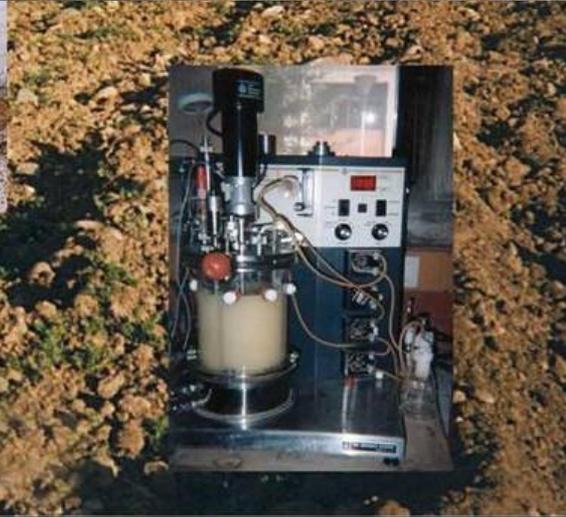
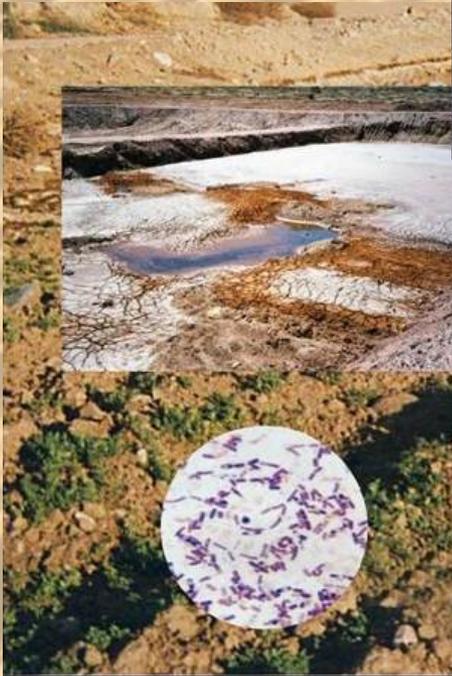


Biotecnología del Petróleo



Mgter Ing. José Antonio Gálvez



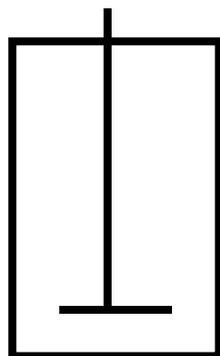
UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO
MENDOZA, ARGENTINA

