

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA

**CICLO OPTATIVO DE PROFESIONALIZACIÓN EN
GESTIÓN DE LA CALIDAD Y AUDITORIA AMBIENTAL**



**“EL COMPOSTAJE COMO MÉTODO DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO PESQUERO

JOSÉ LUIS OCAMPO POMAREDA

INGENIERO FORESTAL

DANIEL JESÚS ROBLES GANOZA

INGENIERO ZOOTECNISTA

ANDRÉS MARIANO WU YI

LIMA – PERÚ

2002

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

CICLO OPTATIVO DE PROFESIONALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA
CALIDAD Y AUDITORÍA AMBIENTAL

“EL COMPOSTAJE COMO MÉTODO DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
HIDROCARBUROS”

Trabajo de Investigación para optar el título de:

Ingeniero Pesquero : José Luis Ocampo Pomareda
Ingeniero Forestal : Daniel Robles Ganoza
Ingeniero Zootecnista : Andrés Mariano Wu Yi

Patrocinado por:

M. Sc. Juan Guerrero Barrantes

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado

M. Sc. Henry Orrego Albañil

Presidente

M. Sc. Juan Guerrero Barrantes

Patrocinador

Dra. Lucrecia Aguirre Terrazas

Miembro

Ing. Fernando Bulnes Soriano

Miembro

A nuestras familias y amigos

AGRADECIMIENTOS

- A nuestro patrocinador, Ing. Juan Guerrero Barrantes, por su apoyo y orientación en la elaboración de nuestro trabajo.
- A la Refinería La Pampilla por la colaboración prestada para llevar a cabo nuestra investigación.
- A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización del presente trabajo.

INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	3
2.1. Justificación	3
2.2. Objetivos	4
2.2.1. Objetivo General	4
2.2.2. Objetivos Específicos	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Compostaje	4
3.1.1. Definición de compostaje	4
3.1.2. Características del proceso de compostaje	5
3.1.3. Factores que afectan el proceso de compostaje	6
3.1.3.1. Oxígeno y aireación	6
3.1.3.2. Nutrientes y la relación C:N	7
3.1.3.3. Humedad	7
3.1.3.4. Porosidad	8
3.1.3.5. Estructura	8
3.1.3.6. Tamaño de las partículas	8
3.1.3.7. pH	8
3.1.3.8. Temperatura	9
3.1.3.9. Tiempo	11
3.2. Hidrocarburos de petróleo	12
3.3. Microbiología de la degradación del petróleo	13
3.4. Biorremediación: El compostaje y los biorreactores aeróbios	14
3.5. Usos del compost	18
3.5.1. En Horticultura	18
3.5.2. En Floricultura	19
3.5.3. En Forestación: Repique y siembra directa	19
3.5.3.1. Introducción	19

3.5.3.2	Definición de repique	19
3.5.3.3	Definición de la siembra directa	20
3.5.3.4	Especies utilizadas en el bioensayo	21
3.5.4.	El compost como fertilizante	29
3.6	Ventajas del uso del compost	31
3.7	Gallinaza	33
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
4.1	Materiales	34
4.1.1.	Fase de campo	34
4.1.2.	Fase de laboratorio	36
4.1.3.	Fase del bioensayo	37
4.2	Métodos	39
4.2.1.	Metodología aplicada para la biorremediación	39
4.2.1.1.	Para la construcción de la biopila	39
4.2.1.2.	Para el muestreo en campo	44
4.2.1.3.	Para el laboratorio	47
4.2.2.	Metodología aplicada para el bioensayo	48
4.2.2.1.	Bioensayo de repique y siembra directa	48
4.2.2.2.	Procedimiento aplicado para el repique	50
4.2.2.3.	Procedimiento aplicado para la siembra directa	50
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1.	De la variación temporal de parámetros evaluados en el proceso de biorremediación.	51
5.1.1.	Variación temporal de la temperatura y pH en la biopila A-1.	
5.1.2.	Variación temporal de la concentración de hidrocarburos (TPH) en la biopila A-1.	
5.1.3.	Variación temporal de la temperatura y pH en la biopila A-2.	
5.1.4.	Variación temporal de la concentración de hidrocarburos (TPH) en la biopila A-2.	
5.1.5.	Variación temporal de la temperatura y pH en la biopila C-3.	

5.1.6. Variación temporal de la concentración de hidrocarburos (TPH) en la biopila C-3.	
5.2. Del análisis del bioensayo	67
5.3. De los costos operativos utilizados para el montaje del proyecto	74
6. CONCLUSIONES	75
7. RECOMENDACIONES	76
8. BIBLIOGRAFÍA	78
9. ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

- CUADRO N° 1.....10
MUERTE DE ALGUNOS MICROORGANISMOS EN FUNCIÓN A LA
TEMPERATURA Y AL TIEMPO DE EXPOSICIÓN.

- CUADRO N° 2.....29
USOS EN AGROFORESTERÍA Y PRODUCTOS OBTENIDOS.

- CUADRO N° 3.....32
COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL COMPOST.

- CUADRO N° 4.....32
PARÁMETROS DE CONTROL DE ESTABILIDAD DEL COMPOST.

- CUADRO N° 5.....33
CONTENIDO MEDIO DE AGUA Y NUTRIENTES EN LOS
EXCREMENTOS DE DISTINTAS AVES (EN % DE LA MASA
HÚMEDA).

- CUADRO N° 6.....38
ANÁLISIS DE LA GALLINAZA UTILIZADA EN EL
COMPOSTAJE.

- CUADRO N° 7.....51
VALORES DE TEMPERATURA Y PH PRESENTES EN LA BIOPILA
A-1 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- CUADRO N° 8.....54
VALORES DE CONTENIDO DE TPH PRESENTES EN LA BIOPILA
A-1 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- CUADRO N° 9.....	56
RANGO DE DEGRADACIÓN DEL HIDROCARBURO EN LA BIOPILA A-1.	
- CUADRO N° 10.....	57
VALORES DE TEMPERATURA Y PH PRESENTES EN LA BIOPILA A-2 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.	
- CUADRO N° 11.....	59
VALORES DE CONTENIDO DE TPH PRESENTES EN LA BIOPILA A-2 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.	
- CUADRO N° 12.....	61
RANGO DE DEGRADACIÓN DEL HIDROCARBURO EN LA BIOPILA A-2.	
- CUADRO N° 13.....	62
VALORES DE TEMPERATURA Y PH PRESENTES EN LA BIOPILA C-3 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.	
- CUADRO N° 14.....	64
VALORES DEL CONTENIDO DE TPH PRESENTES EN LA BIOPILA C-3 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.	
- CUADRO N° 15.....	66
RANGO DE DEGRADACIÓN DEL HIDROCARBURO EN LA BIOPILA C-3.	
- CUADRO N° 16.....	68
CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO DE VIVERO.	

- CUADRO N° 17.....	68
CARACTERIZACIÓN DEL SV/SC.	
- CUADRO N° 18.....	68
CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO CONTAMINADO.	
- CUADRO N° 19.....	69
MORTALIDAD DE PLÁNTULAS DE 3 ESPECIES FORESTALES REPICADAS EN 3 DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATO.	
- CUADRO N° 20.....	71
MORTALIDAD DE PLÁNTULAS DE 2 ESPECIES FORESTALES GERMINADAS EN 3 DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATO.	
- CUADRO N° 21.....	74
COSTOS OPERATIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BIOPILA.	

• **INDICE DE FOTOS**

- FOTO N° 1.....	34
CONTROL DE TEMPERATURA.	
- FOTO N° 2.....	35
pH-METRO.	
- FOTO N° 3.....	36
MUESTREO.	
- FOTO N° 4.....	37
LABORATORIO	
- FOTO N° 5.....	39
COMPACTACIÓN TERRENO.	
- FOTO N° 6.....	40
RED DE TUBERÍAS.	
- FOTO N° 7.....	40
CLAVADO DEL GEOTEXTIL.	
- FOTO N° 8.....	41
MEZCLA CALIENTE.	
- FOTO N° 9.....	43
RIEGO DE LA BIOPILA	
- FOTO N° 10.....	43
AIREADOR.	

INDICE DE GRÁFICOS

- GRÁFICO N° 1.....52
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y PH EN LA
BIOPILA A-1 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- GRÁFICO N° 2.....54
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CONTENIDO DE TPH EN LA
BIOPILA A-1 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- GRÁFICO N° 3.....57
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y PH EN LA
BIOPILA A-2 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- GRÁFICO N° 4.....60
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CONTENIDO DE TPH EN LA
BIOPILA A-2 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- GRÁFICO N° 5.....62
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y PH EN LA
BIOPILA C-3 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

- GRÁFICO N° 6.....65
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CONTENIDO DE TPH EN LA
BIOPILA C-3 DURANTE EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN.

.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA N° 142
DIAGRAMA DE LA BIOPILA

INDICE DE ANEXOS

- FOTO N° 1. DESCARGA DE GALLINAZA
- FOTO N° 2. INSTALACIÓN DEL GEOTEXTIL
- FOTO N° 3. PREPARACIÓN DE LA BIOPILA
- FOTO N° 4. MEZCLADO
- FOTO N° 5. MEZCLADO Y REGADO
- FOTO N° 6. DETALLE DE LA MEZCLA
- FIGURA N° 1. EL PROCESO DE COMPOSTAJE
- FIGURA N° 2. MOVIMIENTO NATURAL DEL AIRE EN BIOPILA DE COMPOSTAJE

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se llevó cabo en la Refinería La Pampilla, ubicada en el distrito de Ventanilla, Provincia Constitucional del Callao en las coordenadas geográficas (UTM) Norte 8'681.706.26 y Este 268.265.85 en base al BM de la Refinería.

La Refinería La Pampilla desde el inicio de sus actividades (1965) ha generado residuos de hidrocarburos a raíz de la elaboración de subproductos de petróleo y la inadecuada disposición de estos ha generado problemas de contaminación en la zona de playa.

Debido a esta situación se inició el proyecto de utilización de compostaje para remediar el suelo contaminado con hidrocarburos. Esto está basado en el uso de microorganismos capaces de biodegradar los contaminantes hasta compuestos más simples e inocuos para el ambiente.

La metodología usada consistió en la elaboración de biopilas de 1150 m³ aproximadamente, conformada por tres partes de suelo contaminado y una parte de gallinaza. Se hicieron tomas periódicas de muestras para analizar el comportamiento del hidrocarburo en las biopilas.

La presente investigación consistió en el análisis de tres biopilas en pleno proceso de biorremediación, siendo la tendencia general la disminución en el contenido de hidrocarburos, sin embargo el proceso de biodegradación se estabilizó sin haberse biorremediado por completo debido a un inadecuado manejo en las biopilas.

Para determinar si el suelo en pleno proceso de biorremediación podía ser utilizado se hicieron dos bioensayos en el Vivero Forestal de la UNALM en los que se plantaron semillas y plántulas de especies forestales las cuales tuvieron una mala respuesta para el suelo contaminado.

EL COMPOSTAJE COMO MÉTODO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

1. INTRODUCCIÓN:

La Refinería La Pampilla desde el comienzo de sus actividades (1965) ha generado residuos de hidrocarburos a raíz de la producción de subproductos de petróleo; la inadecuada disposición de estos representa un problema de contaminación del suelo en la zona de playa. Por ello; es de gran importancia ejecutar un proyecto de remediación de suelos en dicha zona (Ministerio de Energía y Minas, 1999).

Para este fin, se ha optado instalar en la refinería un laboratorio de suelos que proporcione la información necesaria para poder evaluar en forma óptima y rápida el desempeño del tratamiento.

Para estos casos de biorremediación de suelos, la utilización de compostaje ha sido uno de los métodos más utilizados en donde el sistema biológico de los microorganismos consume los contaminantes. Dichos contaminantes son digeridos, metabolizados y transformados en humus; además de productos inertes como dióxido de carbono, agua y sales. La meta final en todo proyecto de biorremediación es devolver al sitio a su condición de pre-contaminación, permaneciendo biológicamente activo. El compost entonces, no sólo reduce los niveles de contaminación, sino que también facilita el crecimiento vegetal, provee nutrientes y acondiciona el suelo.

Según Bhandari (1994), el método de compostaje es utilizado como tecnología de biorremediación para tratar tanto la superficie como el subsuelo de terrenos contaminados con crudo y/o subproductos del petróleo (gasolina, diesel, kerosene) (Riggle 1995).

Otros sistemas de remediación consisten en levantar el suelo contaminado y llevarlo a una fábrica de ladrillos donde se incinere a altas temperaturas. Su utilidad es mucho menor, ya que levantar, incinerar y comprar un suelo limpio es más costoso.

En Seymour Johnson, base de la fuerza aérea, cerca de Goldsboro (Carolina del Norte). el suelo está contaminado como resultado de los frecuentes derrames de combustible de jet y la excavación para tanques subterráneos de depósitos de combustible. La base utiliza una variedad de contaminantes de petróleo, incluyendo gasolina, kerosene, fuel oíl, jet fuel, fluido hidráulico y aceite para motores. En 1994, la base implementó un sistema de biorremediación usando compost hecho a base de desechos de madera y excretas de pavo. Una relación típica consiste en mezclar 75% de suelo contaminado, 20% de compost y 5% de excreta de pavo. Una pala mecánica mezcla y revuelve las pilas para mantenerlas aireadas. Después de mezcladas, un nylon vinílico cubre las pilas para protegerlas del viento y de la lluvia, y para mantener la humedad debida y temperatura adecuada para un crecimiento microbiano óptimo. Al compararlo con otros sistemas de biorremediación que incluyen levantar el suelo contaminado y llevarlo a una fábrica de ladrillos donde se incinere a altas temperaturas, el costo es mucho menor, ya que levantar, incinerar y comprar un suelo limpio es más costoso. La biorremediación con compost en esta base le significó un ahorro de U\$133,000 en el primer año y además la limpieza bajo este método es más rápida, completándola en semanas, en vez de meses (EPA, 1996).

Otra de las bondades de la biorremediación es que el compost genera hongos, los cuales producen una sustancia que degradan los hidrocarburos del petróleo, permitiendo que las bacterias del compost lo metabolicen (Abad, 1993).

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS :

2.1 Justificación

Dada la importancia del petróleo como principal fuente de energía en la industria a nivel mundial resultaría inviable reemplazarla por alternativas menos contaminantes (como la energía solar y la energía eléctrica); ya que a pesar de haberse conseguido adelantos tecnológicos significativos en la investigación y utilización de dichas fuentes. todavía no pueden suplantar al hidrocarburo.

En el proceso de transformación del petróleo hacia sus derivados (gasolina, diesel, kerosene, GLP, etc.) se generan desechos de refinerías, los cuales debido a un inadecuado manejo. sumado a una falta de sensibilización ambiental, se han vertido sobre los suelos durante décadas. Como consecuencia, estos suelos redujeron considerablemente la capacidad natural que poseen de sostener a una gran diversidad de organismos, restringiendo su capacidad original a tan solo algunas bacterias oleofílicas, dejando los suelos inutilizables para cualquier tipo de actividad productiva que se quiera realizar.

Mediante el compostaje como técnica de biorremediación de suelos contaminados es posible revertir en gran medida el impacto que los desechos de hidrocarburos tienen sobre el suelo. Aunque existen alternativas para eliminar suelos que contienen desechos del petróleo, como la incineración o la remoción de estos para disponerlos definitivamente en un relleno industrial, esta técnica es la única que permite “reciclar” el suelo y darle un uso productivo, ambientalmente positivo y en muchos casos económicamente favorable.

2.2 OBJETIVOS :

2.2.1. Objetivo General

- Evaluar el desempeño del proceso de compostaje en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

2.2.2. Objetivos específicos:

- Evaluar los principales parámetros para lograr una mayor velocidad de degradación del hidrocarburo (relación óptima entre temperatura, pH y humedad).
- Determinar mediante bioensayos si el suelo contaminado con hidrocarburos y tratado con compostaje puede ser utilizado en las fases de siembra y repique de especies forestales.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

3.1. COMPOSTAJE

3.1.1. Definición de Compostaje

Es un método aplicado a residuos sólidos, donde el componente orgánico del residuo sólido es descompuesto biológicamente bajo condiciones controladas a un estado en el cual puede ser manejado, almacenado y/o dispuesto en el suelo sin afectar de manera adversa al ambiente. (Golueke, 1977).

3.1.2. Características del proceso de compostaje

El compostaje empieza apenas los componentes adecuados estén juntos. De manera casi inmediata los microorganismos consumen O_2 . A medida que el O_2 disponible descende, la descomposición aeróbica se hace más lenta, pudiendo incluso parar sino se reabastece de oxígeno a la pila (NRAES, 1992).

La aireación es continuamente requerida para reabastecer de O_2 a la pila.

La aireación puede efectuarse tanto de manera pasiva (convección natural y difusión) como de manera forzada (aireadores/ventiladores).

El volteo mecánico de los materiales de la pila proporciona una cantidad limitada de O_2 , la cual es consumida rápidamente; por lo tanto, debe ser compensada mediante el método pasivo o el método de aireación forzada.

Dado que la liberación de calor está directamente relacionada con la actividad microbiana, la temperatura se constituye en un buen indicador del proceso.

Durante el proceso de compostaje, la temperatura se incrementa rápidamente hasta $60\text{ }^\circ\text{C}$, la cual se mantiene por algunas semanas.

A medida que la actividad descende, la temperatura disminuye primero a $38\text{ }^\circ\text{C}$ y luego a temperatura ambiente.

Durante el período de compostaje, la temperatura disminuye si el O_2 , se agota, debido a una menor actividad microbiana.

La temperatura vuelve a aumentar luego del volteo o de una aireación forzada si el O_2 se encuentra disponible, la temperatura puede incrementar fácilmente a temperaturas mayores de $60\text{ }^\circ\text{C}$. A estas temperaturas ($>60\text{ }^\circ\text{C}$) muchos microorganismos mueren o entran en un período de dormancia con la disminución

de la actividad microbiana, la temperatura deberá estabilizarse. Enfriar la pila mediante el volteo o aireación forzada ayuda a mantener la temperatura fuera de estos niveles perjudiciales.

El proceso de compostaje se detiene en un punto en particular, los materiales siguen siendo degradados hasta que los últimos nutrientes sean consumidos por los organismos remanentes y hasta que prácticamente todo el carbono sea convertido en CO₂.

