) Ambiental Interna del vivero	X	68.77
Temperatura ( °C ) Ambiental Interna del vivero	X	29.06

### Girasol, Col y Tomate

1	X	X	2
3	X	X	4
5	X	X	6
7	X	X	8
9	X	X	10
11	X	X	12
13	X	X	14
15	X	X	16
17	X	X	18
19	X	X	20
21	X	X	22
23	X	X	24

25

		GIRASOL	COL	TOMATE
N° Hojas	X	15.00	18.00	23.00
DT ( cm )	X	0.67	1.33	0.67
Altura ( cm )	X	99.13	20.47	75.80

## ANEXO K.- Análisis iniciales de suelo.



### INFORME DE ENSAYOS No. 6605-01

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas N40-80 y U.N.P Edif Puertas del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelos  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** Detallada (Referencia dada por el Cliente)  
Punto de Muestreo: CPF  
Código de Muestra: CPF-FITORREMEDIACION  
Muestra # 0  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Octubre del 2005  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 al 26 de Octubre del 2005  
**FECHA DE EMISION:** 26 de Octubre del 2005

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDADES	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
pH (1:2)	EPA 9045 D	Unid. pH		5.75
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	1034

### ANALISIS SUBCONTRATADOS

ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS
Nitrógeno Total	%	0.59
Fósforo Disponible	ppm	170
Potasio	ppm	1267.5
Carbón Orgánico Total	% COT	7.55



### INFORME DE ENSAYOS No. 6735-01


**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas N40-80 y U.N.P Edif Puertas del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** Detallada (Referencia dada por el Cliente)  
Punto de Muestreo: CPF  
Código de Muestra: Suelo Virgen - 8/11/05  
**FECHA DE RECEPCION:** 10 de Noviembre del 2005  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 10 al 24 de Noviembre del 2005  
**FECHA DE EMISION:** 24 de Noviembre del 2005

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDADES	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
pH (1:2)	EPA 9045 D	Unid. pH		4.61
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	0.93

### ANALISIS SUBCONTRATADOS

ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS
Nitrógeno Total	%	1.17
Fósforo Disponible	ppm	70.2
Potasio	ppm	6
Carbón Orgánico Total	% COT	11.9

Atentamente,

  
Ing. Cecilia Morales B.  
GERENTE ANNCY

#### NOTA:

- Se indica los análisis Subcontratados
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



**INFORME DE ENSAYOS No. 7120-01**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 M1 - Suelo diluido 21, 2 suelo biorremediación y 1 suelo orgánico vegetal  
 Proyecto: Fitorremediación  
**FECHA DE RECEPCION:** 15 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 15 de Febrero del 2006 al 16 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 16 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	499

**INFORME DE ENSAYOS No. 7119-01**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: M1A Fitorremediación  
**FECHA DE RECEPCION:** 15 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 15 de Febrero del 2006 al 2 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 3 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	449

**INFORME DE ENSAYOS No. 7119-02**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: M1B Fitorremediación  
**FECHA DE RECEPCION:** 15 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 15 de Febrero del 2006 al 2 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 3 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	440

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

PROCUREMENT & CONTRACTS

06 JUN 2006

ARMANDO

REPORTE DE ANÁLISIS

Client: Richard Silva  
Av. 10 de Agosto y Luis Tuffino Telf. 2 472-501

Attn: Ing. Richar Silva  
Project: Análisis de suelos

Sample received: 16-may-06  
Sample material: 4 Muestras de suelo

Analyses completed: 02-jun-06  
Grüntec report number: 060551 S1-4

Rotulación Muestra	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 1: Girasol	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 2: Tomate	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 3: Col	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 4: M1C	Método EPA #
Fecha de muestreo	11-may-06	11-may-06	11-may-06	11-may-06	

Metales					7521
Niquel mg/kg	561	385	683	728	



Ing. Santiago Cadena  
Gerente de Operaciones

Nota: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva.

PROCUREMENT & CONTRACTS DIVISION
P&C MANAGER ORIGINAL
CONTRACTS
PURCHASING
LOGISTICS
VENDORS APPLICATION
FILE

## ANEXO L.- Análisis finales de suelo – Girasol.

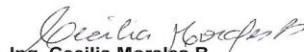


### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-01

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: GIRASOL # 1  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	703

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
GERENTE ANNCY

NOTA:  
- Resultados en Base Seca  
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.




### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-03

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: GIRASOL # 12  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	675

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
GERENTE ANNCY

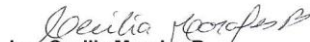
NOTA:  
- Resultados en Base Seca  
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7063-04**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
**PROYECTO:** FITORREMIEDIACION  
**PUNTO DE MUESTREO:** CPF  
**MUESTRA:** GIRASOL # 15  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	658

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

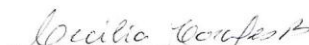
NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-06**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
**Proyecto:** Fitorremediación  
**Punto de Muestreo:** CPF  
**Muestra:** Girasol #6  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	429

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-07**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol #9  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	597

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-13**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col #16  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	525

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-08**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol #19  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	387

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-09**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol #25  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	380

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-06**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol # 3  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006


Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	569

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-08**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol # 11  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	764

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
 GERENTE ANNCY

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-09**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol # 20  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

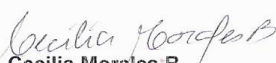
Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	794

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-10**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Girasol # 23  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	667

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

PROCUREMENT & CONTRACTS

06 JUN 2006

ARMANDO

REPORTE DE ANÁLISIS

Client: Richard Silva  
 Av. 10 de Agosto y Luis Tuffino Telf. 2 472-501  
 Attn: Ing. Richar Silva  
 Project: Análisis de suelos  
 Sample received: 16-may-06  
 Sample material: 4 Muestras de suelo  
 Analyses completed: 02-jun-06  
 Grúntec report number: 060551 S1-4

Rotulación Muestra	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 1: Girasol	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 2: Tomate	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 3: Col	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 4: M1C	Método EPA #
Fecha de muestreo	11-may-06	11-may-06	11-may-06	11-may-06	

Metales	561	385	683	728	7521
Niquel mg/kg					

PROCUREMENT & CONTRACTS DIVISION
P&C MANAGER ORIGINAL
CONTRACTS
PURCHASING
LOGISTICS
VENDORS
EXCLUSION APPLICATION
FILE



Ing. Santiago Cadena  
**Gerente de Operaciones**

Nota: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial



## ANEXO M.- Análisis finales de suelo – Col.



### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-11

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: COL # 2  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	528



### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-12

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: COL # 5  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	619




### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-13

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: COL # 7  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	689

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

**NOTA:**

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7063-14**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
 PUNTO DE MUESTREO: CPF  
 MUESTRA: COL # 16  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	609

**INFORME DE ENSAYOS No. 7063-15**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
 PUNTO DE MUESTREO: CPF  
 MUESTRA: COL # 25  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	664

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-10**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col #3  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	571

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-11**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col #10  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	497

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-12**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col #14  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	518

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-14**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col #17  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	373

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



CONTROL AMBIENTAL DE AGUA, SUELO Y GASES

### INFORME DE ENSAYOS No. 7193-15

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
Proyecto: Fitorremediación  
Punto de Muestreo: CPF  
Muestra: Col #22  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	585



CONTROL AMBIENTAL DE AGUA, SUELO Y GASES

### INFORME DE ENSAYOS No. 7355-11

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
Proyecto: Fitorremediación  
Punto de Muestreo: CPF  
Muestra: Col # 6  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	788



CONTROL AMBIENTAL DE AGUA, SUELO Y GASES

### INFORME DE ENSAYOS No. 7355-12

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
Proyecto: Fitorremediación  
Punto de Muestreo: CPF  
Muestra: Col # 9  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	577

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
GERENTE ANNCY

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-13**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col # 15  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	481

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-14**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col # 18  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

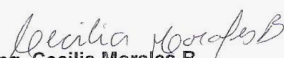
Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	506

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-15**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Col # 23  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Níquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	854

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
 GERENTE ANNCY

**NOTA:**

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

PROCUREMENT & CONTRACTS

06 JUN 2006

RECEIVED

REPORTE DE ANÁLISIS

Client: Richard Silva  
 Av. 10 de Agosto y Luis Tufiño Telf. 2 472-501

Attn: Ing. Richar Silva  
 Project: Análisis de suelos

Sample received: 16-may-06

Sample material: 4 Muestras de suelo

Analyses completed: 02-jun-06

Grüntec report number: 060551 S1-4

Rotulación Muestra	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 1: Girasol	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 2: Tomate	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 3: Col	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 4: M1C	Método EPA #
Fecha de muestreo	11-may-06	11-may-06	11-may-06	11-may-06	

Metales	561	385	683	728
Níquel mg/kg				

Ing. Santiago Cadena  
**Gerente de Operaciones**

Nota: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma confidencial

7521	PROCUREMENT & CONTRACTS DIVISION
	P&C MANAGER ORIGINAL
	CONTRACTS
	PURCHASING
	LOGISTICS
	VENDORS QUALIFICATION
	FILE

## ANEXO N.- Análisis finales de suelo – Tomate.



### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-06

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: TOMATE # 3  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	428



### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-07

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: TOMATE # 6  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	575