BIOPROCESOS



FACULTAD
DE INGENIERÍA

ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PARA TRATAMIENTO DE SUELOS



REACTORES BIOLÓGICOS

... días



BIOPILAS

... semanas

TRATAMIENTO EN SUELO

... meses-años



Tratamiento de suelos con
hidrocarburos por la técnica
de

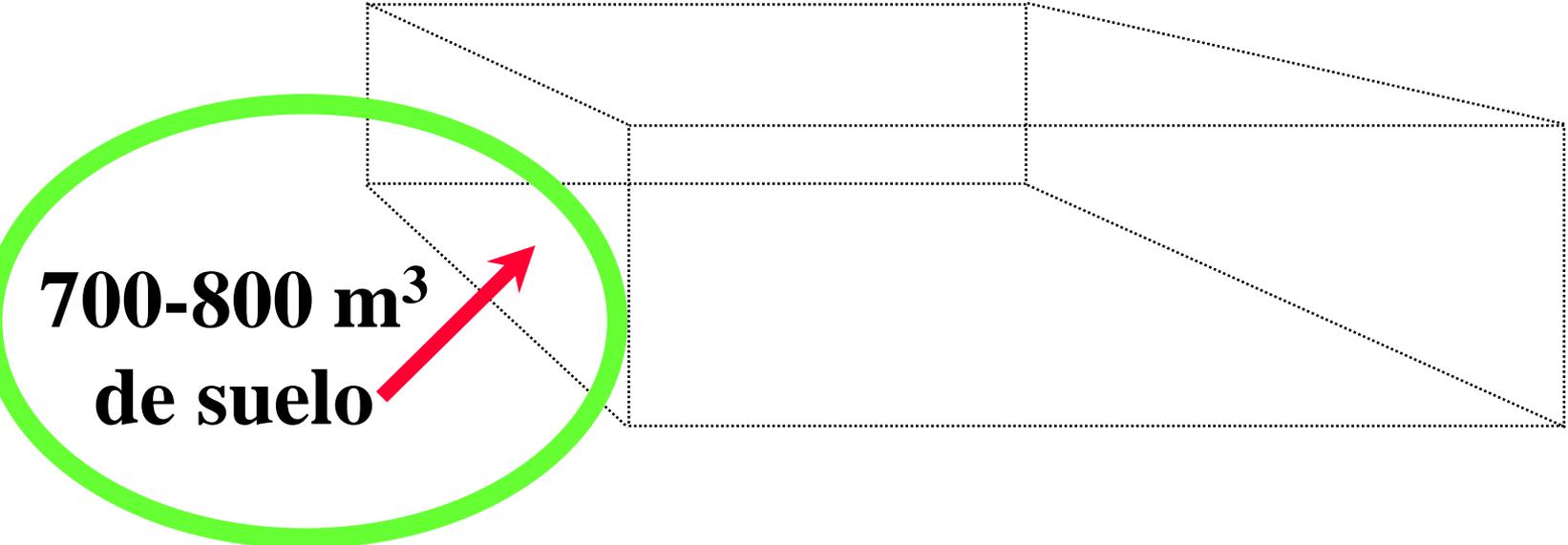
land farming



Tratamientos de Suelos empetroolados



UNIDAD DE PROCESO



**700-800 m³
de suelo**

- *la parcela unidad se maneja bajo el concepto de reactor biológico en fase sólida*
- *cada unidad tiene una capacidad de remoción característica*
- *la unidad de reacción está sometida a recargas periódicas*