Se considera que el compost está maduro de acuerdo a las características relacionadas con su uso y manejo, como la relación C:N, demanda de oxígeno, temperatura y olor.

3.1.3. Factores que afectan el proceso de compostaje

Los factores que afectan el proceso de compostaje son los siguientes:

3.1.3.1. Oxígeno y aireación:

La necesidad de O₂ es mayor durante los primeros días del proceso, debido a una veloz degradación de la materia orgánica. Se necesita como mínimo una concentración de O₂ de 5%, para que el proceso no se detenga.

Sin suficiente O₂, el proceso pasa a ser anaeróbico, lo cual involucra diferentes microorganismos y reacciones bioquímicas, los procesos anaeróbicos se consideran generalmente más lentos y menos eficientes que los procesos aeróbicos. Además, se generan compuestos intermedios como metano, ácidos orgánicos y sulfuro de hidrógeno, los cuales liberan olores muy fuertes.

La aireación libera calor, vapor de agua y otros gases atrapados al interior de la pila, además, incorpora O₂.

3.1.3.2. Nutrientes y la relación C:N

Carbono, nitrógeno, fósforo y potasio son los nutrientes primarios requeridos por los microorganismos involucrados en el compostaje. N, P y K son además, nutrientes requeridos por las plantas, de allí que su presencia influya también en el valor final del compost. Los microorganismos utilizan carbono tanto como fuente de energía como para su crecimiento, mientras que el nitrógeno es esencial para las proteínas y para la reproducción. La relación balanceada de C:N asegura que los otros nutrientes requeridos están presentes en cantidades adecuadas. La materia orgánica que contenga una relación C:N de 25:1 a 30:1, es considerada ideal para la actividad de compostaje. Relaciones de C:N de 50:1 a más son aceptables; con relaciones de C:N menores de 20:1 se utilizará todo el carbono sin haber estabilizado todo el nitrógeno presente. El excedente de nitrógeno será emitido a la atmósfera, como amonio u óxido nitroso, lo cual involucra problemas por los olores fuertes.

Por ejemplo, la paja se descompone y cede el carbono que contienen a los microorganismos con mayor facilidad que los materiales leñosos, debido a que la lignina es más resistente a la descomposición biológica.

3.1.3.3. Humedad:

La humedad es necesaria para mantener los procesos metabólicos de los microbios. El agua es el medio para las reacciones químicas, transporte de nutrientes y traslado de microorganismos.

En teoría, la actividad biológica es óptima cuando los materiales están adecuadamente húmedos. La actividad cesa por completo cuando el contenido de humedad es menor al 15%.

En la práctica los materiales en el compostaje deben mantenerse en un rango entre 40% y 65%.

La experiencia muestra que el proceso de compostaje se hace lento a menos de 40% de humedad. En contenidos de humedad mayores a 65% el agua desplaza gran cantidad de aire contenido en los espacios porosos. Esto limita el movimiento de aire y propicia condiciones anaeróbicas.

Durante el proceso de compostaje, el contenido de humedad decrece debido a la evaporación, lo cual involucra adicionar agua a la pila.

3.1.3.4. Porosidad:

Es una medida del espacio aéreo que determina la resistencia a la fluidez del aire. Está determinada por el tamaño de las partículas, el tamaño de la materia orgánica y la continuidad de las cavidades aéreas; partículas más grandes y uniformes aumentan la porosidad.

3.1.3.5. Estructura:

Está referida a la habilidad de resistir a la compactación. Una buena estructura previene la pérdida de porosidad al interior de la pila.

3.1.3.6. Tamaño de las partículas:

A medida que el tamaño de las partículas se reduce, la tasa de descomposición aeróbica aumenta debido a que hay una mayor superficie disponible para los microorganismos. Se debe tener en cuenta también, que las partículas muy pequeñas reducen la porosidad y aireación.

3.1.3.7. pH:

El rango preferido se encuentra entre 6.5 y 8, pero la capacidad natural de amortiguamiento (buffering) del proceso hace que sea posible trabajar

efectivamente dentro de un rango de 5.5. y 9. De todos modos, el trabajar en un rango de 5.5 y 9 es menos efectivo que trabajar a un pH neutro (7).

El pH es importante cuando se trabaja con materiales ricos en N_2 , un pH alto, mayor a 8.5 promueve la conversión de N_2 a amonio, lo cual eleva aún más la alcalinidad.

3.1.3.8. Temperatura:

De manera conveniente, la ciencia ha subdividido y nombrado los rangos de temperatura en lo que los microorganismos se desarrollan:

- a) Mesofílicos : 10 - 40.5°C
- b) Termofílicos : > 40.5°C

Las temperaturas termofílicas son las deseadas, debido a que destruyen patógenos presentes en los materiales del compostaje.

La muerte de algunos microorganismos microscópicos en función a la temperatura y al tiempo de exposición, se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 1. MUERTE DE ALGUNOS MICROORGANISMOS EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA Y AL TIEMPO DE EXPOSICIÓN.

Microorganismo	Temperatura	Tiempo
<i>Salmonella typhosa</i>	55-60 °C	30 minutos
<i>Salmonella sp.</i>	55 °C	1 hora
<i>Shigella sp.</i>	55 °C	1 hora
<i>Escherichia coli</i>	60 °C	20 minutos
<i>Estamoeba histolytica</i>	45 °C	5 minutos
<i>Taenia saginaria</i>	55 °C	5 minutos
<i>Trichinella spiralis</i>	60 °C	Muere al instante
<i>Streptococcus pyrogenes</i>	55 °C	10 minutos
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	60 °C	15-20 minutos

Fuente: (Golueke, 1977)

La descomposición microbiana de por sí, libera gran cantidad de energía en forma de calor, lo que incrementa la temperatura de la pila.

El volteo y la aireación aceleran la pérdida de calor; por lo tanto, se efectúan para mantener la temperatura dentro del rango deseado.

El clima frío y pilas pequeñas aumentan la pérdida de calor.

La acumulación de calor puede llevar la temperatura por encima de 60°C, cuando esto ocurre, los microorganismos empiezan a sufrir los efectos de las altas temperaturas, y el proceso de compostaje se hace más lento.

Cuando se llega a 71°C muchos de los microorganismos mueren o entran a un estado de dormancia (p. Ej: *Salmonella typhosa*, *Shigella sp.* *Escherichia coli*, entre otros). La efectividad del proceso se detiene y no se recupera hasta que la población de los microorganismos se regenere. Para prevenir esta situación, la temperatura debe ser monitoreada. Cuando está cerca de 60°C, la pérdida de calor debe ser acelerada mediante la aireación forzada o mediante el volteo.

Debido a que la mayor parte del calor cedido ocurre por evaporación del agua, los materiales no deben dejarse secar a menos de 40 % de contenido de humedad.

3.1.3.9. Tiempo:

La duración del compostaje depende de muchos factores, incluyendo los materiales utilizados, temperatura, humedad, frecuencia de volteo, aireación y requerimientos de uso. Un contenido de humedad adecuado así como una correcta relación C:N sumada a una aireación frecuente asegura acortar lo máximo posible el período de compostaje.

3.2. HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO:

El petróleo y sus derivados como la gasolina, diesel y aceites son mezclas complejas de compuestos orgánicos. La gasolina, por ejemplo, contiene más de 100 diferentes sustancias; la mayoría de los compuestos encontrados en los derivados del petróleo son hidrocarburos.

Composición de algunos derivados de petróleo:

- Gas: Alcanos de cadena simple y ramificada. De 1 a 5 carbonos de longitud.
- Gasolina: Hidrocarburos simples y ramificados entre 6 y 10 carbonos de longitud. También se encuentran presentes ciclo alcanos y alquibencenos.
- Diesel: Básicamente hidrocarburos de 11 y 12 carbonos. Se tienen hidrocarburos simples y ramificados; los más abundantes son los alcanos, otros compuestos que se pueden encontrar son ciclo alcanos y aromáticos.
- Aceites: Hidrocarburos entre 12 y 18 carbonos.

Los hidrocarburos alifáticos son cadenas simples y ramificadas de átomos de carbono con suficiente hidrógeno para satisfacer los requerimientos de valencia de los carbonos. Tienen la fórmula empírica C_nH_m . Dependiendo del grado de saturación (número de enlaces carbono-carbono), los hidrocarburos alifáticos pueden ser clasificados en alcanos, alquenos y alquinos.

Los compuestos aromáticos representan otra clase de hidrocarburos. Estos compuestos tienen en común, la estructura del anillo de benceno C_6H_6 .

Se tienen las siguientes generalizaciones en la biodegradación de hidrocarburos de petróleo:

1. Los hidrocarburos alifáticos son generalmente más fáciles de degradar que los compuestos aromáticos.

2. Las cadenas simples de hidrocarburos alifáticos, son más fáciles de degradar que las cadenas ramificadas. La introducción de ramificaciones en la molécula de hidrocarburo entorpece la biodegradación.
3. Los hidrocarburos saturados son más fáciles de degradar que los insaturados. La presencia de enlaces C-C dobles o triples dificulta la degradación.
4. Las cadenas largas de hidrocarburos alifáticos son más fáciles de degradar que las cadenas cortas de hidrocarburos. Los hidrocarburos con una longitud de cadena de menos de 9 carbonos son difíciles de degradar debido a su toxicidad para los microorganismos. Algunos microorganismos especializados (metanótrofos) pueden degradar estas cadenas cortas de hidrocarburos. La longitud óptima de cadena para la biodegradación parece ser entre 9 y 20 carbonos.

Los alcanos de cadena simple son básicamente degradados a través de la oxidación del grupo metilo terminal, seguido del desdoblamiento de la molécula entre el segundo y tercer carbono en la cadena.

3.3 MICROBIOLOGÍA DE LA DEGRADACIÓN DEL PETRÓLEO

Químicamente, el petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos, es decir, de compuestos ricos en carbono e hidrógeno, aunque contiene otros elementos minoritarios como azufre, oxígeno y nitrógeno; así como trazas de metales. Es compleja porque dada la capacidad del átomo de carbono de formar cuatro enlaces con otros átomos de carbono, se pueden organizar como cadenas ó como ciclos.

Algunos microorganismos pueden degradar de manera natural compuestos orgánicos y esta capacidad se explota para facilitar la degradación de contaminantes y para operaciones de limpieza de desechos in situ. La aplicación de ensayos de monitoreo sencillos y de alta resolución ha permitido identificar aquellas especies capaces de degradar los contaminantes mientras que el uso de

sondas génicas específicas permite determinar la abundancia relativa de estos microorganismos. El uso de novedosas técnicas y herramientas para la biorremediación in situ, en biofiltros y en biorreactores ha contribuido al rápido crecimiento de este campo; la biorremediación ha demostrado ser un complemento costeable y benéfico para ser usado en combinación con métodos químicos y físicos tradicionales como el composteo, la incineración y la extracción con solventes, en el tratamiento de desechos y en la descontaminación del medio ambiente.

Valderrama Blanco (2001), afirma que, a pesar de la relativamente larga historia de investigación en la biorremediación de derrames de petróleo, ésta continúa siendo una disciplina esencialmente empírica y muchos de los factores biológicos que controlan los procesos no han sido adecuadamente comprendidos. Existen evidencias experimentales que indican que los niveles de nutrientes, y su concentración relativa con respecto a los contaminantes, influyen la composición de las poblaciones de microorganismos degradadores, lo cual a su vez afecta la tasa de degradación de los contaminantes (www.bioplanet.ne/magazinc/bio_julago_2001/bio_2001_julago_reportaje.htm)

3.4. BIORREMEDIACIÓN: EL COMPOSTAJE Y LOS BIORREACTORES AERÓBIOS

El compostaje es un proceso microbiano aerobio que ha sido utilizado durante mucho tiempo para la degradación de los residuos orgánicos, p.e. hojas y que también puede ser empleados para la evacuación de diversos residuos peligrosos y petrolíferos, y para el tratamiento de suelos contaminados. Si se desea lograr un compostaje óptimo, será necesario tener una serie de condiciones. Debe existir una humedad adecuada (50-60% de contenido de agua), pero deberá evitarse un exceso de humedad (+70%) , ya que se interfiere con la aireación y hará descender el autocalentamiento por la gran capacidad calorífica del agua. El compostaje, con la ayuda de materiales espesantes generalmente inertes, tales

como: trocitos de madera, cascaras de arroz, también puede ser utilizado en la biodegradación de residuos químicos.

Unos residuos costeros contaminados con petróleo, procedentes de un derrame marítimo, fueron tratados con éxito en una pila de compost aireada (Labrie y Cyr, 1990). La arena, el barro y el material orgánico contaminados con petróleo fueron colocados sobre una lona impermeable, con una ligera pendiente para permitir la recogida de los lixiviados. La capa de grava por debajo del material contaminado contenía tuberías perforadas conectadas a un compresor de aire reversible.

Después de 180 días de funcionamiento, las concentraciones iniciales de petróleo de hasta un 30%, fueron reducidas hasta alcanzar valores por debajo de un 1 por ciento. En este momento, fueron vertidos los rechazos; durante el mismo tratamiento, el contenido de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA's) del contaminante se redujo desde las 283 ppm iniciales hasta 8 ppm.

El uso de microorganismos en la biorrecuperación depende de la capacidad de las cepas microbianas concretas para degradar contaminantes en compuestos menos tóxicos, que no causen daños ambientales o tengan efectos adversos sobre la salud humana. Para lograr esto, los microorganismos generalmente tienen que desarrollarse sobre la sustancia residual o contaminante. Los microorganismos consiguen energía y/o nutrientes para la formación de nuevas células como consecuencia del metabolismo catabólico de los sustratos que apoyan la vida.

La localización de la zona contaminada afectará a las perspectivas de biorrecuperación en función de la temperatura, el pH y la disponibilidad de agua. En cuanto a la temperatura, incluso las variaciones estacionales afectarán a la capacidad degradadora de los microbios; la temperatura afecta no solamente a la velocidad de la actividad enzimática, sino también a la biodisponibilidad, el transporte en las membranas celulares, etc. La acidez o alcalinidad del medio también influirán sobre la recuperación, afectando, por ejemplo, al crecimiento de los organismos y a la especie molecular de senobióticos (abióticos) presentes

Quizás lo más importante sea la disponibilidad de agua. Para la actividad biológica es imprescindible contar con un contenido de agua en el suelo.

Por lo general, el uso de tratamientos biológicos, permite llevar a cabo un proceso de tratamiento rentable que puede hacer descender el nivel de materiales tóxicos por debajo de los niveles máximos legales. Aunque, ocasionalmente, el proceso puede emplear más tiempo que los procesos abióticos como, por ejemplo, la incineración, en general consigue una mineralización completa, con lo que disminuyen las posibilidades de exposición de las poblaciones humanas a los residuos tóxicos o cancerígenos.

Existen diversas opiniones en relación a si los microorganismos tienen límites en sus capacidades digestivas, o si bien son capaces de degradar cualquier compuesto que el hombre puede producir (Sterrit, R.M 1988).

Los microbios pueden degradar multitud de compuestos bajo condiciones distintas; muchos compuestos sintéticos pueden también modificarse o transformarse mediante el uso de una bacteria, hongo o de algún tipo de población microbiana trabajando en asociación (Alexander,M., 1991). Estos procesos varían desde la putrefacción de comida hasta la limpieza de derrames de petróleo en las playas costeras. En muchos casos estos procesos son beneficiosos y esenciales. Después de todo, gran parte del proceso cíclico, orgánico e inorgánico, necesario para el mantenimiento del ecosistema es consecuencia de la actividad microbiana (Fliermans C.B., 1972).

El compostaje es un proceso de tratamiento común en todas las comunidades agrícolas que sirve como método para convertir los residuos en enmiendas de suelo reutilizables. Básicamente se trata de una conversión microbiana llevada a cabo bajo una serie de condiciones que limitan los tipos de bacterias y hongos, y de esta forma, sus actividades desarrolladas (Atlas, R.M y R. Bartha 1973).

Un compostaje óptimo requiere un riguroso control de humedad (40-60%) y de la temperatura. El perfil de temperatura de una pila de compost generalmente permite que los microorganismos puedan atacar sucesivamente unidades diferentes del residuo peligroso. También es muy importante la aireación, y con frecuencia se presta mucha atención al método de introducción del aire. Las pilas de compost pequeñas se ventilan normalmente mediante el volteo mecánico del material que está fermentándose. Forzando el aire a través de la pila de compost o succionándolo mediante un sistema de vacío, se consigue mejorar la ventilación. Los residuos litorales contaminados con petróleo han sido tratados con éxito mediante un compostaje aireado. (Labrie, P. y B. Cyr, 1990).

El bioaumento, proceso de adición de nutrientes en ambientes contaminados para estimular la destrucción biológica de los contaminantes, se ha utilizado con éxito durante algún tiempo para la recuperación de suelos contaminados con derrames de petróleo (Davis-Hoover, W.J 1991).

3.5. USOS DEL COMPOST

3.5.1. En horticultura :

En la Estación Experimental Agrícola de La Molina, en 1951 se iniciaron una serie de experimentos empleando compost (10, 20, 30 y 40 TM/Ha) en los principales cultivos hortícolas: col, lechuga, nabo chino, espinaca y maíz (choclo).

En col la aplicación de 20 TM de compost mostró una mayor precocidad, habiéndose obtenido la mayor utilidad con el nivel de 30 TM de compost/Ha; además se ha podido verificar que existe un importante efecto residual, ya que se obtuvo una buena cosecha en el siguiente cultivo sin haber realizado un nuevo abonamiento. En lechuga, también se observó resultados similares. En maíz y choclo no se obtuvieron diferencias a estos niveles, recomendándose que se hagan experimentos en suelos pobres en materia orgánica.

Posteriormente, en 1973, se evaluó el efecto del compost en los cultivos de vainita y tomate y se observó que no hubo grandes incrementos en el rendimiento.

Desde 1985 se viene realizando una amplia promoción de esta técnica en las comunidades campesinas de la zona andina a cargo de algunas instituciones privadas (organizaciones no gubernamentales) que ejecutan proyectos de desarrollo rural integrales hacia el interior del país.