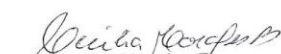


### INFORME DE ENSAYOS No. 7063-09

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
PROYECTO: FITORREMIEDIACION  
PUNTO DE MUESTREO: CPF  
MUESTRA: TOMATE # 11  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	624

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
GERENTE ANNCY

**NOTA:**

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7063-10**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 PROYECTO: FITORREMEDIACION  
 PUNTO DE MUESTREO: CPF  
 MUESTRA: TOMATE # 18  
**FECHA DE RECEPCION:** 2 de Febrero del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 2 de Febrero del 2006 al 8 de Febrero del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 9 de Febrero del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	751

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-01**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate #2  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006


Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	317

**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-03**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate #13  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	546

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

**NOTA:**

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



**INFORME DE ENSAYOS No. 7193-04**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate #16  
**FECHA DE RECEPCION:** 8 de Marzo del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 8 de Marzo del 2006 al 28 de Marzo del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 29 de Marzo del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	434

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-02**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate # 14  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

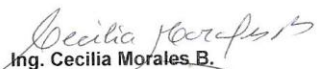
Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	766

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-01**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate # 5  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	742

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-03**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate # 15  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

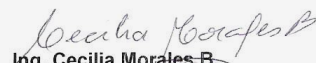
Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	658

**INFORME DE ENSAYOS No. 7355-04**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** AGIP OIL ECUADOR B.V  
**DIRECCION:** Av. Amazonas No. 4080 y U.N.P. Edif. Puerta del Sol Piso 10  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Suelo  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Proyecto: Fitorremediación  
 Punto de Muestreo: CPF  
 Muestra: Tomate # 19  
**FECHA DE RECEPCION:** 11 de Abril del 2006  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 11 de Abril del 2006 al 24 de Abril del 2006  
**FECHA DE EMISION:** 25 de Abril del 2006

Ensayo	Método de Referencia	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Niquel	APHA 3111 B	mg/kg	0.50	724

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE ANNCY**

NOTA:  
 - Resultados en Base Seca  
 - Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B  
 - El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos  
 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

PROCUREMENT & CONTRACTS

06 JUN 2006

RECEIVED

REPORTE DE ANÁLISIS

Client: Richard Silva  
 Av. 10 de Agosto y Luis Tufiño Telf. 2 472-501

Attn: Ing. Richar Silva  
 Project: Análisis de suelos

Sample received: 16-may-06

Sample material: 4 Muestras de suelo

Analyses completed: 02-jun-06

Grüntec report number: 060551 S1-4

Rotulación Muestra	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 1: Girasol	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 2: Tomate	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 3: Col	Proyecto Fitorremediación Punto de muestreo: CPF Muestra 4: M1C	Método EPA #
Fecha de muestreo	11-may-06	11-may-06	11-may-06	11-may-06	

Metales	561	385	683	728
Níquel mg/kg				

Ing. Santiago Cadena  
**Gerente de Operaciones**

Nota: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma confidencial

7521	PROCUREMENT & CONTRACTS DIVISION
	P&C MANAGER ORIGINAL
	CONTRACTS
	PURCHASING
	LOGISTICS
	VENDORS QUALIFICATION
	FILE

## ANEXO O.- Análisis finales de raíz – Girasol.

1/1



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-6329  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ NS4-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMEDIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 CONTROL RAIZ G1 02 A 15-05-06
FECHA DE ANALISIS:	2006-06-05
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

### INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	7.36	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
E - mail: facquim@undinnet.net    Quito - Ecuador    RAM-4.1-05



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-6327  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ N54-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 RAIZ G2 02 A 15-05-06
FECHA DE ANALISIS:	
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	2006-06-05
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	175.79	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E - mail: [fucquim@andina.net](mailto:fucquim@andina.net)

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Exl 12  
Quito - Ecuador

RAM-4.1-05

## ANEXO P.- Análisis de raíz – Col.

1/1



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-6330  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ N54-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 CONTROL RAIZ C1 02 A 15-05-06
FECHA DE ANALISIS:	2006-06-05
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

### INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	3.47	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral      Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
E - mail: [facquim@andinanet.net](mailto:facquim@andinanet.net)      Quito - Ecuador      RAM-4.1-05





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

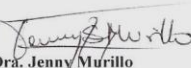
INF-LAB- QAM-6328  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ N54-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMEDIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 RAIZ C2
FECHA DE ANALISIS:	02 A 15-05-06
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	2006-06-05
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	103.98	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



  
Dr. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados.**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral      Telefex Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
E - mail: jacquim@undinonet.net                      Quito - Ecuador    RAM-4.1-05

# ANEXO Q.- Análisis de raíz – Tomate.

1/1



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

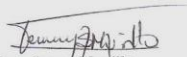
INF-LAB- QAM-6325  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ N54-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 CONTROL RAIZ T1
FECHA DE ANALISIS:	02 A 15-05-06
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	2006-06-05
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

## INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	8.03	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



  
Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados.**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E - mail: jacquim@andinanet.net

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
Quito - Ecuador

RAM-4.1-05





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-6326  
ORDEN DE TRABAJO No 010393

SOLICITADO POR:	LABORATORIOS ANNCY
DIRECCIÓN:	GONZALO BENITEZ N54-45
FECHA DE RECEPCION:	2006-05-02
HORA DE RECEPCION:	11h51
MUESTRA DE:	RAIZ
DESCRIPCION:	PROYECTO FITORREMEDIACION PUNTO DE MUESTREO CPF 26/04/06 RAIZ T2 02 A 15-05-06
FECHA DE ANALISIS:	2006-06-05
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	CARACTERISTICO
CONTENIDO:	500 g
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
NIQUEL	mg/Kg	19.29	ACENIZACION Y LECTURA ABSORCION ATOMICA



*Jenny Murillo*

Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E - mail: facquim@andinanet.net

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
Quito - Ecuador

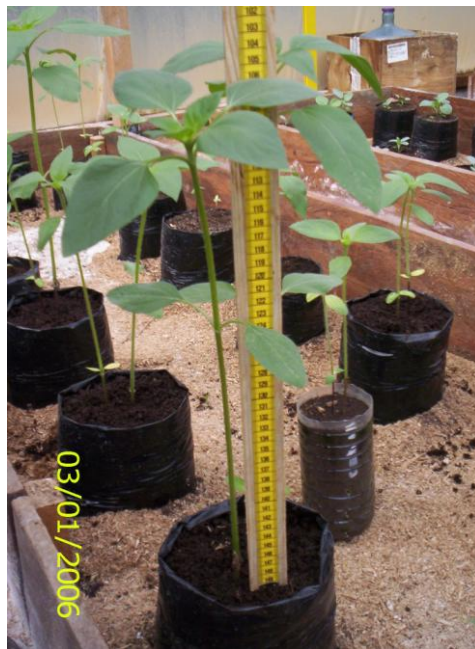
RAM-4.1-05

#### 5.4. ANEXOS FOTOGRÁFICOS.

##### PARÁMETROS CONTROLADOS A LAS PLÁNTULAS.

###### Altura.

La medición se la realizó con una regla, la misma que se coloca en la base de la planta a nivel del suelo y la medida se la toma en la posición de la hoja más alta.



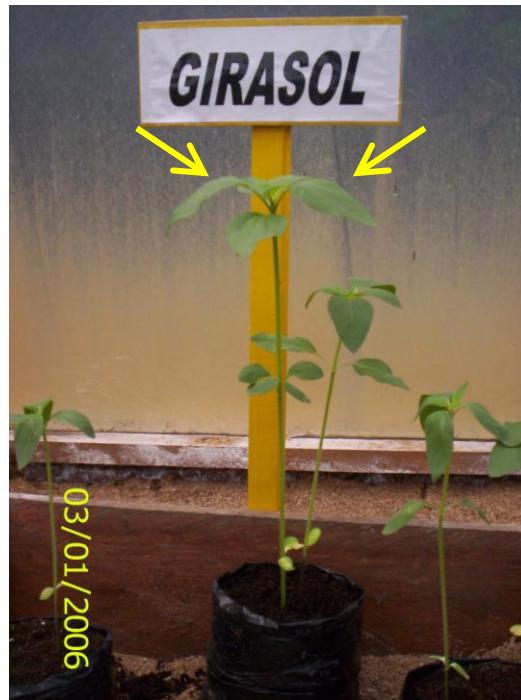
###### Diámetro.

La medición se la realizó con un calibrador ( pie de rey ), la medida se tomó en el tallo.



### **Número de hojas.**

El conteo se realizó a las hojas más desarrolladas, excluyendo a las hojas que se encuentran en las etapas iniciales del desarrollo.



### **Control de Temperatura y Humedad Ambiental.**

La temperatura y humedad ambiental interna del vivero se controla cuatro veces al día, para lo cual se dispone de un medidor digital THERMO HYGRO.



**GIRASOL**  
**(Primer monitoreo 01 febrero 2006)**





(Segundo monitoreo 03 marzo 2006)



(Tercer monitoreo 03 abril 2006)





**COL**  
**(Primer monitoreo 01 febrero 2006)**



(Segundo monitoreo 03 marzo 2006)





(Tercer monitoreo 03 abril 2006)



**TOMATE**  
**(Primer monitoreo 01 febrero 2006)**





(Segundo monitoreo 03 marzo 2006)



(Tercer monitoreo 03 abril 2006)





**Raíz GIRASOL**

**Raíz COL**



**Raíz TOMATE**