Land farming

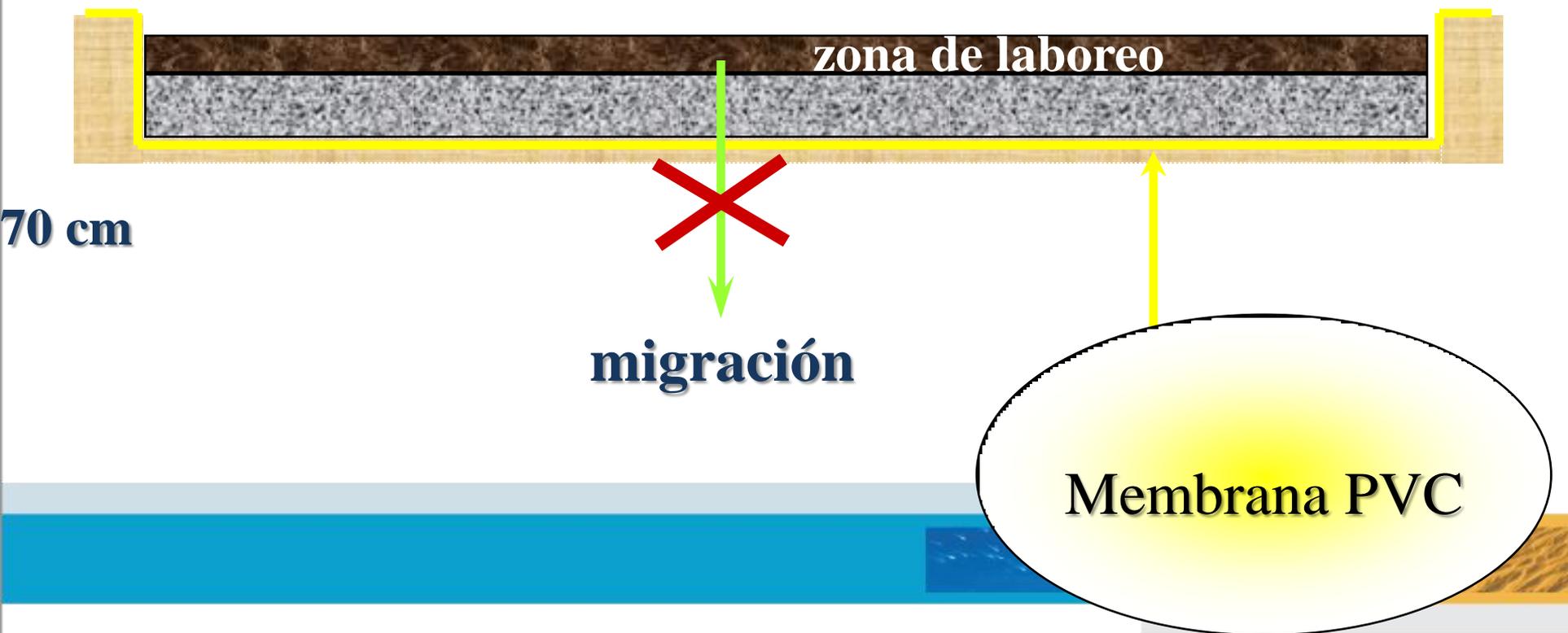
zona de laboreo

zona de
acumulación
y
pretratamiento
del suelo

Alambrado perimetral



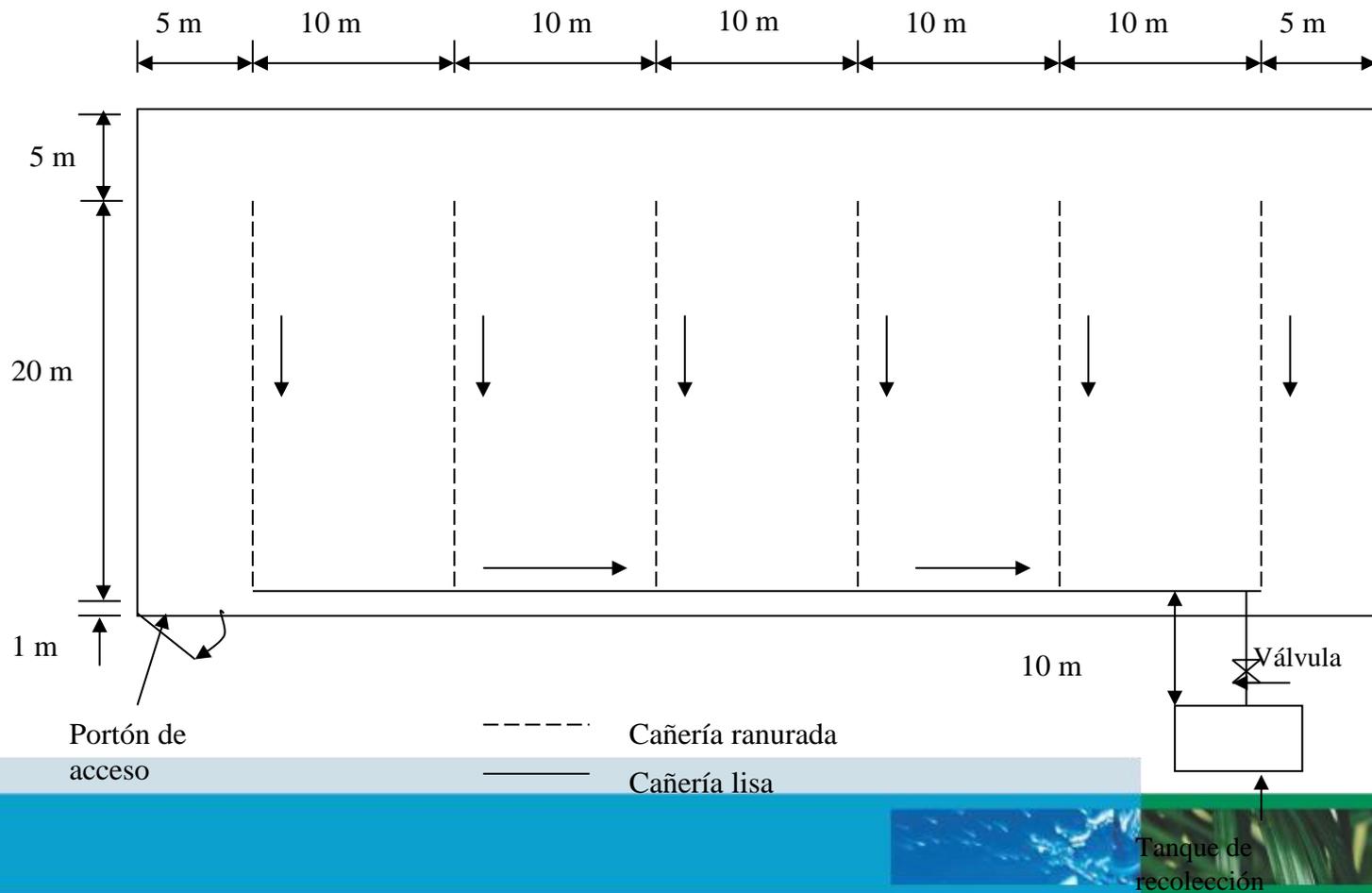
Landfarming



PARCELADO



Landfarming



Landfarming



Landfarming



Landfarming

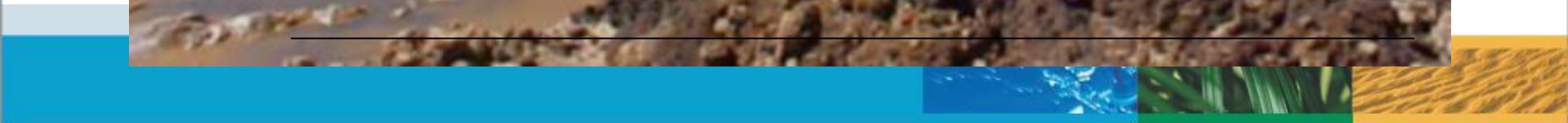