Actualmente esta técnica viene siendo difundida masivamente por otros proyectos de desarrollo rural de diferentes partes del país. (Guerrero, 1993)

Mediante la adición de compost se cosecha el máximo producto posible de un espacio determinado; la llave de su éxito, es el suelo fértil, rico en materia orgánica. El compost retiene nutrientes en el suelo, que serían lixiviados por el agua de lluvia o riego. Provee alimento para lombrices de tierra y microorganismos beneficiosos y facilita la penetración profunda de la raíz, permitiendo un menor cuadro de plantación.

3.5.2. En floricultura

El compost se utiliza como insumo para preparar mezclas de suelos o para camas de germinación y propagación (Guerrero, 1993)

3.5.3. En forestación: repique y siembra directa

3.5.3.1. Introducción

En el método del repique la extracción de las plántulas del almácigo y su aplicación al suelo son dos de las fases más críticas en la producción de plantones (en el repique, que es donde más frecuentemente se falla en los viveros de la sierra). En latifoliadas (eucalipto, por ejemplo), una plántula con dos a cuatro hojitas; además los cotiledones, responden muy bien al repique. Con plántulas de estos tamaños, se promueve un crecimiento normal y sin interrupciones de la semilla al plantón. Además, se reduce el peligro de la mala formación de raíces debido al repique deficiente.

El método de siembra directa generalmente se usa cuando las especies no toleran bien el repique, cuando hay abundancia de semilla o cuando el precio de las semillas es bajo y se conoce su porcentaje de germinación. Este método elimina el repique y, por consiguiente, si se aplica bien, la mala formación de raíces debido al mismo. Además, requiere menos mano de obra; sin embargo, la siembra directa exige cuidados especiales.

3.5.3.2. Definición de repique

En el repique, primero se hace un hueco vertical en el recipiente lo suficientemente grande para que las raíces de las plántulas, quepan sin que se deformen. Generalmente se usa un repicador de madera; se deben procurar siempre

hacer el hueco en el centro de la bolsa, a fin de que todas las raíces secundarias en el cepellón, tengan la misma distancia a la pared del recipiente.

Nunca debe permitirse que las raíces queden dobladas hacia arriba.

Esta fase de la producción de plántulas por repique es de gran trascendencia.

Hay que evitar siempre, el regar tanto en exceso, como en déficit.

A medida que se avanza en el repique, lo ideal es sombrear la cama para proteger las plántulas de la insolación; es mejor repicar en días frescos.

En este proceso del vivero, mucho más que en otros, la capacitación y supervisión continúa son indispensables; no se requiere mucho tiempo para observar si se está repicando bien o mal. Sabiendo que el crecimiento futuro del árbol depende en gran parte de un repique bien hecho, hay que tomar todas las medidas necesarias para lograrlo.

3.5.3.3. Definición de siembra directa

Es una técnica de siembra, donde las semillas germinadas deben ser colocadas en el suelo, con la mayor brevedad posible, cuando apenas este emergiendo la raicilla. Se debe mantener una profundidad uniforme, la cual no debe ser mayor de una y media veces al diámetro de la semilla.

La siembra directa se usa, cuando hay abundancia de semilla o es barata y se conoce su porcentaje de germinación; en caso contrario se siembra en almacigo.

Antes de hacer la siembra directa, hay que efectuar una prueba de germinación. Si las semillas tienen un porcentaje de germinación menor de 80% es mejor usar tratamientos especiales.

3.5.3.4. Especies utilizadas en el bioensayo

1. MOLLE COSTEÑO

a. Clasificación taxonómica:

Según la clasificación de Engler (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS 1990):

División	:	Fanerógama
Sub-división	:	Angiosperma
Clase	:	Dicotyledoneae
Sub-clase	:	Archichlamydeae
Orden	:	Sapindales
Super-familia	:	Anacardiincae
Familia	:	Anacardiaceae
Género	:	Schinus
Especie	:	Schinus terebinthifolius Raddi

b. Descripción botánica:

Este arbusto ornamental alcanza una altura de hasta 7 m; sin embargo, en los jardines costeros alcanza rangos que van entre 8 a 10 m. Su tronco corto es frecuentemente curvo, de color grisáceo y estriado o escamoso, con un diámetro de 20 a 30 cm. Tiene savia resinosa aromática, la cual se torna oscura al exponerse a la luz (Kunkel, 1978; Little et al, 1974).

c. Distribución geográfica:

Según Kunkel (1978) esta especie es nativa de la región del Chaco (Sur de Brasil, Paraguay y Norte de Argentina); ampliamente distribuida a Centro América, a la parte del límite sur de los EE.UU. y hacia los trópicos del viejo mundo (Little et al, 1974).

FICHA SILVICULTURAL
***Schinus terebinthifolius* Raddi, “molle costeño”**

- 1. LUGARES CON POTENCIAL SEMILLERO:** Lima

- 2. FENOLOGIA:** Flores: Abr-May
Frutos: May-Jun; Recolección: Jun-Jul-Ago

- 3. CARACTERÍSTICAS DE FRUTOS Y SEMILLAS (1):**
 - Tamaño promedio de fruto : 4.7 mm diám(2)
 - Promedio semillas pro fruto : 1
 - Semillas/Kg : 40 000-80 840
 - Peso por 1 000 semillas : 19.3 g

- 4. FORMAS Y PARTICULARIDADES DE LA SEMILLA:**
Globosa o ovoide de 3.2 mm de diámetro. La superficie es lisa y de color pardo claro (2).

- 5. PROPAGACIÓN SEXUAL:**
 - Tratamiento pre-germinativos: Remojo por 30 minutos en agua caliente y eliminación de pulpa.
 - Inicio de la germinación: 5-13 días
 - Fin de germinación: 26 días
 - Tipo de germinación: Epigea
 - Poder germinativo : 74.75-91%
 - Almacigo : Si
 - Siembra directa en bolsa: Si (en tierra agrícola) (3)

(1) El análisis proviene de semillas con menos de un año de almacenamiento desde la fecha de cosecha.

(2) Según Little et al (1974).

(3) Experiencias de campo en el Vivero Forestal de la UNALM.

d. Usos

Su principal uso en el país es en forestería urbana, por ser una especie tolerante a la sequedad del suelo, además de ser vistosa y muy bien adaptada a nuestro medio.

En otros países la resina que se recoge del tronco, es comercializada con el nombre de “bálsamo de la misión”. Su leño es considerado en Brasil entre uno de los mejores; de madera compacta y dura presenta una alta resistencia cuando es expuesta a los agentes atmosféricos en forma prolongada; aún en ambientes húmedos; siendo utilizada por su bella coloración en la fabricación de muebles de alto valor comercial (Lanzara y Pizzetti, 1992).

2. HUARANGILLO

a. Clasificación taxonómica:

De acuerdo al Sistema de Clasificación de Cronquist (1982), el encuadre taxonómico de *Acacia horrida* es el siguiente: (REYNEL., CARLOS. LEÓN, CARLOS.1990)

División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Fabales
Familia	:	Fabaceae
Subfamilia	:	Mimosoideae
Género	:	Acacia
Especie	:	<i>Acacia horrida</i>
Nombre común	:	Huaranguillo

b. Descripción botánica:

Fagg, Barnes, Marunda (1981) afirman que, en Africa, *Acacia horrida* se da naturalmente en una extraordinaria variedad de climas con distribución de precipitaciones que varía desde un máximo de verano, pasando por las de distribución uniforme, hasta un máximo de invierno. En cada una de estas zonas la precipitación media anual puede variar desde 200 a 1500 mm. Las temperaturas medias anuales son también variables desde un máximo de 24°C en Bazaruto hasta un mínimo de 12°C; en la costa de Zululandia, la temperatura máxima diaria puede alcanzar los 40°C y la humedad relativa rara vez descende del 50%. La especie sobrevive a todas, excepto a las heladas más severas de África meridional (-12°C en Matabeleland, Zimbabwe) que es uno de los factores que se explican su ubicuidad en la región. También tolera el viento y la sal del mar en la costa. (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS.1990).

Según Ross (1978) en el Perú se adaptan en los climas áridos, semihúmedos y mediterráneos con 200 a 800 metros. Soporta las heladas. (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

c. Distribución geográfica

Lo que se expone a continuación es un extracto de Barnes et al. (1996). “Geográficamente la *Acacia horrida* es el árbol más extendido en el sur de África. Dentro de la región existen, sin embargo, poblaciones aisladas que cabría esperar que hayan tenido la oportunidad de divergir genéticamente. Entre ellas, las más notables son las poblaciones situadas fuera de la costa de Mozambique, particularmente las de las islas del archipiélago de Bazaruto que son las más distantes del continente. También están aisladas las poblaciones de las islas del Delta de Okavango en Botswana. En mayor escala, las poblaciones del norte de Namibia, sur de Angola, Zambia, Zimbabwe y Malawi están todas separadas de la población principal de Sudáfrica y entre sí por zonas áridas asociadas

principalmente con valles profundos, secos y cálidos de los principales ríos” (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

En el Perú, se encuentra distribuida en gran parte de la costa, desde Piura hasta Tacna, principalmente en la costa central; en el litoral en zonas cercanas al mar, en suelos arenosos salados, con fuerte brisa marina p.e. Santa Rosa; mientras que en la sierra, en los valles interandinos como en Huánuco y en la ceja de la montaña en Tingo María y Oxapampa desde los 800 a 2000 m.s.n.m., (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

d. Usos

La madera de *Acacia horrida* es dura y resistente, se usa para la construcción y también para leña y carbón, las hojas frescas se usan como forraje, éstas poseen 13.6% de proteínas, utilizado especialmente en la crianza del ganado caprino, de la corteza y vainas se obtienen taninos, útiles para realizar la curtiembre de pieles; por último, ha demostrado poseer condiciones para la apicultura, (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

Según Rossl (1978), en agroforestería, es utilizada en asociación de cercos vivos y cortinas rompevientos en la protección de cultivos agrícolas; es restauradora y enriquecedora de la fertilidad natural de los suelos por ser leguminosa, de manera que favorece la calidad de las especies que el suelo soporta, (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

Según Fagg, Barnes, Marunda (1981) en Africa, *Acacia horrida* es una especie de gran importancia, debido a que produce una goma de alta calidad que puede venderse como cultivo comercial. Muchos miles de agricultores de subsistencia de Sudán, dependen de la goma arábica, tiene hojas nutritivas y mejora también la fertilidad del suelo de las regiones de Sahel y la *Acacia horrida* puede desarrollarse bien en una extensa variedad de tipos climáticos y edáficos desde suelos arcillosos pesados a dunas arenosas y desde zonas de precipitaciones de verano a las de invierno, proporcionando forraje nutritivo, leña y goma en Africa

meridional. Esta especie ha sido utilizada en la estabilización de dunas arenosas, (REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990).

En la costa central, específicamente en Chincha-Ica, se conoce por información personal de los campesinos que esta especie es utilizada como protección en cercos vivos y cortinas rompevientos, en protección de cargas en camiones contra robos, como mejorador de suelos, estabilizador de dunas arenosas, forraje, apicultura, leña y carbón; gracias a su alto poder calorífico, también se utiliza como herramienta de arado en la siembra de alfalfa (ramas secas).

3. MOLLE SERRANO

a. Clasificación taxonómica

Nombre común	:	“Molle”
Nombre científico	:	Schinus molle L.
Sinónimos botánicos	:	S. areira L.
Familia	:	ANACARDIACEAE

b. Descripción botánica

Árbol de unos 5 metros de altura en promedio, coposo, con el fuste muy robusto, nudoso, y la corteza agrietada, de color claro; es distinguible por sus hojas con láminas alargadas, resinosas, muy olorosas a trementina al estrujar.

Ramitas Terminales: Pendulares, aproximad. 3-5 mm de diámetro, color verde o marrón-rojizo, muy regulares, lisas y resinosas.

Hojas: Compuestas imparipinnadas, alternas esparcidas, aprox. 20-30 cm long., con el raquis doblemente acanalado. Foliolos 16-20 pares, lanceolados de (2-) 2.5 - 3.5 (-4) cm long. por 0.4 a 0.8 cm de ancho; el ápice agudo, a menudo con un breve (1 mm) acumen, o en casos tridentado o denticulado; base aguda y algo inequilátera; borde entero, a veces irregularmente denticulado, nerviación pinnada, con 22-26 pares de nervios secundarios; el nervio central impreso en haz y envés;

las láminas sésiles, cactáceas, glabras, resinosas y olorosas a trementina al estrujar.

c. Distribución geográfica

Toda la zona Andina; en el Perú, desde la costa hasta las partes altas de los valles interandinos de la vertiente occidental, de Cajamarca a Arequipa y Puno.

Rango altitudinal: 100-3200 msnm; las mayores poblaciones naturales emplazadas entre los 800-2200 msnm.

Temperatura: Observada en zonas en T° media anual de 10-23°C. No se observa en zonas con ocurrencia de heladas.

Requerimiento de suelo y agua: Esta especie prefiere los suelos sueltos, de textura franca (rango-arenosa) y profundos. No responde bien en zonas pedregosas. Tolerancia bien la aridez extrema y las sequías, no obstante, se adapta igualmente en zonas con inundación estacional.

d. Usos

El “Molle” está presente con mucha frecuencia conformando cercos perimétricos en la Sierra del Perú, sobre todo en zonas abrigadas. Ostenta un rápido ritmo de crecimiento; en la Cuenca del Rímac se registran alturas de 1.5 m en 1.5 años, con una generación de biomasa de unos 4-5 Kg. en este lapso.

Tiene buena capacidad de rebrote; por ello puede manejársele para producir éstos en forma continua.

Las partes vegetativas de la planta están impregnadas por sustancias resinosas, y el follaje es apreciado por los agricultores para el abonamiento de los sembríos y por tener propiedades repelentes de los insectos. En la Sierra Central del Perú se le observa también utilizado en la conformación de barreras vivas para la

formación de terrazas agrícolas; asimismo, en la protección ribereña y la estabilización de canales de regadío.

Entre las principales potencialidades se observa que:

- La madera es de aceptable calidad; la leña y carbón son apropiados.
- Los frutos de la planta, hervidos y fermentados, son materia para la elaboración de una “chicha” o bebida espirituosa tradicional. Los mismos se emplean como condimento y saborizante, uso extensivo a la fabricación de embutidos.
- De las hojas se obtiene aceite esencial, el cual es aromatizante y se emplea en la industria dentífrica, perfumería y jabonería.
- La especie es melífera. La miel producida tiene un aroma especial que recuerda al de la planta.

Cuadro N° 2. USOS EN AGROFORESTERÍA Y PRODUCTO OBTENIDOS.

Agroforestería	Productos/ Subproductos
<ul style="list-style-type: none">- Cercos vivos para cobijo de los cultivos: cortinas rompevientos.- Follaje como fuente de materia orgánica. (con propiedades repelentes de las plagas).- Barreras vivas, estabilización de riberas y canales.	<ul style="list-style-type: none">- Madera y leña.- Elaboración de bebidas.- Tinte.- Frutos (condimento).- Melífera.- Perfumería (aceite).

Fuente: (Reynel, 1990)

3.5.4. El compost como fertilizante

El empleo de semillas seleccionadas y el mejor conocimiento de técnicas de cultivo ha permitido obtener mayores rendimientos en las cosechas. Este incremento de la producción exige una mayor demanda de abonos, con lo cual se va incrementando el grado de mineralización de los suelos que sufren una disminución de su contenido en materia orgánica y humus.

El compost actúa aportando nutrientes directamente asimilables por la planta y mejorando las condiciones del suelo, aportando humus y materia orgánica que será mineralizada.

El compost se obtiene industrialmente, por la transformación biológica de la materia orgánica que contienen los residuos. De esta transformación, resulta una enmienda orgánica de características importantes que sitúan al compost en un lugar destacado en la fertilización de todo tipo de terrenos agrícolas, tanto por la mejora del suelo como soporte fisicoquímico, como en relación con la capacidad de retención de agua y otras características que aumentan su fertilidad inicial.

Los ácidos resultantes de los procesos de degradación de la materia orgánica disuelven parte de los productos minerales del suelo y los hacen aprovechables para la nutrición de las plantas. La acción microbiana favorece la desaparición del efecto residual de la aplicación de herbicidas y otros productos fitosanitarios.

El nitrógeno contenido en el compost se encuentra en forma asimilable por las raíces, con la ventaja de ser retenido en el horizonte A - B (capa cultivable del suelo), evitando ser arrastrado por las aguas de lluvia o de riego a capas más profundas fuera del alcance del sistema radicular. La modificación que produce en la población microbiana del suelo la hace más apta para la asimilación del nitrógeno.

El contenido en fósforo y potasio del compost no suele ser elevado, pero, la modificación de las características físico - químicas del terreno hace que se incremente el grado de disponibilidad de estos elementos para la planta. El compost incorpora al terreno micro elementos (cobre, magnesio, zinc, manganeso, hierro, boro, etc.) que son muy necesarios para la actividad y desarrollo vegetativo de las plantas.

También reduce la necesidad de pesticidas químicos al producir plantas saludables que son menos susceptibles a plagas de insectos y enfermedades. También proporciona un saludable entorno biológico por el alimento que provee para microorganismos beneficiosos, gusanos e insectos de suelo.

El compost reduce la erosión y mejora la estructura del suelo, los suelos arenosos retendrán mejor el agua mientras que las arcillas desaguarán más rápido. El mejor drenaje permite al agua fluir a capas más profundas en vez de encharcar la superficie y correr por la línea de pendiente. También ayuda al crecimiento de raíces que retienen el suelo.

Influye en forma directa en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas. Aumenta notablemente el porte de las plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad. Durante el trasplante previene enfermedades y evita el shock por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Se puede usar sin inconvenientes en estado puro, y se encuentra libre de nemátodos.

3.6. VENTAJAS DEL USO DEL COMPOST:

- Favorece la formación de micorrizas.
- Por su acción antibiótica, aumenta la resistencia de las plantas a las plagas y agentes patógenos.
- Su pH neutro lo hace sumamente confiable para ser usado con plantas delicadas.
- Aporta y contribuye al mantenimiento y desarrollo de la micro flora y micro fauna del suelo.
- Favorece la absorción radicular. Facilita la absorción de los elementos nutritivos por parte de la planta.
- Transmite directamente del terreno a la planta; hormonas, vitaminas, proteínas y otras fracciones humificadoras.
- Aporta nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro y los libera gradualmente, e interviene en la fertilidad física del suelo, porque aumenta la superficie activa.
- Absorbe los compuestos de reducción que se han formado en el terreno, por compresión natural o artificial.
- Mejora las características estructurales del terreno, desligando los arcillosos y agregando los arenosos.
- Neutraliza eventuales presencias contaminadoras (herbicidas, ésteres, fosforitos).

Cuadro N° 3. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA MEDIA DEL COMPOST

pH	7.8-8
M.O. (Materia Orgánica)	35-40%
C/N	16-20
Humedad	40-45%
Nitrógeno Total	1.5-1.8%
Fósforo total	0.8-1%
Potasio (K)	1%
Calcio (Ca)	1%
Magnesio (Mg)	0.9-1%
Cobre (Cu)	4%
Zinc (Zn)	3-4%
Manganeso (Mn)	0.5%
Germinación	Inferior al 8%
Presentación	Granos inferiores a 10mm
Densidad	0.48-0.5 ton./m ³
Nemátodos	Ausentes

Fuente: (Abad, 1993)

Cuadro N°4. PARÁMETROS DE CONTROL DE ESTABILIDAD DEL COMPOST

Temperatura	Estable
Color	Marrón oscuro-negro ceniza
Olor	Sin olor desagradable
pH	Alcalino (anerobic., 55°C, 24 hs.
C/N	>20
Nro. de termófilos	Decreciente a estable
Respiración	0<10 mg/gr. compost
DQO	<700 mg/gr., peso seco
ATP	Decreciendo a estable
CEC	>60 meq./100 libre de cenizas
Actividad de enzimas hidrosolubles	Incrementándose a estable
Polisacáridos	<30-50 mg., glúcidos/gr. peso seco
Reducción de azúcares	35%
Germinación	>8
Nemátodos	Ausentes

Fuente: (Abad, 1993)

3.7. GALLINAZA

La gallinaza es un apreciado fertilizante orgánico, relativamente concentrado y de rápida acción. Lo mismo que el estiércol, contiene todos los nutrientes básicos indispensables para las plantas, pero en mucha mayor cantidad.

Cuadro N° 5. CONTENIDO MEDIO DE AGUA Y NUTRIENTES EN LOS EXCREMENTOS DE DISTINTAS AVES (EN % DE LA MASA HÚMEDA)

Clase de aves	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Gallinas	56	2.2	1.8	1.1	2.4	0.7
Patos	60	0.8	1.5	0.5	1.7	0.3
Gansos	80	0.6	0.5	0.9	0.6	0.3

Fuente: (Primavesi, 1982)

Todos los nutrientes en la gallinaza se encuentran en compuestos asimilables por las plantas. La parte principal de nitrógeno está representada en forma de ácido úrico que en el almacenamiento se convierte primero en urea y después, en nitrato amónico.

El contenido de materia nutritiva en la gallinaza oscila mucho en dependencia de la composición de los alimentos utilizados para las aves.

4. MATERIALES Y MÉTODOS:

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA EXPERIMENTAL

4.1.1 Para la biorremediación:

El proyecto de biorremediación se ha realizado en la Refinería. La Pampilla, ubicada en el distrito de Ventanilla, Provincia Constitucional del Callao.

Coordenadas Geográficas (UTM) Norte 8°681,706.26 y Este 268,265.85 en base al BM de la Refinería.

4.1.2 Para el bioensayo:

Los dos bioensayos se realizaron en el Vivero Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la Urbanización Las Viñas del distrito de La Molina.

4.2. MATERIALES

4.2.1. Fase de campo

- Para medir Temperatura:

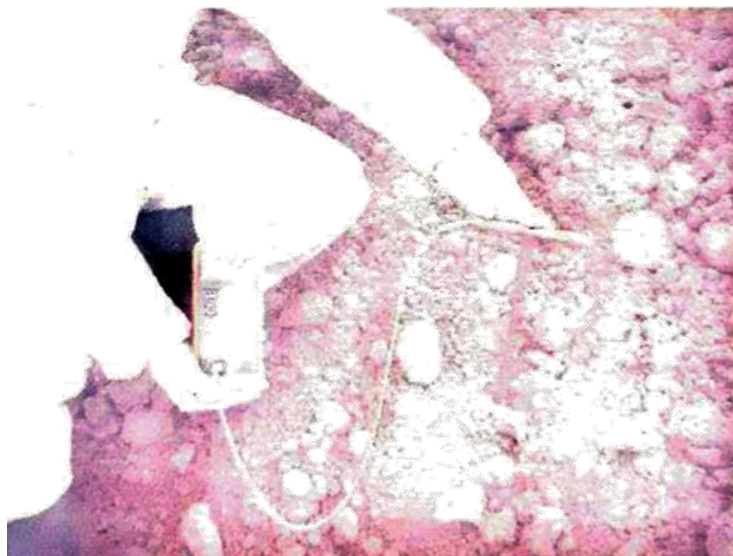


Foto N° 1: Control de Temperatura

- Medidor de temperatura de punta – WIKA aprox. 1.20 m.
- Tablero acrílico.

- Para medir humedad:
 - Bolsas ziploc (1 caja)
 - Espátula
 - Tenazas
 - Horno microondas (1000 Watts.)
 - Desecador con base de porcelana
 - Vasija de porcelana
 - Balanza electrónica (1500 g)

- Para medir pH:



Foto N° 2: pH METRO

- Agua desionizada (menor a 1 micromol/cm)
- Becker de 200 mL
- Muestra de campo
- Indicador de pH digital
- Cronómetro

- Para la toma de muestras de campo:



Foto N°3: MUESTREO

- Bolsas ziploc (1 caja)
- Bateas (2)
- Lampas (2)
- Frascos de vidrio de 300 mL (2)

4.2.2. Fase de laboratorio

- Para medir el contenido de hidrocarburos:
 - Análisis de aceites y grasas por el método gravimétrico (Envirolab)
 - Muestra de suelo
 - Frasco de 300 ml
 - Equipo Petro Flag : para medir el contenido de Hidrocarburos. Policíclicos Totales (TPH)
 - 12 tubos de calibración para muestras de suelo

12 filtros de cadena de calibración
12 vasos de cultivo con tapa rosca
12 espátulas para muestreo de suelo
11 ampollas delineadas (solventes de calibración).
1 ampolleta (solución de calibración).
Etiquetas autoadhesivas



Foto N° 4: Laboratorio

- Balanza digital.
- Cronómetro.

4.2.3. Fase del bioensayo

- Semillas de huaranguillo (*Acacia horrida*).
- Semillas de mimosa (*Mimosa longifolia*).
- 45 plantitas de molle serrano (*Schinus molle*).
- 45 plantitas de molle costeño (*Schinus terebenthifolius*).
- 45 plantitas de myoporum (*Myoporum sp.*).
- 225 bolsas de vivero.
- Sustrato de vivero para 115 bolsas (70 kg. aprox).
- Suelo contaminado para 115 bolsas (70 Kg. aprox).

- Agua
- Etiquetas para identificar numeración
- Pala de mano
- Carretilla
- Área necesaria para el experimento: 12 m² aprox. (7.5m x 1.5m).
- Manguera y regaderas
- Gallinaza

Cuadro N° 6. ANÁLISIS DE LA GALLINAZA UTILIZADA EN EL COMPOSTAJE

N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	M.O. %	pH	C.E. dS/m	Humedad %	Na %	C %org	C/N
1.76	1.74	2.04	3.52	0.99	33.59	8.00	19.90	18.12	0.58	19.48	11.07

Fuente: (Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - UNALM)

4.3. MÉTODOS

4.3.1. Metodología aplicada para la biorremediación

4.3.1.1. Para la construcción de la biopila

1. Compactación del suelo con aplanadora (para reducir la capacidad de infiltración del suelo).



Foto N° 5: Compactación terreno

2. Instalación de tuberías de pvc ranuradas conectadas a un soplador:

- Diámetro de tubería central 2 pulgadas
- Diámetro de tuberías laterales 1 pulgada
- Diámetro de ranuras de 0.5 mm.



Foto N° 6: Red de tuberías

3. Colocación de la membrana geotextil para garantizar la impermeabilidad.

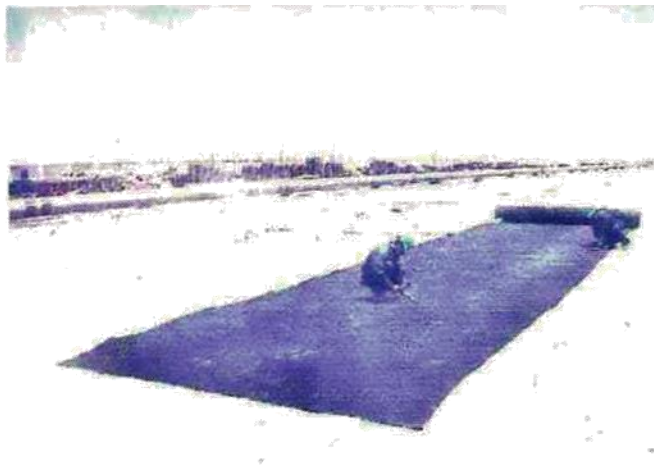


Foto N° 7: Clavado de geotextil

4. Mezcla de 3 partes de suelo contaminado con hidrocarburos (75%), con 1 parte de gallinaza (25%) al interior de la biopila.



Foto N° 8: Mezcla caliente

5. Dimensiones de la biopila

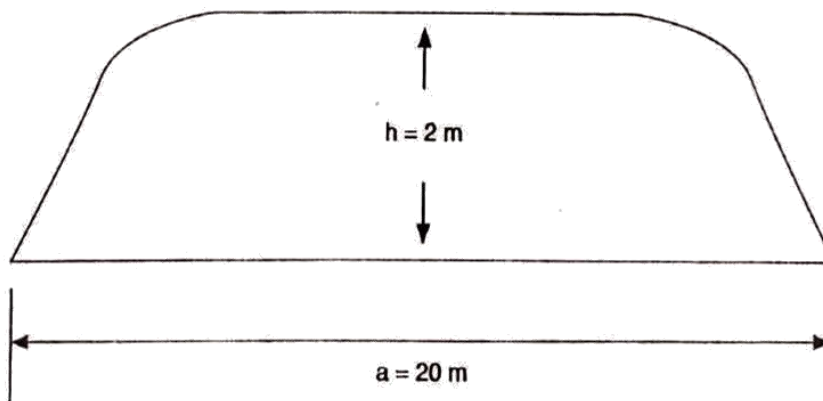
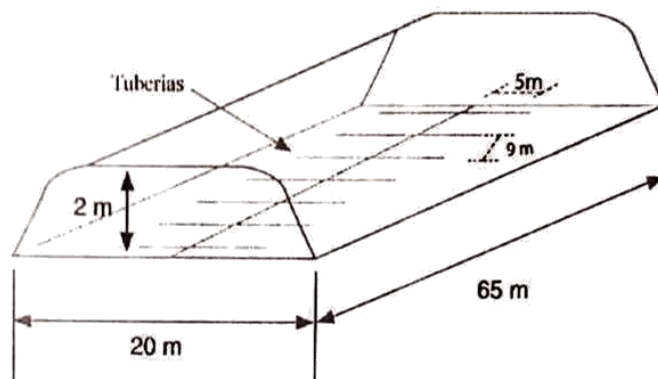
Largo = 65m

Altura = 2 m

Ancho = 20

Volumen = 1150 m³

Figura N° 1 : Diagrama de la biopila



6. Adición de agua con el camión cisterna.



Foto N° 9: Riego de la Biopila

7. Encendido del aireador y generador eléctrico: 20 HP de potencia



Foto N° 10: Aireador

4.2.1.2. Para el muestreo en campo

- Para la Temperatura:

El método de campo se realiza teniendo en cuenta toda la seguridad que se tiene que proveer para la toma de temperatura, es así el uso obligatorio de uniforme Típex, lentes, guantes de cuero, mascarillas, casco, botas de jebe punta de acero y cal viva para volver al área de laboratorio.

El trabajo empieza subiendo a la biopila y tomando la temperatura en nueve puntos a 3 profundidades de 0.20 cm, 0.70 cm y 1.20 cm. Se toma la temperatura del ambiente, la fecha y la hora a la que se toma la misma, hay que tener en cuenta que la temperatura debe oscilar entre 40-60°C es por eso que se prepara la gráfica de los datos y se evalúa el estado de la misma, porque al elevarse la temperatura podría causar la muerte de los microorganismos. Este parámetro se está tomando cada semana por biopila después del volteo.

- Para la humedad:

Para la humedad de igual forma se tiene que tener los mismos cuidados de seguridad, sólo se analizará en el mismo instante del análisis para la determinación de concentración de hidrocarburo.

Se determinará una muestra representativa de aproximadamente 100 gr y se someterá al horno microondas (600 Watts como mínimo) por espacio de 8 minutos a la máxima potencia, se saca la muestra del horno y se pesa. Luego se recalienta la mezcla por otros dos minutos, rotándolo 90 grados desde su posición original. Después del recalentamiento la muestra se pesa nuevamente y se continua con el ciclo de recalentamiento y pesado por intervalos de 1 minuto hasta que la variación en el peso sea insignificante.

Si se observa que la muestra empieza a quemarse, se reduce la potencia del horno y/o se acortan los tiempos de calentamiento.

Una vez observado que la diferencia en el peso es insignificante, se coloca dentro de un desecador con tapa, para su respectiva conservación del ambiente húmedo hasta su enfriamiento y así poder calcular su respectivo peso seco y expresarlo en porcentaje de humedad %; ésta debe oscilar entre 20-30% para el proceso de conservación microbiana de las bacterias, en caso de subir el contenido de humedad podría ocasionar la poca oxigenación de las bacterias.

Después de determinar el tiempo de secado requerido para un horno microondas en particular, así como para un tamaño de muestra y material específico se puede continuar utilizando de manera continua los periodos de secado (NRAES, 1992)

- Para medir pH:

El pH en los suelos orgánicos tiene un espectro grande a los microorganismos debido a una gran variedad de bacterias, pues el rango preferido está entre 6.5-8; el pH es importante para las biopilas que contienen un alto contenido en Nitrógeno, un pH alto por encima de 8.5 reacciona el nitrógeno, formando compuestos como el amoníaco, elevándose demasiado y pudiendo así causar una toxicidad en las bacterias y para controlarlo se deberá agregar al compostaje cal, cenizas o aditivos que bajen el amoníaco.

Se toma una muestra representativa de 50 gramos de suelo de biopila, se muestrea sólo cuando sacamos la muestra para el análisis de contenido de hidrocarburo, luego se mide 150 ml. de agua destilada y se mezcla con la muestra de suelo durante un minuto y se deja reposando 15 minutos y se introduce el pH metro en el líquido flotante y se anota la lectura.

- Para el Laboratorio:

El muestreo de la biopila en campo es importante para la determinación de hidrocarburos en la biopila y cómo va el proceso de degradación de suelo contaminado.

Consiste en la toma de 20 muestras en bolsas ziploc de aproximadamente 300 gramos, alrededor de la biopila se extraen unas 16 muestras y 4 en la parte superior, con ayuda de la excavadora para profundizar la muestra.

Las 20 muestras son llevadas al laboratorio, cada bolsa es vaciada a una vasija para su respectiva homogenización manual; luego se llena un frasco al ras de 300 ml. y el resto de material será de vuelta a la biopila, el frasco al ras es vaciado a otra vasija donde se irá depositando todo el material de los 20 frascos; al final se sacarán solo 2 muestras de los 20 frascos vaciados en la vasija.

Luego se envía 1 muestra al Laboratorio Envirolab-Perú S.A.C, el cual realiza un análisis de Grasas y Aceites e Hidrocarburos (Método Gravimétrico) y la otra muestra se analizará en el Laboratorio instalado (Petro Flag).

4.2.1.3. Para el laboratorio

- Para la concentración de hidrocarburos (DEXSIL):

En este método una vez traída la muestra de campo, la parte más importante y rápida de determinar el contenido de hidrocarburo en la muestra, es el usado con el equipo Petro Flag de Dexsil. Es un instrumento de campo para poder determinar rápidamente el contenido de hidrocarburo en porcentaje o ppm. Paralelo a este resultado se obtendrá uno similar de otro laboratorio y se comparará obteniendo curvas y así obtener una lectura, peso y factor de calibración deseado.

El análisis consiste en pesar una muestra cernida por la malla N° 10. En un principio no se puede determinar que hidrocarburo se tenía contaminando el suelo, dato importante para poder elegir el Factor de Caracterización (FR o Response Factor) del material y por otro lado también poder determinar el peso ideal en gramos.

Para poder determinar estos factores, se realizaron varias pruebas en el laboratorio y comparábamos con las enviadas a Envirolab, en el equipo del Petro Flag se determinó que si era demasiada la concentración de hidrocarburos no daba ninguna lectura en el equipo, comenzando así a experimentar con diferentes pesos hasta obtener por su coloración pesos determinados; de todos los pesos se llegó a la conclusión que para suelos de coloración clara y libre de hidrocarburos aparentemente se utilizará un peso de 10 gr como lo manda el equipo Petro Flag y para suelos de coloración oscura y alta contaminación aparentemente un peso de 0.5 gr para que el equipo pueda obtener una lectura o en todo caso nos demuestre un error y digamos que el suelo esta contaminado.

4.2.2. Metodología aplicada para el bioensayo

4.2.2.1 Bioensayo de repique y siembra directa

El bioensayo se llevó a cabo para confirmar o descartar la posibilidad de asignarle un uso al suelo en pleno proceso de biorremediación. Dada la incertidumbre en la posibilidad de utilización de suelo, aparentemente inapropiado para el crecimiento de plantas, surge la inquietud de confirmar si es posible darle un uso productivo al suelo contaminado con hidrocarburos. para lo que se condujeron dos pruebas: repique y siembra directa.

De ser factible su utilización se estaría ganando tiempo y recursos económicos; ya que no habría la necesidad a esperar que el proceso se complete, si lo que se pretende es la propagación de plantas *in situ*.

El bioensayo se llevó a cabo en las instalaciones del Vivero Forestal de la UNALM, duró 46 días comprendidos entre el 25 de Septiembre al 10 de Noviembre del 2002. La metodología aplicada fue la siguiente:

1. Elección de especies forestales apropiadas para establecerse en la refinería (se ha tomado en cuenta, como principal factor su exigencia en agua y su afinidad por los suelos arenosos). Las especies utilizadas fueron:

- Molle costeño.
- Molle serrano.
- Myoporum.
- Mimosa
- Huaranguillo.

Para la prueba de repique, se utilizó Molle costeño, Molle serrano y Myoporum; mientras que para la prueba de siembra directa se utilizó Mimosa y Huaranguillo.

2. Se usaron 15 individuos de cada especie. para cada tipo de sustrato (3 tipos). A su vez se realizaron tres repeticiones de 5 individuos para cada especie.

3. Preparación del suelo:
 - a. Sustrato de vivero: 100 % sustrato de vivero (testigo).
 - b. Sustrato de vivero / sustrato contaminado: 50% sustrato de vivero
50% sustrato contaminado.
 - c. Sustrato contaminado: 100% sustrato contaminado.
- Nota 1: Composición del sustrato de vivero:
- 1/3 de arena de río.
 - 1/3 de tierra de chacra.
 - 1/3 de guano.
- Nota 2: El sustrato contaminado se refiere al suelo en pleno proceso de biorremediación, con un contenido de 1.64 % de hidrocarburos.
- Nota 3: El contenido de hidrocarburos de sustrato de vivero / sustrato contaminado es de 0.84 %
4. Repique y Siembra directa.
 5. Evaluación cualitativa de los resultados en base al número de individuos vivos y muertos.

4.2.2.2. Procedimiento aplicado para el repique

El almácigo se riega generosamente 1 ó 2 horas antes de la extracción de las plántulas. Se extraen las plántulas más frescas y turgentes, las cuales sufren menos al ser extraídas del sustrato del almácigo. Una vez extraído un número razonable de plántulas, se llevan sin demora, previa rigurosa selección, a las camas de repique; donde las bolsas han sido regadas el día anterior y ligeramente 1 hora antes del repique. En esta forma, las bolsas estarán húmedas y en condiciones óptimas para recibir a las delicadas plántulas.

4.2.2.3. Procedimiento aplicado para la siembra directa

Primero se remoja la semilla durante 48 horas. A continuación, se eliminan las semillas que todavía flotan en el agua. Las semillas que quedan, se mezclan con arena gruesa, la mezcla se pone en bolsas plásticas hasta que empiece la germinación. De allí en adelante, se controla diariamente el comportamiento de las plantas. Después de la siembra hay que mantener las bolsas húmedas, pero no mojadas. Hay que regar con cuidado para no desalojar las semillas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. De la variación temporal de los parámetros evaluados que intervienen en el proceso de Biorremediación

Se analizaron los resultados de 3 biopilas : A-1, A-2 y C-3. La biopila C-3 no tuvo adición de gallinaza.

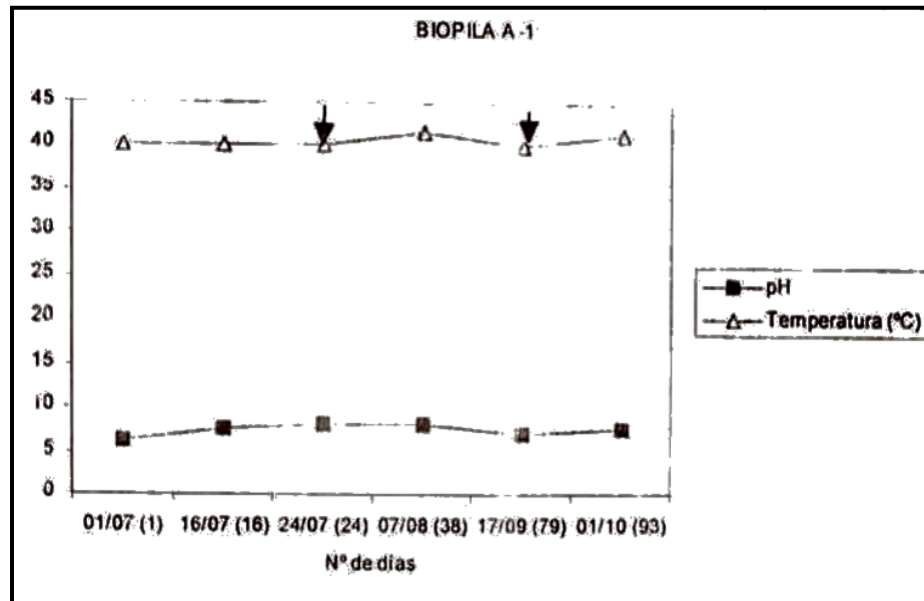
5.1.1. Variación Temporal de la Temperatura y pH en la Biopila A-1

El seguimiento, control y medición de los parámetros que intervienen en el proceso de biodegradación de la biopila A-1 (T° y pH) duró 93 días; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 7: Valores de Temperatura y pH presentes en la biopila A-1 durante el proceso de biorremediación.

Fecha	N° días	pH	Temperatura
01-Jul	1	6.2	40
16-Jul	16	7.62	40.1
24-Jul	24	8.23	40.07
07-Ago	38	8.1	41.7
17-Sep	79	7.02	40.07
01-Oct	93	7.61	41.5

Gráfico N° 1: Comportamiento temporal de la temperatura y pH en la biopila A-1 durante el proceso de biorremediación.



—► Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 9 y en el Gráfico N° 1, se aprecia que:

- La temperatura al interior de la biopila A-1 se comporta de manera uniforme; mostrando valores que oscilan entre 40° C y 41.7° C, observándose un leve ascenso y mostrando que el proceso se encuentran en la fase termofílica. El menor valor de temperatura (40°C), se presenta en Julio, mes en el cual se inicia el proceso y dicho valor se debe a la temperatura ambiental y dirección de los vientos presentes en la zona, de acuerdo con las condiciones climáticas correspondientes a la estación de invierno.
- La temperatura de la biopila A-1 muestra un incremento en sus valores después de cada volteo aplicado a la mezcla que conforma la biopila. Luego del primer volteo la temperatura asciende de 40.07°C a 41.7°C ;y en el segundo volteo se observa también un ligero incremento de 40.07°C a 41.5°C. Ambos ascensos muestran que el proceso pasa de la fase

mesofílica a la fase termofílica. Dichos volteos fomentan una mayor actividad microbiana por la oxigenación de la biopila, produciendo reacciones exotérmicas que originan la liberación de energía en forma de calor; lo que produce el incremento de la temperatura.

- El pH en la biopila A-1 presenta valores heterogéneos; mostrando una variación en un rango de 2 unidades, pasando de un pH ácido de 6.2 a un pH alcalino de 8.23, a la mitad del proceso; pero al finalizar dicho proceso, el pH fue de 7.61; es decir 1.41 unidades más que el pH con el que se inicio el tratamiento; valor que refleja un pH ácido debido a la mayor presencia del contaminante.
- El pH promedio de la biopila A-1 es de 7.46, un valor ligeramente alcalino, donde las variaciones mencionadas en los valores se deben al pH de la gallinaza (8.00) y a la dilución que se produce al adicionarle agua a la biopila para darle las condiciones de humedad correspondientes.

5.1.2 Variación Temporal de el contenido de TPH en la Biopila A-1

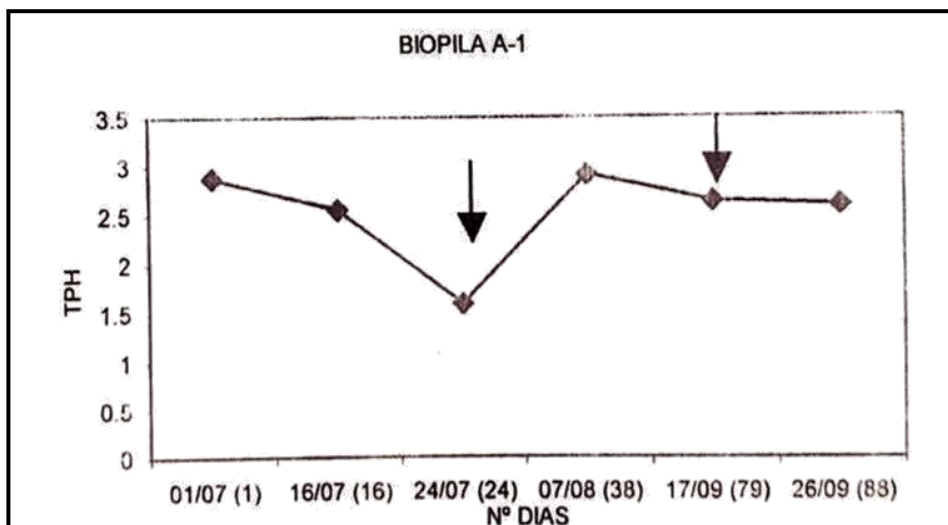
El seguimiento, control y medición del contenido de TPH en el proceso de biodegradación de la biopila A-1 (T° y pH) duró 88 días ; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 8: Valores del contenido de TPH presentes en la biopila A-1 durante el proceso de biorremediación.

Fecha	N° día	TPH (%)
01-Jul	1	2.88
16-Jul	16	2.56
24-Jul	24	1.6
07-Ago	38	2.91
17-Sep	79	2.64
26-Sep	88	2.6

*TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Gráfico N° 2 :Comportamiento temporal del contenido de TPH en la biopila A-1 durante el proceso de biorremediación.



—▶ Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 10 y en el Gráfico N° 2 , se aprecia que:

- El contenido de hidrocarburos que muestra la biopila A-1, describe una tendencia a disminuir el nivel de contaminación con el paso del tiempo debido a la degradación del hidrocarburo por la acción microbiana.
- Los valores en el contenido de hidrocarburos presentes con la biopila A-1 muestran un comportamiento atípico; ya que después del primer volteo que se le realizó a la mezcla que conforma la biopila; se observó un aumento de 1.60% a 2.91%; sin embargo para el segundo volteo ocurre lo contrario, donde se observa una disminución de 2.64% a 2.6%.

Cuadro N° 9 : Rango de Degradación del Hidrocarburos en la biopila A-1

Biopila	Muestras	Tamaño (m ³)	TPH inicial (mg/kg)	TPH final (mg/kg)	Duración (Días)	Rango de Degradación (mg/kg TPH/día)
A-1 (con gallinaza)	7	1648	28800	26000	88	31.818

- El rango de degradación del hidrocarburo al interior de la biopila A-1, la cual contiene gallinaza en su composición es de 31.818 mg/kg de TPH/día. Disminuyendo de 2.88% a 2.6%, lo que significa un descenso de 0.28% en 88 días.
- El suelo proveniente de la biopila A-1 se considera contaminado; debido a que muestra una concentración de TPH (2.6%) mayor al nivel de intervención (0.5%) proporcionado por la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas en concordancia con las Guías ARPE de la Columbia Británica (Canadá).

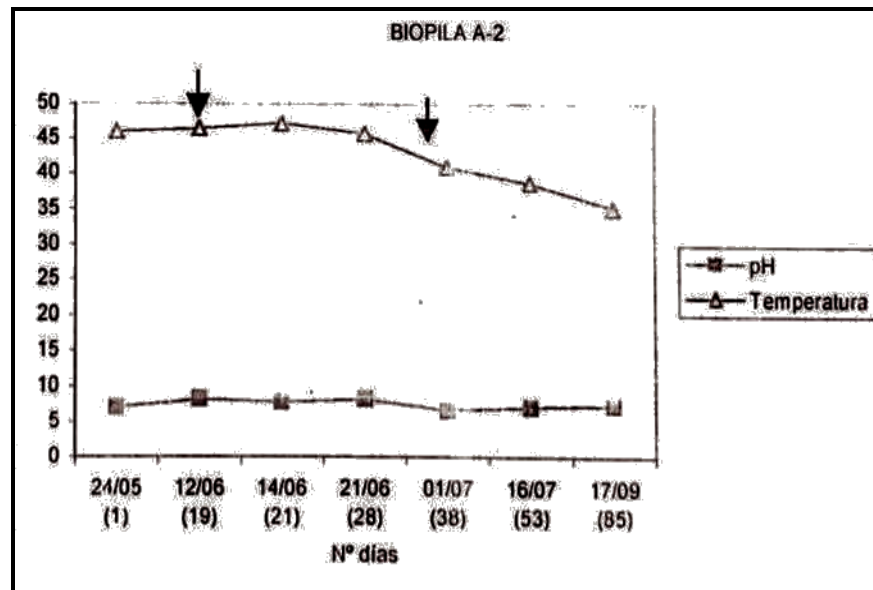
5.1.3 Variación Temporal de la Temperatura y pH en la Biopila A-2

El seguimiento, control y medición de los parámetros que intervienen en el proceso de biodegradación de la biopila A-2 (T° y pH) duró 85 días; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 10: Valores de Temperatura y pH presentes en la biopila A-2 durante el proceso de biorremediación

Fecha	N° día	pH	Temperatura
24-May	1	6.98	45.9
12-Jun	19	8.13	46.4
14-Jun	21	7.7	47.2
21-Jun	28	8.13	45.7
01-Jul	38	6.61	40.9
16-Jul	53	7.01	38.6
17-Sep	85	7.28	35.03

Gráfico N° 3 : Comportamiento temporal de la temperatura y pH en la biopila A-2 durante el proceso de biorremediación



→ Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 12 y en el Gráfico N° 3 , se aprecia que:

- La temperatura al interior de la biopila A-2 se comporta de manera irregular, donde la mayor temperatura es de 47.2°C, valor que muestra que el proceso se encuentran en la fase termofílica. Y la menor temperatura es de 35.03 °C; temperatura observada al finalizar el seguimiento del proceso; y que describe, que el proceso ha pasado a la fase mesofílica.
- La temperatura de la biopila A-2 al igual que la biopila A-1 muestra un incremento de 46.4°C a 47.2°C, valores que muestran que el proceso se encuentra en fase termofílica, después del primer volteo aplicado a la biopila; sin embargo esto no ocurre cuando se realiza el segundo volteo; donde los valores muestran un descenso de 40.9°C a 38.6°C, debido a la baja actividad microbiológica producida por el agotamiento de la materia orgánica.
- Los valores de pH en la biopila A-2, no se comportan de manera homogénea; ya que los valores que presentan oscilan de 6.98 a 8.13, esto a la mitad del proceso; pero al finalizar el seguimiento, el valor desciende a un pH de 7.28; la variación que se observa es debido a la fluctuación que existe en la presencia del contaminante en la biopila.
- El pH promedio de la biopila A-2, es de 7.4 .Un valor que muestra una leve alcalinidad; debido a la naturaleza del contaminante y a la cercanía de las biopilas al mar que produce una acumulación de sal en ella, transportada por la brisa marina.

5.1.4 Variación Temporal del TPH en la Biopila A-2

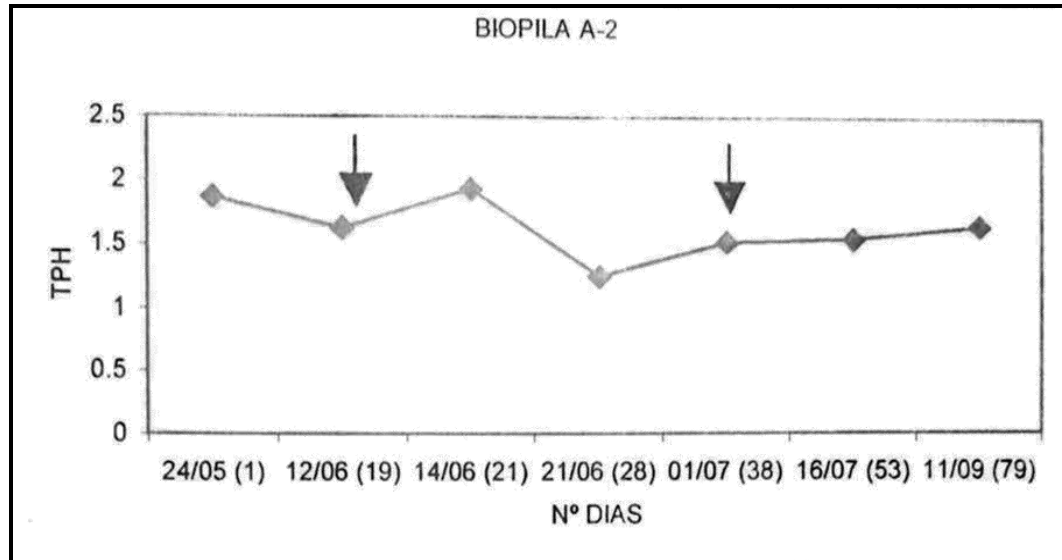
El seguimiento, control y medición del contenido de TPH en el proceso de biodegradación de la biopila A-2 (T° y pH) duró 79 días; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 11 : Valores del contenido de TPH presentes en la biopila A-2 durante el proceso de biorremediación.

Fecha	N° día	TPH (%)
24-May	1	1.87
12-Jun	19	1.62
14-Jun	21	1.93
21-Jun	28	1.25
01-Jul	38	1.52
16-Jul	53	1.54
11-Sep	79	1.64

*TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Gráfico N° 4 : Comportamiento temporal del contenido de TPH en la biopila A-2 durante el proceso de biorremediación.



—▶ Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 13 y en el Gráfico N°4 , se aprecia que:

- Hay una disminución en el contenido de hidrocarburos en la biopila A-2 con el paso del tiempo que demuestra la degradación del agente contaminante.
- El contenido de hidrocarburos presentes en la biopila A-2 presentan un incremento en su concentración, después de cada volteo que se le realiza a la mezcla que conforma la biopila. En el primer volteo aumenta de 1.62% a 1.93% y en el segundo volteo también aumenta de 1.52% a 1.54%. Esto se debe a que la toma de muestras luego de cada volteo ha sido realizada muy pronto, sin darle tiempo a los microorganismos de estabilizar su biodegradación.

Cuadro N° 12 : Rango de Degradación del Hidrocarburo en la biopila A-2

Biopila	Muestras	Tamaño (m ³)	TPH inicial (mg/kg)	TPH final (mg/kg)	Duración (Días)	Rango de Degradación (mg/kg TPH/día)
A-2 (con gallinaza)	7	1647	18700	16400	79	29.113

- El rango de degradación del hidrocarburo al interior de la biopila A-2, la cual contiene gallinaza es de 29.113 mg/kg de TPH/día. Disminuyendo de 1.87% a 1.64% %, lo que significa un descenso de 0.23% en 79 días.
- El suelo proveniente de la biopila A-2, aún se considera contaminado; debido a que muestra una concentración de TPH (1.64%) mayor al nivel de intervención (0.5%) proporcionado por la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas en concordancia con las Guías ARPE de la Columbia Británica (Canadá).

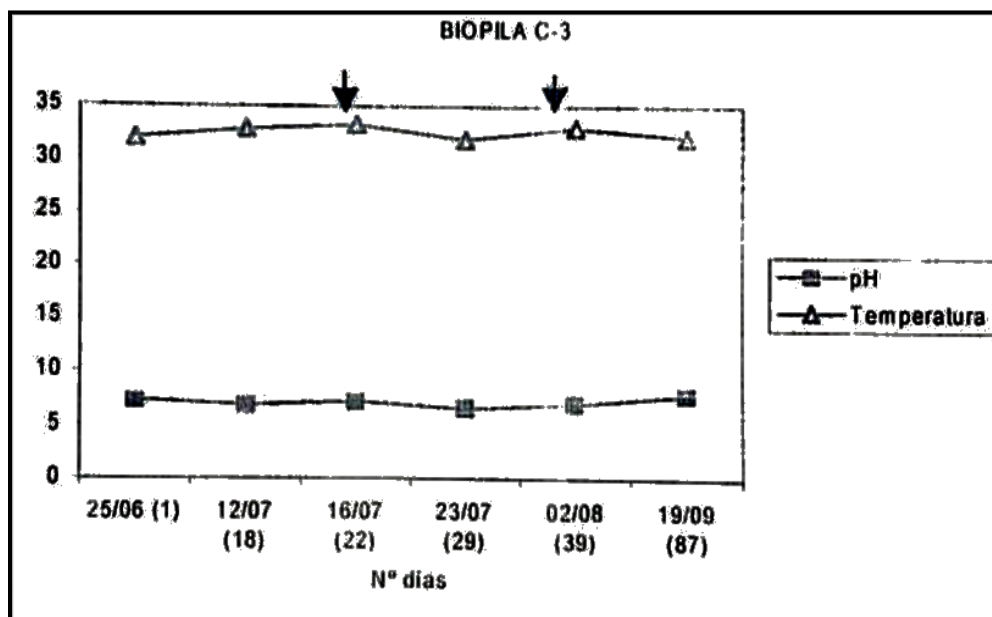
5.1.5. Variación Temporal de la Temperatura y pH en la Biopila C-3

El seguimiento, control y medición de los parámetros que intervienen en el proceso de biodegradación de la biopila C-3 (T° y pH) duró 87 días; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 13 : Valores de Temperatura y pH presentes en la biopila C-3 durante el proceso de biorremediación

Fecha	N° día	pH	Temperatura
25-Jun	1	7.28	32
12-Jul	18	6.71	32.9
16-Jul	22	7.1	33.3
23-Jul	29	6.53	31.9
02-Ago	39	6.9	33
19-Sep	87	7.79	32.12

Gráfico N° 5: Comportamiento temporal de la temperatura y pH en la biopila C-3 durante el proceso de biorremediación



—→ Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 13 y en el Gráfico N° 5 , se aprecia que:

- La temperatura al interior de la biopila C-3 se comporta de manera homogénea; mostrando valores que oscilan entre 31.9°C y 33.3°C que indican que el proceso se encuentra en la fase mesofílica. Estos valores son más bajos que los que se presentan en las otras biopilas, debido a la ausencia de materia orgánica que origina condiciones adversas para la proliferación microbiana.
- La temperatura de la biopila C-3 al final del proceso es de 32.12°C; valor que muestra un incremento de 0.12°C con respecto al valor de la temperatura inicial que fue de 32°C; es decir que en todo momento el comportamiento de la temperatura al interior de la biopila muestra que el proceso se encuentra en fase mesofílica. Las variaciones en la temperatura, se deben a las condiciones climáticas de la zona.
- El valor promedio de pH es de 7.05; mostrando valores poco variables entre sí, con una tendencia a alcanzar un pH neutro; sin embargo el pH final muestra un valor ligeramente alcalino de 7.79.
- El pH al inicio del proceso es de 7.28 y el pH al final del mismo fue de 7.79 , todo el proceso se encuentra en un rango ligeramente alcalino.

5.1.5. Variación Temporal del TPH en la Biopila C-3

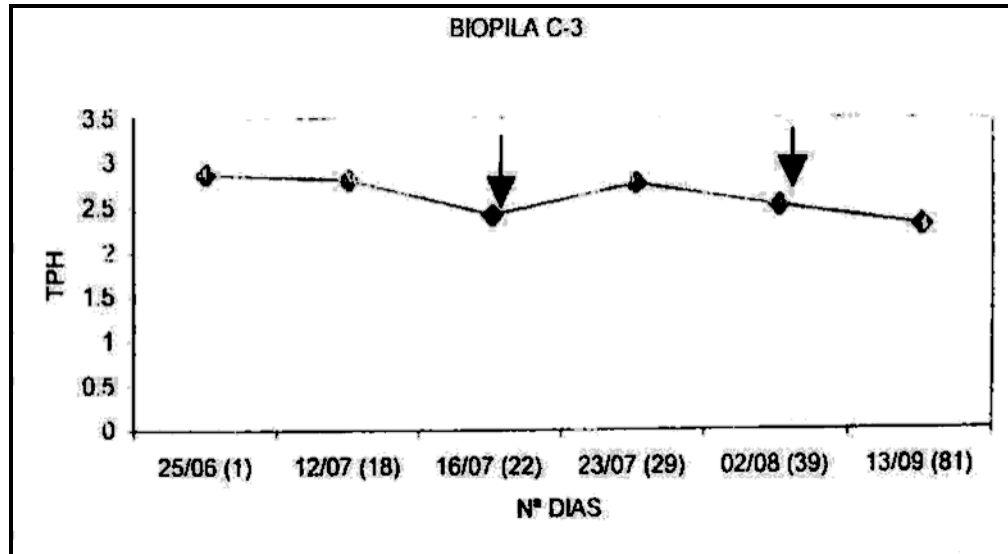
El seguimiento, control y medición del contenido de TPH en el proceso de biodegradación de la biopila C-3 (T° y pH) duró 81 días; dichos valores se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 14 : Valores del contenido de TPH presentes en la biopila C-3 durante el proceso de biorremediación

Fecha	N° día	TPH (%)
25-Jun	1	2.87
12-Jul	18	2.8
16-Jul	22	2.41
23-Jul	29	2.76
02-Ago	39	2.51
13-Sep	81	2.29

*TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Gráfico N° 6 :Comportamiento temporal del contenido de TPH en la biopila C-3 durante el proceso de biorremediación.



→ Días de volteo

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 16 y en el Gráfico N° 6 , se aprecia que:

- El contenido de hidrocarburos de la biopila C-3 tiende a descender conforme avanza el proceso de degradación del agente contaminante.
- Los valores del contenido de hidrocarburos de la biopila C-3, muestran un incremento de 2.41% a 2.76% luego del primer volteo aplicado a la mezcla de la biopila; pero para el segundo volteo, dicha concentración de hidrocarburos disminuye de 2.51% a 2.29% que muestra la degradación del contaminante a través del tiempo.

Cuadro N° 15 : Rango de Degradación del Hidrocarburo en la biopila C-3

Biopila	Muestras	Tamaño (m ³)	TPH inicial (mg/kg)	TPH final (mg/kg)	Duración (Días)	Rango de Degradación (mg/kg TPH/día)
C-3 (sin gallinaza)	6	1530	28700	22900	81	71.604

- El rango de degradación del hidrocarburo al interior de la biopila C-3, a la cual no se le adiciona gallinaza es de 71.604 mg/kg de TPH/día. Disminuyendo de 2.87% a 2.29%; lo que significa un descenso de 0.58% en 81 días.
- El suelo proveniente de la biopila C-3, aún se considera contaminado, debido a que muestra una concentración de TPH (2.29%), mayor al nivel de intervención (0.5%) proporcionado por la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas en concordancia con las Guías ARPE de la Columbia Británica (Canadá).

5.2. Del análisis del bioensayo

En el presente estudio se deseaba estudiar, las diferencias en el número de individuos muertos para cinco especies en tres tipos de sustrato (sustrato de vivero: SV; sustrato vivero / sustrato contaminado: SV/SC; y sustrato contaminado: SC). El estudio fue de dos tipos; el primero de repique para las tres primeras especies: Molle serrano, Molle costeño y Myoporum y el segundo en la etapa de germinación, para los individuos de las especies restantes (Mimosa y Huaranguillo).

Para poder desarrollar dicho estudio, se decidió realizar un **experimento factorial 2x2 conducido en un Diseño Completamente al Azar (DCA)**.

Para el bioensayo N° 1

Factor A: Tipo de sustrato.

Niveles: Sustrato de vivero, SV/SC y sustrato contaminado.

Factor B: Tipo de especie forestal.

Niveles: Molle costeño, molle serrano y myoporum.

Para el bioensayo N° 2

Factor A: Tipo de sustrato.

Niveles: Sustrato de vivero, SV/SC y sustrato contaminado.

Factor B: Tipo de especie forestal.

Niveles: Mimosa y huaranguillo.

Nota: En los dos bioensayos, para el caso de SV/SC se refiere a la mezcla en partes iguales de sustrato de vivero y sustrato contaminado.

A continuación, se muestran los análisis de caracterización de los sustratos utilizados en los dos bioensayos:

Cuadro N° 16 : Caracterización del sustrato de vivero

	pH	C.E dS/m	CaCO ₃ %	M.O	P ppm	K ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural	CIC	TPH %
Suelo de vivero	7.9	4.62	0.00	2.4	91.4	1566	80	42	8	Arena franca	10.4	0.0

Fuente: (Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - UNALM)

* TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Cuadro N° 17 : Caracterización del SV/SC

	pH	C.E dS/m	CaCO ₃ %	M.O	P ppm	K ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural	CIC	TPH %
Suelo de vivero	7.3	8.34	0.00	3.3	56.5	1575	66	20	14	Franco arenoso	10.4	0.84

Fuente: (Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - UNALM)

* TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Cuadro N° 18: Caracterización del sustrato contaminado

	pH	C.E dS/m	CaCO ₃ %	M.O	P ppm	K ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural	CIC	TPH %
Suelo de vivero	7.4	6.84	5.8	4.81	7.3	233	68	16	16	Franco arenoso	9.92	1.64

Fuente: (Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - UNALM)

* TPH: Hidrocarburos Policíclicos Totales

Bioensayo N° 1 : Mortalidad de 3 especies forestales propagadas mediante repique en 3 tipos diferentes de sustrato.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de repique se elaboró el siguiente cuadro:

Cuadro N° 19 : Mortalidad de plántulas de 3 especies forestales replicadas en 3 diferentes tipos de sustrato (Total de plántulas evaluadas:15).

	Molle serrano	Molle costeño	Myoporum
Sustrato de vivero	1	0	4
SV / SC	11	9	12
Sustrato contaminado	15	15	15

Significancia:

- Especie *
- Sustrato *
- Especie x Sustrato ns

Los efectos del sustrato y de las especies son significativas en el modelo, por lo que se realizaron las pruebas de comparación múltiple para los efectos principales.

Comparaciones múltiples - Prueba de Tukey:

Efecto Especie:

- Molle serrano x Molle costeño ns
- Molle serrano x Myoporum ns
- Molle costeño x Mvoporum *

Efecto Sustrato:

- Sustrato de vivero x SV/SC *
- Sustrato de vivero x Sustrato contaminado *
- SV/SC x Sustrato contaminado *

De los resultados anteriores se aprecia que:

- Para el efecto especie, solo se encuentran diferencias significativas en el número de plántulas muertas para el Molle costeño y el Myoporum.
- Para el efecto sustrato, podemos ver que hay diferencias significativas en el número de plántulas muertas, para los tres tipos de suelo.
- No hay diferencias significativas en el número de plántulas muertas para la interacción entre las especies y el sustrato.
- Para el tipo de sustrato, se aprecia que el mayor número de plántulas muertas se encontraron en aquellas repicadas en el sustrato contaminado (> 0.5% de TPH), seguido por aquellas repicadas es el SV/SC, esto debido a la presencia de hidrocarburos en la estructura del sustrato.
- Las tres especies mostraron una buena respuesta para el sustrato de vivero debido a sus óptimas características físicas y químicas.
- La especie que se mostró más resistente en el bioensayo 1 fue el Molle costeño, siendo la más sensible el Myoporum.
- Los tres tipos de sustrato (SV, SV/SC, SC) presentan condiciones similares de pH, CIC, Na, Ca y Mg.
- La conductividad eléctrica del sustrato de vivero (SV) presenta menor valor que los otros sustratos analizados, lo cual significa un riesgo por salinidad de no alcanzarse una humedad adecuada.
- El contenido de materia orgánica se encuentra en mayor porcentaje en el sustrato contaminado (SC); ya que éste suelo fue fertilizado con gallinaza.
- En cuanto a los contenidos de fósforo y potasio el sustrato contaminado es el único que presenta valores bajos, siendo estos factores limitantes para el desarrollo de las plantas.

- La clase textural que presenta el sustrato del vivero (SV) es la más adecuada para el desarrollo de las plantas (arena franca).
- La mala respuesta de las tres especies en el SV/SC y en el sustrato contaminado, se debe principalmente a la presencia de hidrocarburos en su estructura.

Bioensayo N° 2 : Mortalidad de 2 especies forestales germinadas en 3 diferentes tipos de sustrato.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de repique se elaboró el siguiente cuadro:

Cuadro N° 20 : Mortalidad de plántulas de 2 especies forestales germinadas en 3 diferentes tipos de sustrato (Total de plántulas evaluadas: 15).

	Mimosa	Huaranguillo
Sustrato de vivero	1	4
SV/SC	11	11
Sustrato contaminado	14	13

Significancia:

- Especie ns
- Sustrato *
- Especie x Suelo ns

Sólo el efecto del sustrato, es significativo en el modelo; por lo tanto, se deben de realizar las pruebas de comparación múltiple para los efectos principales.

Comparaciones múltiples - Prueba de Tukey

Efecto Sustrato:

-	Sustrato de vivero x SV/SC	*
-	Sustrato de vivero x Sustrato contaminado	*
-	SV/SC x Sustrato Contaminado	ns

De los resultados anteriores se aprecia que:

- El número de plántulas muertas para el sustrato de vivero, presenta diferencias significativas con los demás suelos.
- No hay diferencias significativas entre el número de plántulas muertas para las diferentes especies.
- No hay diferencias significativas entre el número de plántulas muertas para la interacción especie x sustrato.
- Para el tipo de sustrato se aprecia que el mayor número de plántulas muertas, se encontraron en aquellas germinadas en el sustrato contaminado y el menor número en el sustrato de vivero.
- Ambas especies, mimosa y huaranguillo tuvieron un buen comportamiento para el sustrato de vivero debido a sus óptimas características físicas y químicas.
- Los tres tipos de sustrato (SV, SV/SC, SC) presentan condiciones similares de pH, CIC, Na, Ca y Mg.
- La conductividad eléctrica del sustrato de vivero (SV) presenta menor valor que los otros sustratos analizados, lo cual significa un riesgo por salinidad, de no alcanzarse una humedad adecuada.
- El contenido de materia orgánica se encuentra en mayor porcentaje en el sustrato contaminado (SC); ya que este sustrato fue fertilizado con gallinaza.

- En cuanto a los contenidos de fósforo y potasio, el sustrato contaminado es el único que presenta valores bajos, siendo estos factores limitantes para el desarrollo de las plantas.
- La clase textural que presenta el sustrato del vivero (SV) es la más adecuada para el desarrollo de las plantas (arena franca).
- La mala respuesta de las tres especies en el SV/SC y el sustrato contaminado se debe principalmente a la presencia de hidrocarburos en su estructura.

5.3. De los costos operativos utilizados para el montaje del proyecto

- Para la elaboración y montaje de una biopila (1,150 m³ aproximadamente).
- Tiempo de duración del proyecto de biorremediación: 6 meses.

Cuadro N° 21: Costos operativos para la elaboración de una biopila

Fase de Investigación	\$ 500.00
Análisis de suelos contaminados	150.00
Análisis de materia orgánica	200.00
Información de casos similares	150.00
Fase de Construcción	\$ 7750.00
Movimiento de tierras:	
- Excavación	1150.00
- Transporte de la materia orgánica	600.00
- Batido de la mezcla con riego de agua	3300.00
- Apilado de las biopilas	2500.00
Fase de Implementación	\$ 9900.00
Equipos y Materiales:	
- Aireador y generador eléctrico	4000.00
- Membrana geotextil	5700.00
- Tubos de PVC	200.00
Fase de Seguimiento y Control	\$ 20000.00
Sueldos y Salarios	15000.00
Análisis de Muestras de Laboratorio	2000.00
Análisis de datos y resultados por computadora	1500.00
Mantenimiento de los equipos	1000.00
Fotografía y Publicaciones	500.00
TOTAL	\$ 37950.00

Fuente: ITES SA

6. CONCLUSIONES

- a) El desempeño en la degradación del hidrocarburo, es similar en las biopilas con gallinaza (A-1 y A-2) y la biopila sin gallinaza (C-3). Este desempeño se debe tanto a la biodegradación como a la evaporación.
- b) El pH del suelo tiende a ser neutro a lo largo de todo el proceso de biorremediación.
- c) La variación de la temperatura en el interior de las diferentes biopilas, se debe a la actividad microbiana presente al interior de cada una de ellas; además de los factores climáticos que intervienen en el proceso (temperatura ambiente, vientos, y humedad).
- d) La humedad en la tres biopilas (A-1, A-2 y C-3) se mantuvo en 25% valor muy por debajo del nivel mínimo requerido de 40% para el proceso de compostaje.
- e) Los resultados obtenidos no sólo son producto de la medición de la degradación del hidrocarburo presente en las biopilas; ya que la presencia de partículas del material contaminante que se adhieren a la arcilla influyen también en los resultados haciéndolos poco representativos.
- f) La relación C:N de la materia orgánica es inadecuada para el desarrollo microbiano.
- g) Las 5 especies utilizadas en el bioensayo, mostraron una mala respuesta al sustrato contaminado (SC = 96% de mortalidad).
- h) Las 5 especies utilizadas en el bioensayo, mostraron una mala respuesta al sustrato SV/SC (SV/SC = 86.67% de mortalidad).
- i) Las 5 especies utilizadas en el bioensayo mostraron una buena respuesta al sustrato de vivero (SV = 13.33% de mortalidad).
- j) El factor principal que determinó la mortalidad de las plántulas en los dos bioensayos fue la presencia de hidrocarburos en los sustratos utilizados.
- k) La especie más resistente al sustrato contaminado fue el molle costeño, mientras que el más sensible fue el myoporum.

7. RECOMENDACIONES

- a) En la construcción de las biopilas se debe homogenizar bien la totalidad de la mezcla de suelo contaminado con el compost.
- b) Cumplir con el cronograma de medición de los parámetros que intervienen en el proceso; así como registrar correctamente los datos obtenidos.
- c) Aumentar el contenido de humedad hasta un 40% como mínimo para favorecer la biodegradación de los hidrocarburos.
- d) Disminuir las dimensiones de la biopila para asegurar un mejor control de los factores que intervienen en el proceso de compostaje.
- e) Las biopilas deben ser oxigenadas; por ello se debe implementar un sistema de tuberías conectadas a un soplador automático que brinde la aireación necesaria; para que de esta manera exista un ambiente adecuado para la proliferación microbiana; la cual ayudará a acelerar el proceso de biodegradación.
- f) Mantener los equipos de medición bien calibrados y con un adecuado mantenimiento para poder obtener datos reales al evaluar el proceso de biorremediación.
- g) Tamizar el material contaminado para reducir la formación de terrones y eliminar la presencia de piedras.
- h) En el análisis del proceso, se recomienda tomar un mayor número de muestras para aumentar el grado de confianza de los resultados; así como realizarlas a diferentes profundidades de la biopila, logrando de esta manera que el seguimiento de dicho proceso sea más representativo.
- i) En el proceso de repique y de siembra se deben regar con más frecuencia y con mayor cantidad de agua aquellas plantas que están repicadas y sembradas en sustrato con contenido de hidrocarburos.
- j) Las labores de repique y siembra directa deben ser realizadas por gente experimentada para que las respuestas de las plantas se deban únicamente a la condición del suelo.

- k) Hacer un análisis microbiológico que permita conocer cuantitativa y cualitativamente a las poblaciones de microorganismos que están biodegradando el hidrocarburo.
- l) Añadir a la mezcla residuos vegetales para asegurar la presencia de carbono que será utilizado por los microorganismos que intervienen en el proceso de biorrecuperación.
- m) Es preferible añadir materia orgánica que no provenga de materiales leñosos por su alto contenido de lignina, debido a que este compuesto es más resistente a la descomposición biológica efectuada por los microorganismos.
- n) Experimentar más bioensayos con otras especies de plantas.
- o) Se deben continuar con las investigaciones en la técnica del compostaje como método de biorremediación.

8. BIBLIOGRAFÍA:

- ABAD, J. 1993. “Fertilizantes Orgánicos”. Ed. ESRA, Madrid, 85 p.
- ALEXANDERS,M., 1991. “Research needs in bioremediation“ Plenum Press, NY 223p.
- ARCA, M. 1970. “Manual de manejo de suelos”. Copia Mimeografiada. UNALM.
- ATLAS R.M Y R. BARTHA.1973. “Stimulated biodegradation of oil slicks using oleophilic fertilizers“ 3th. ed. Benjamin-Cummings publ. Co., Redwood City, CA 310 p.
- BRINTON, WILLIAM, 2000. “Compost Quality Standards Guidelines” Woods Ends Research Laboratory, NY .42 p.
- CHAPMAN G. 1978. “Técnicas de establecimientos de plantaciones forestales” CICAFOR, Cajamarca 1982.
- DAVIS-HOOVER, W.J. 1991. “Hydraulic fracturing to improve nutrient and oxygen delivery for in situ remediation” . Environ. Science Technol. 265 p.
- FLIERMANS C.B., 1972 - “Ecology of sulfur oxidizing bacterias in hot acid soils”. Environ. Science Technol. 1132 p.
- GOLUEKE, A.M. 1977. “Técnicas Modernas en Agricultura”. Littee Ediciones, Buenos Aires 65 p.
- GUERRERO J. 1993. “Manual de Abonos Orgánicos - Tecnología para el manejo ecológico de suelos”. RAAA, Lima 90 p.
- <http://infoagro.com/abonos/compostaje.asp> GONZALES, BERNARDO 2000. “El compost”. Papers de Internet.
- http://www.bioplanet.net/magazine/bio_julago_2001/bio_2001_julago_repo rtaje.htm VALDERRAMA BLANCO, B. 2001. “Microbiología del Suelo y Derivados” . Papers de Internet.

- <http://www.brownfieldstsc.org/CompostingAbstract.htm> EPA 1997. “Innovative Uses of Compost”. Papers de Internet.
- <http://www.epa.state.oh.us/dsiwn/pages/iwc.html> EPA. 1996. “Bioremediation of Hazardous Waste Sites: Practical Approaches to implementation . Papers de Internet.
- LABRIE, P. Y B. CYR, 1990. “Biological remediation of shoreline oily waste from marine spills” J. Environ. Qual. 157 p.
- MENDOZA, T. 1999. “Oleoducto La Pampilla”. II Congreso Nacional de Ingeniería. Lima 55p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS 1999. “Guía para el manejo de desechos de refinería de petróleo”. Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima
- MORRIS, A. LEVIN, MICHAEL A.1995. “Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos”. Mc Graw-Hill. 274 p.
- NATURAL RESOURCE, AGRICULTURA, AND ENGINEERING SERVICE (NRAES).1992 “On- Farm Composting Handbook”. Ithaca,NY. 445 p.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD - ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1999. “Manual para la elaboración del compost, bases conceptuales y procedimientos”.
- PRIMAVESI A. 1982. “Manejo Ecológico del Suelo”. El Ateneo, Buenos Aires 499p.
- PROYECTO FAO/HOLANDA/INFOR. 1983. “Manual de Viveros Forestales en la Sierra Peruana”. Copia Mimeografiada Lima.
- REYNEL, CARLOS. LEÓN, CARLOS. 1990. “Árboles y Arbustos Andinos para Agroforestería y Conservación de Suelos” FAO. 40 p.
- RIGGLE, P. 1995. “New Technologies on Waste Treatments”. Sterling Publishing Co, NY 132 p.
- SIMS R.C 1996 “Bioremediation of Contaminated Soils” Environ. Science Technol. 227 p.

- STERRIT, R.M. 1988. "Microbiology for Enviromental and Public Health". Cummings Publishing Company, Menlo Park, Calif. 365 p.

9. ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE SUELOS (CARACTERIZACIÓN)

- **Suelo de vivero**
- **SV/SC**
- **Suelo contaminado**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION



Procedencia : LIMA
 Departamento : LIMA
 Fondo : LIMA
 Referencia : H.R. 3005-94C-02
 Provincia : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Solicitante : JUAN GUERRERO BARRANTES

Lab	Numero de Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Analisis Mecanico			Clase	CIC	Cambiables				Suma de Sal D ₁₅ Bases			
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K	Na ⁺		Al ⁺⁺⁺ + H ⁺		
V		7.9	4.62	0.00	2.4	91.4	1566	80	12	8	A. Fr.	10.40	2.71	2.21	5.15	0.34	0.00	10.41	10.41	100

A = arena franco ; A Fr. = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L = franco limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso ; Fr.Ar. = franco arcilloso
 Fr.Ar.L = franco arcillo limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

La Molina 29 de Noviembre del 2002

Rubén Bazán Tapia
Ing. Rubén Bazán Tapia
Jef. Lab. Suelos, Aguas,
Plantas y Fertilizantes



/pd/



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION



Procedencia : LIMA
 Departamento : LIMA
 Fondo : H.R. 3005-94C-02
 Referencia :
 Provincia : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Solicitante : JUAN GUERRERO BARRANTES

Lab	Numero de Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase Textural	CIC	Cambiables				Suma de Cationes Bases	Suma de % Sal. Dis. finas			
								Arena %	Limo %			Ca ⁺⁺ me/100g	Mg ⁺⁺ me/100g	K ⁺ me/100g	Na ⁺ me/100g			Al ⁺⁺⁺ + H ⁺ me/100g		
2446	V/C	7.3	8.34	0.00	3.3	56.5	1575	66	20	14	Fr. A.	10.40	4.85	4.01	1.18	0.36	0.00	10.40	10.40	100

A = arena ; A.Fr = franco arenoso ; Fr = Franco ; Fr.L = franco limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso ; Fr.Ar = franco arcilloso ;
 Fr.Ar.L = franco arcillo limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = arcillo limoso ; Ar = Arcilloso

La Molina 29 de Noviembre del 2002

Rubén Bazán Tapia
Ing. Rubén-Bazán Tapia
 Jef. Lab. Suelos, Aguas,
 Plantas y Fertilizantes



/pdf

Av. La Universidad s/n. La Molina. Campus UNALM - Telfs.: 349-5669 349-5647 Anexo 222 Telefax: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Procedencia :
 Departamento : LIMA
 Fondo :
 Referencia : H.R. 24 19-63C-02
 Provincia : CALLAO
 Distrito : VENTANILLA
 Solicitante : DANIEL ROBLES

Lab	Número de Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cambiables me/100g				Suma de Cationes	Suma de Aniones	% Silt. De Inspes	
								Arenoso %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Nh				Al ⁺⁺⁺ + H ⁺
1270		7.4	6.84	5.80	4.81	7.3	233	68	16	16	Fr. A.	9.92	4.54	4.21	0.51	0.66	0.00	9.92	9.92	100

A = arena ; A.Fr. = arena gruesa ; Fr.A = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L = franco limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso ; Fr.Ar. = franco arcilloso
 Fr.Ar.L = franco arcillo limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

La Molina 23 de Julio del 2002

/pdt/

Ing. Rubén Bazán Tapia
 Jefe Lab. Suelos, Aguas,
 Plantas y Fertilizantes.

ANEXO 2: ANÁLISIS DE ACEITES Y GRASAS

- **SV/SC**
- **Suelo contaminado**



ENVIROLAB-PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú SAC

INFORME DE ENSAYO

N° 20907

Solicitante: CONSORCIO HAZCO SAGITARIO

Domicilio Legal: Comunidad Industrial 240
Chorrillos

Tipo de Muestra: Suelos

Plan de Muestreo: -----

Solicitud de Análisis: SET-007

Procedencia de la Muestra: La Pampilla

Fecha de Ingreso: 02/09/04

Código ENVIROLAB-PERU: 20907

Referencia: Muestras proporcionadas por el Cliente.

Análisis : Aceites y Grasas		Método:			SM 5520-E	
Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Limite de detección	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
20907-01	BP A1-0209	02/09/02	20	26351	mg/Kg	02/09/11
20907-02	BP A2-0209	02/09/02	20	16419	mg/Kg	02/09/11
20907-03	BP B1-0209	02/09/02	20	9358	mg/Kg	02/09/11
20907-04	BP B2-0209	02/09/02	20	30664	mg/Kg	02/09/11
20907-05	BP C2-0209	02/09/02	20	8657	mg/Kg	02/09/11
20907-06	BP A3-0309	02/09/03	20	4717	mg/Kg	02/09/11
20907-07	BP B3-0309	02/09/03	20	5877	mg/Kg	02/09/11

Condición y Estado de la Muestra Ensayada: Las muestras llegaron a temperatura ambiente al Laboratorio.

Nota: Las fechas de muestreo, son datos proporcionados por el Cliente.

Aceites y Grasas: SM 5520 E. Aceites y Grasas Extraction Method for Sludge Samples (Método Gravimétrico).

[Firma]
WIS BUENO CARBAJAL
 Gerente General
 C.I.P. N° 6618
 Lima, Perú.

02/09/17



Nota:

- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.

Page 2 of 2

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU



ENVIROLAB-PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

N° 20923

Solicitante: **CONSORCIO HAZCO SAGITARIO**
Domicilio Legal: Comunidad Industrial 240
Chorrillos
Tipo de Muestra: Suelo
Plan de Muestreo: -----
Solicitud de Análisis: SET-023
Procedencia de la Muestra: La Pampilla
Fecha de Ingreso: 02/09/05
Código ENVIROLAB-PERU: 20923
Referencia: Muestras proporcionadas por el Cliente.


Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Limite de detección	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
20923-01	BP B4 0409	02/09/04	20	3861	mg/Kg	02/09/13
20923-02	BP A4 0409	02/09/04	20	4514	mg/Kg	02/09/13
20923-03	→ BP C3 0409	02/09/04	20	22942	mg/Kg	02/09/13

Condición y Estado de la Muestra Ensayada:

Las muestras llegaron a temperatura ambiente al Laboratorio.
Las fechas de muestreo, son datos proporcionados por el Cliente.
SM 5520 E. Aceites y Grasas Extraction Method
for Sludge Samples (Método Gravimétrico).

Nota:

Aceites y Grasas:


LUIS BUENO CABBAJAL

Gerente General

C.I.P. N° 6618

Lima, Perú.

02/09/19

Nota:

- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.

Page 2 / 2

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 33 PERU



ENVIROLAB-PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú SAC

INFORME DE ENSAYO

N° 209152

Solicitante: CONSORCIO HAZCO SAGITARIO

Domicilio Legal: Comunidad Industrial 240
Chorrillos

Tipo de Muestra: Suelos

Plan de Muestreo: ----

Solicitud de Análisis: SET-152

Procedencia de la Muestra: La Pampilla

Fecha de Ingreso: 02/09/23

Código ENVIROLAB-PERU: 209152


Referencia: Muestras proporcionadas por el Cliente.

Análisis : Aceites y Grasas		Método:		SM 5520-E		
Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Limite de detección	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
209152-01	BP A1-2307	02/09/23	20	26023	mg/Kg	02/09/26
209152-02	BP A2-2307	02/09/23	20	14858	mg/Kg	02/09/26
209152-03	→ BP B1-2307	02/09/23	20	8464	mg/Kg	02/09/26
209152-04	BP B2-2307	02/09/23	20	30644	mg/Kg	02/09/26
209152-05	BP C2-2307	02/09/23	20	10429	mg/Kg	02/09/26

Condición y Estado de la Muestra Ensayada:

Las muestras llegaron a temperatura ambiente al Laboratorio.
Las fechas de muestreo, son datos proporcionados por el Cliente.
SM 5520 E. Aceites y Grasas Extraction Method
for Sludge Samples (Método Gravimétrico).

Nota:
Aceites y Grasas:


LUIS BUENO CARBAJAL
Gerente General
C.I.P. N° 6618
Lima, Perú. 02/10/01



Nota: - Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.

Page 2. 2

Av. La Marina 7059 San Miguel, Lima 23, Perú

ANEXO 3: ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : DANIEL POBLES
 PROCEDENCIA : LIMA, CALLAO, VENTANILLA
 MUESTRA DE : GUANO DE GALLINA
 REFERENCIA : H.R. 2413
 FECHA : 24/07/2022

Nº LAB	CLAVES	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	M.O %	pH	C.E. cS/cm	Humedad %	Nº
089		1.76	1.74	2.04	3.52	0.99	33.59	8.00	15.90	18.12	0.5%

Nº LAB	CLAVES	C % Org.	C/N
089		19.48	11.07


 Ing. Rubén Bazán Tapia
 Jefe, Lab. Suelos, Aguas
 Plantas y Fertilizantes

ipdl

ANEXOS 4: FOTOS

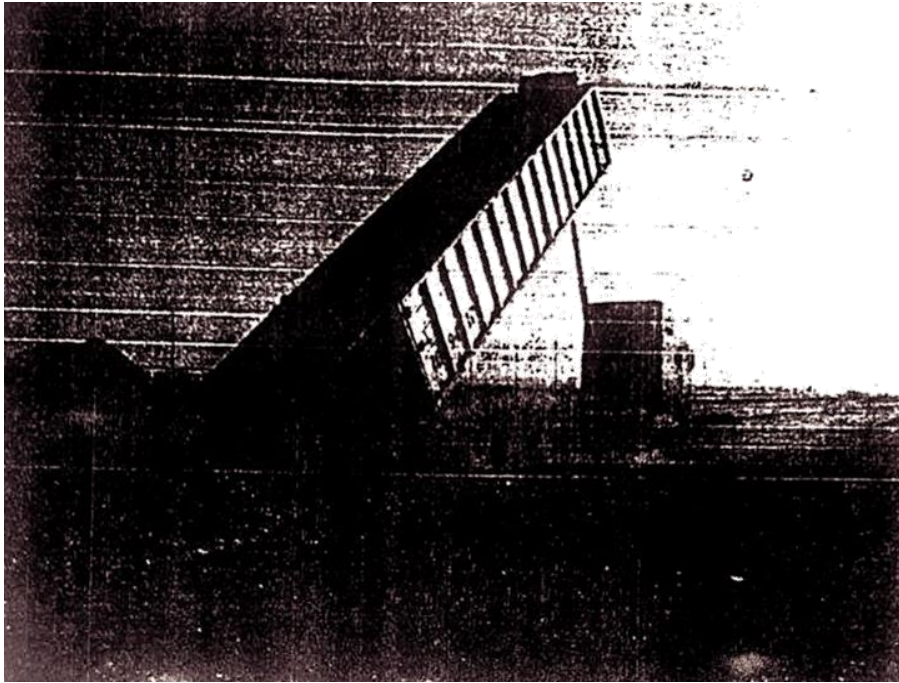


Foto No 1: Descarga de gallinaza

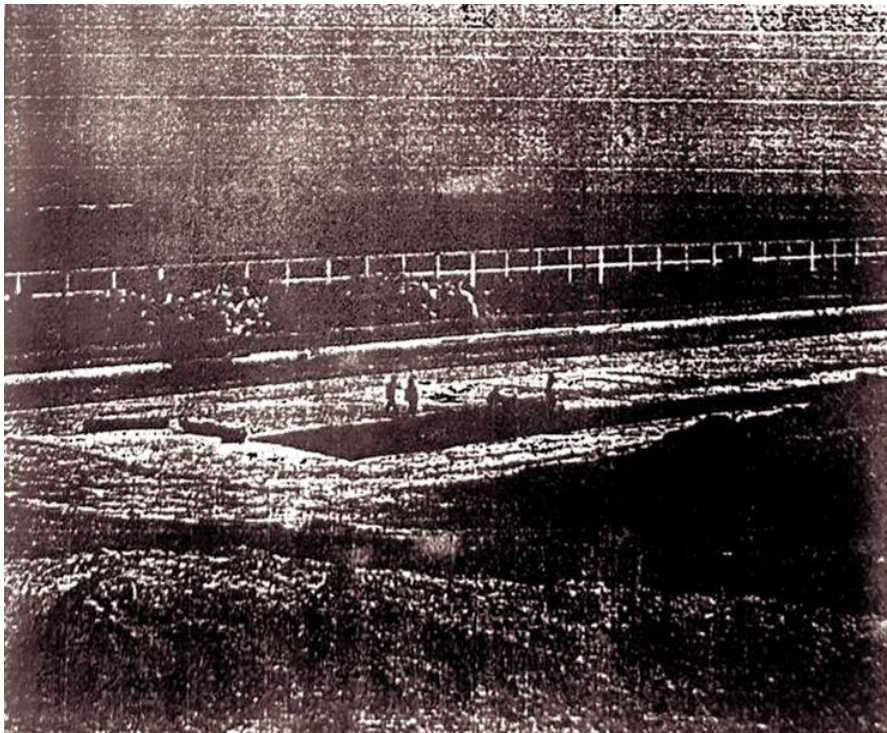


Foto No 2: Instalación del geotextil

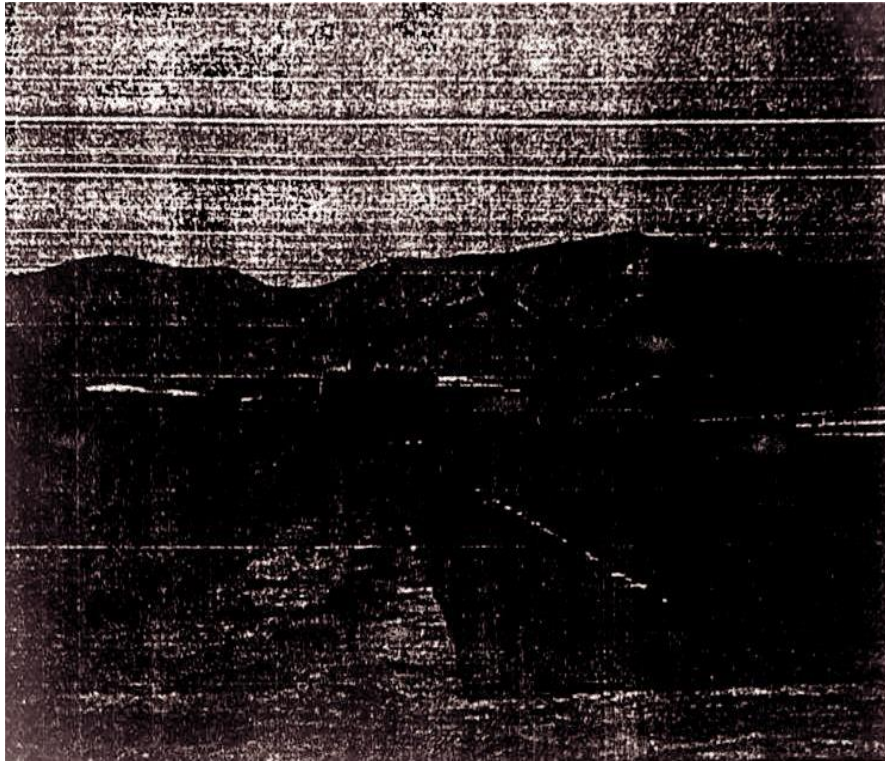


Foto No 3: Preparación de la biopila

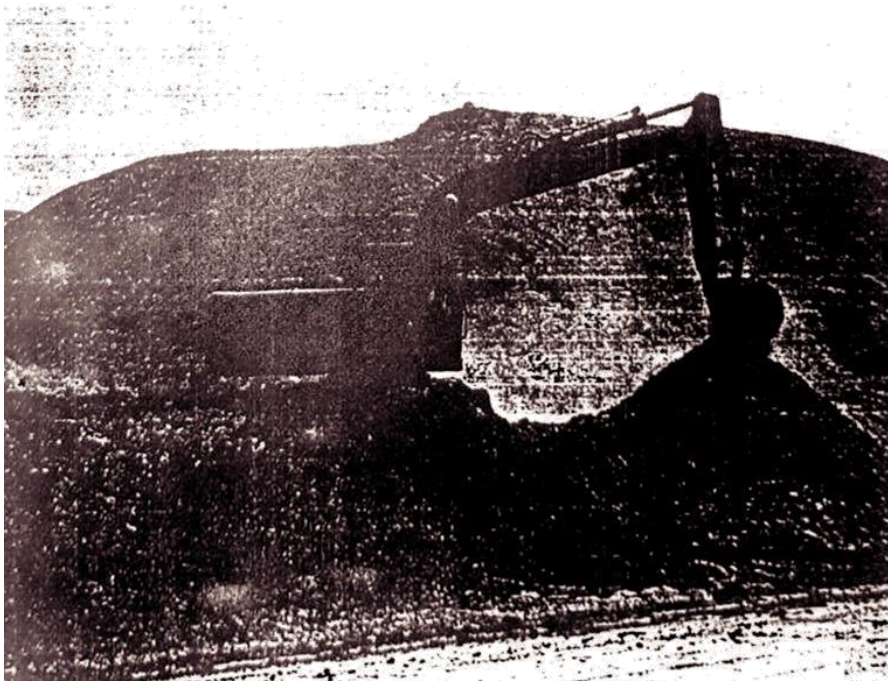


Foto No 4: Mezclado

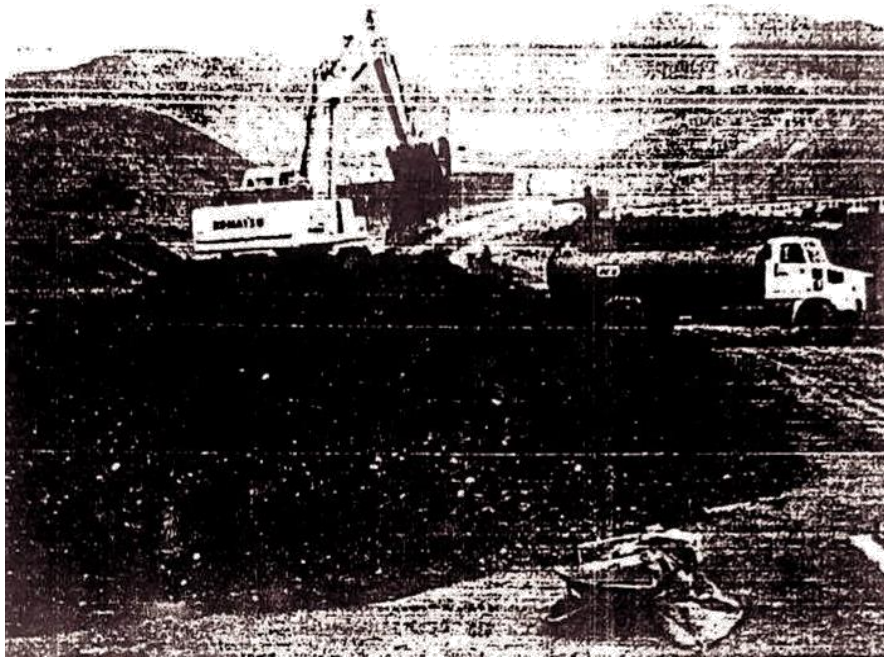


Foto No 5: Mezclado y regado

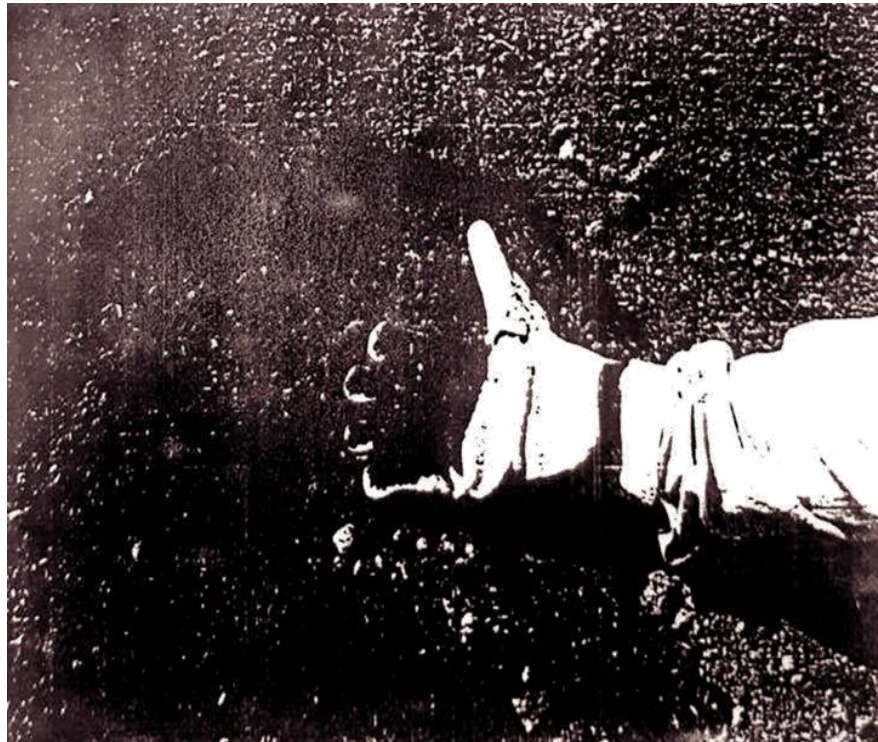


Foto No 6: Detalle de la mezcla

Anexo 5: Cuadros

Cuadro N° 1 : Respuesta de las plántulas repicadas en el sustrato de vivero.

Repetición	N° de individuo	Molle serrano	Molle costeño	Myoporum
1	1	V	V	M
	2	V	V	V
	3	V	V	V
	4	M	V	V
	5	V	V	V
2	1	V	V	M
	2	V	V	V
	3	V	V	V
	4	V	V	V
	5	V	V	V
3	1	V	V	V
	2	V	V	V
	3	V	V	V
	4	V	V	M
	5	V	V	M

V: Vivo

M: Muerto

Cuadro N° 2 : Respuesta de las plántulas repicadas en el SV/SC.

Repetición	N° de individuo	Molle serrano	Molle costeño	Myoporum
1	1	M	M	M
	2	M	M	V
	3	M	V	M
	4	V	M	M
	5	M	M	M
2	1	V	V	M
	2	M	V	V
	3	V	M	M
	4	V	M	M
	5	M	V	M
3	1	M	M	M
	2	M	M	M
	3	M	V	V
	4	M	M	M
	5	M	V	M

V: Vivo

M: Muerto

Cuadro N° 3 : Respuesta de las plántulas repicadas en el sustrato contaminado.

Repetición	N° de individuo	Molle serrano	Molle costeño	Myoporum
1	1	M	M	M
	2	M	M	M
	3	M	M	M
	4	M	M	M
	5	M	M	M
2	1	M	M	M
	2	M	M	M
	3	M	M	M
	4	M	M	M
	5	M	M	M
3	1	M	M	M
	2	M	M	M
	3	M	M	M
	4	M	M	M
	5	M	M	M

V: Vivo

M: Muerto

Cuadro N° 4 : Respuesta de las plántulas a la germinación en el sustrato de vivero.

Repetición	N° individuo	Mimosa	Huaranguillo
1	1	V	M
	2	V	M
	3	V	V
	4	M	V
	5	V	V
2	1	V	V
	2	V	V
	3	V	M
	4	V	V
	5	V	V
3	1	V	V
	2	V	M
	3	V	V
	4	V	V
	5	V	V

V: Vivo

M: Muerto

Cuadro N° 5 : Respuesta de las plántulas a la germinación en el SV/SC.

Repetición	N° individuo	Mimosa	Huaranguillo
1	1	M	M
	2	V	V
	3	V	V
	4	M	M
	5	V	M
2	1	M	V
	2	M	V
	3	M	M
	4	M	M
	5	M	M
3	1	M	M
	2	M	M
	3	M	M
	4	M	M
	5	V	M

V: Vivo

M: Muerto

Cuadro N° 6: Respuesta de las plántulas a la germinación en el sustrato contaminado.

Repetición	N° individuo	Mimosa	Huaranguillo
1	1	M	M
	2	M	M
	3	M	M
	4	V	M
	5	M	V
2	1	M	M
	2	M	V
	3	M	M
	4	M	M
	5	M	M
3	1	M	M
	2	M	M
	3	M	M
	4	M	M
	5	M	M

V: Vivo

M: Muerto

Como se puede apreciar en los resultados anteriores, solamente hay diferencias significativas en el número de muertos para el Molle costeño y el Mioporum.

- Para los tipos de suelos:
 Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Transf
 All Pairwise Comparisons among Levels of suelo

sustrato = 1 subtracted from

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
2	0.9021	0.08465	10.66	0.0000
3	1.2301	0.08465	14.53	0.0000

suelo = 2 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
3	0.3279	0.08465	3.874	0.0030

Prueba de Germinación:

El cuadro de ANVA obtenido es el siguiente:

Factor	Type	Levels	Values
especie	fixed	2	1 2
sustrato	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for Transf, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
especie	1	0.05171	0.05171	0.05171	0.96	0.347
sustrato	2	3.46340	3.46340	1.73170	32.04	0.000
especie*sustrato	2	0.17504	0.17504	0.08752	1.62	0.238
Error	12	0.64859	0.64859	0.05405		
Total	17	4.33874				

Comparaciones Múltiples (Efectos principales):

Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable Transf
 All Pairwise Comparisons among Levels of suelo

Anexo 6: Análisis estadístico aplicado al bioensayo

Debido a que el número de muertos no es una variable continua, se realizó una transformación para que los datos se adecuen a los requerimientos del experimento. La transformación utilizada fue: $y_{ijk} = \sqrt{\# \text{de muertos} + 1}$

Prueba de Repique

El cuadro de ANVA obtenido es el siguiente

Factor	Type	Levels	Values
especie	fixed	3	1 2 3
suelo	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for Transf, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
especie	2	0.30012	0.30012	0.15006	4.65	0.023
suelo	2	7.30348	7.30348	3.65174	113.26	0.000
especie*sustrato	4	0.22819	0.22819	0.05705	1.77	0.179
Error	18	0.58035	0.58035	0.03224		
Total	26	8.41214				

Como se puede apreciar en el cuadro de Anva, los efectos del sustrato y de las especies son significativos en el modelo, por lo tanto, se deben de realizar las pruebas de comparación múltiple para los efectos principales.

Comparaciones Múltiples (Efectos principales):

- Para las especies:

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable Transf
All Pairwise Comparisons among Levels of especie

especie = 1 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
2	-0.09597	0.08465	-1.134	0.5064
3	0.15965	0.08465	1.886	0.1714

especie = 2 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
3	0.2556	0.08465	3.020	0.0192

sustrato = 1 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
sustrato	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	0.8154	0.1342	6.075	0.0002
3	1.0137	0.1342	7.552	0.0000

sustrato = 2 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
sustrato	of Means	Difference	T-Value	P-Value
3	0.1983	0.1342	1.477	0.3356

Figura 1:

EL PROCESO DE COMPOSTAJE

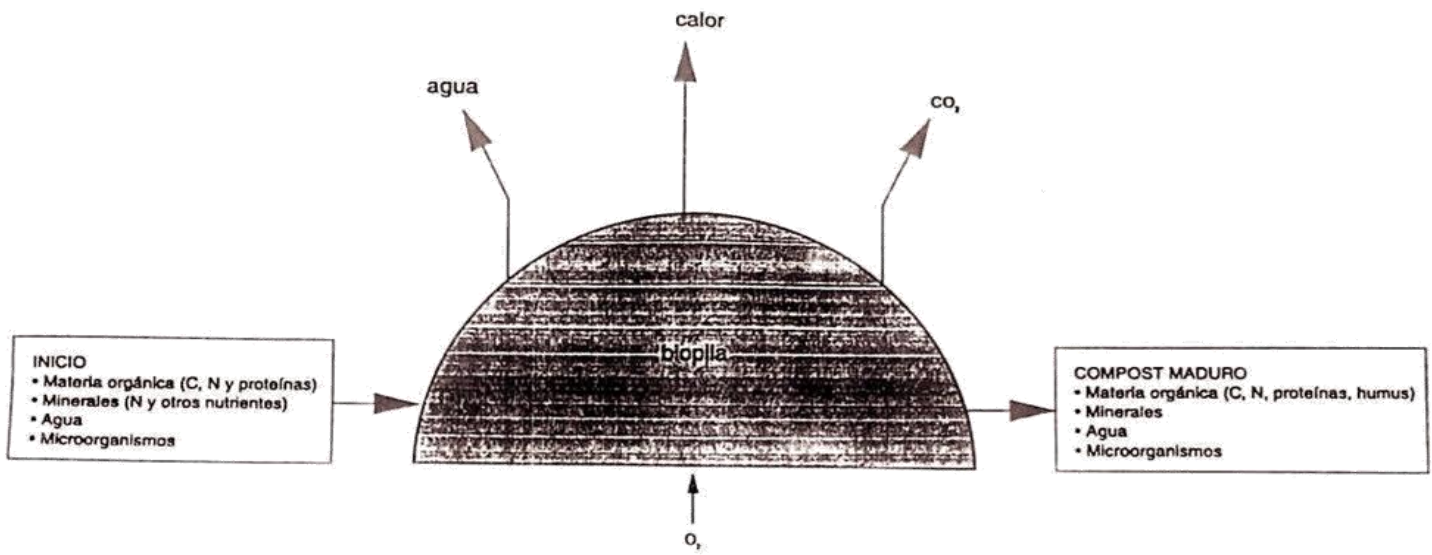


Figura 2:

MOVIMIENTO NATURAL DEL AIRE EN BIOPIA DE COMPOSTAJE