Landfarming



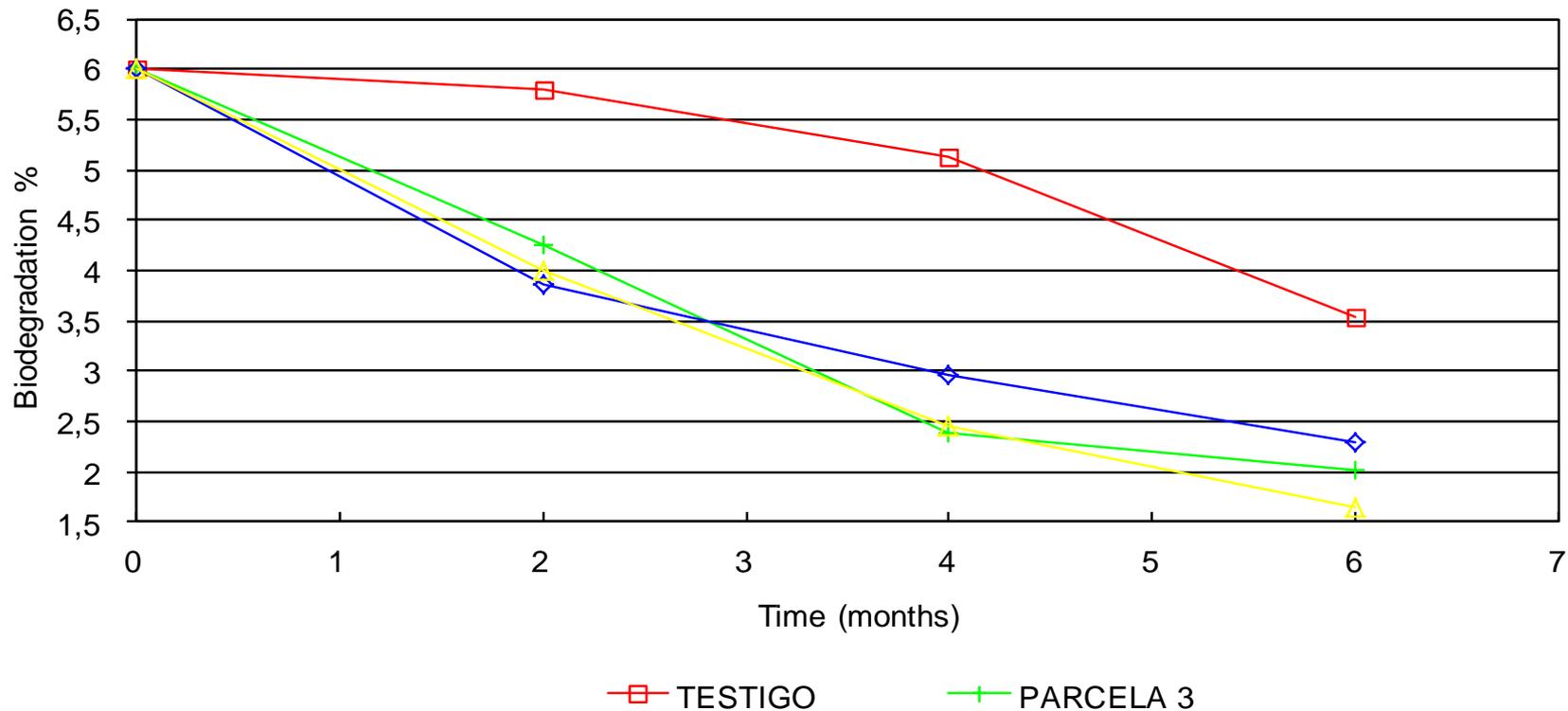








Degradabilidad de Hidrocarburo

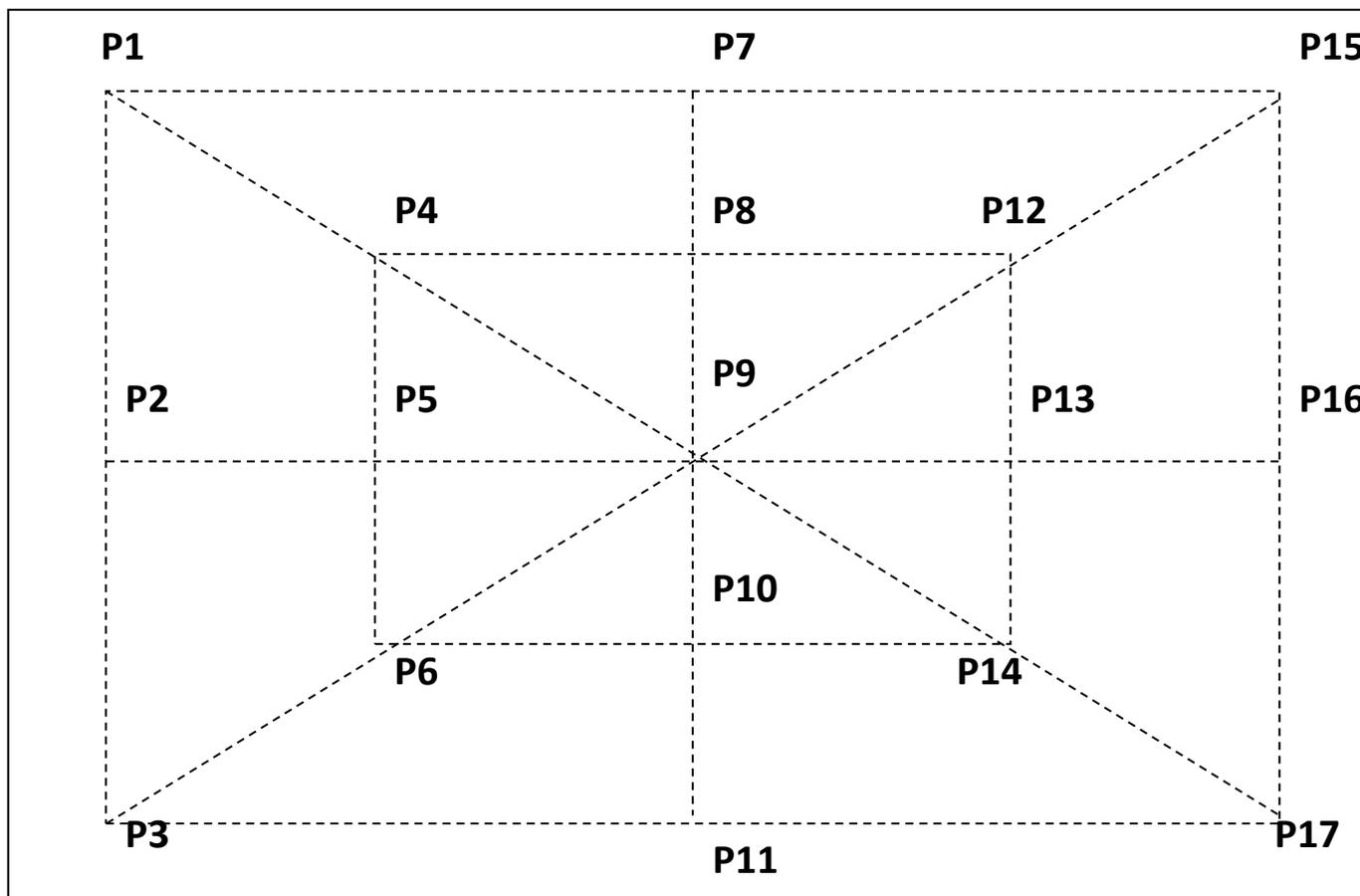


C : N : P : K

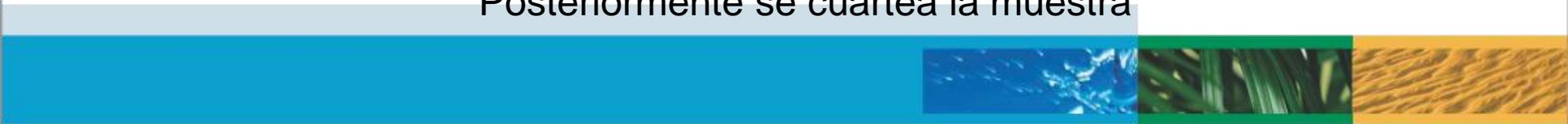




Muestreo: se aplica la siguiente grilla de muestreo



Posteriormente se cuartea la muestra







Controles analíticos a seguir

Caracterización inicial

- Concentración y tipo de hidrocarburos (Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP y SARA)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- Potasio
- Microorganismos degradadores de hidrocarburo
- Microorganismos heterótrofos totales
- PH
- Conductividad
- Capacidad de retención hídrica
- Textura del suelo,
- Densidad aparente



Controles analíticos a seguir

Proceso de tratamiento

- Hidrocarburos totales (analizar por qué método/s)
- Contenido de Nitrógeno
- Contenido de Fósforo
- PH
- Conductividad
- Concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburo y heterótrofos totales



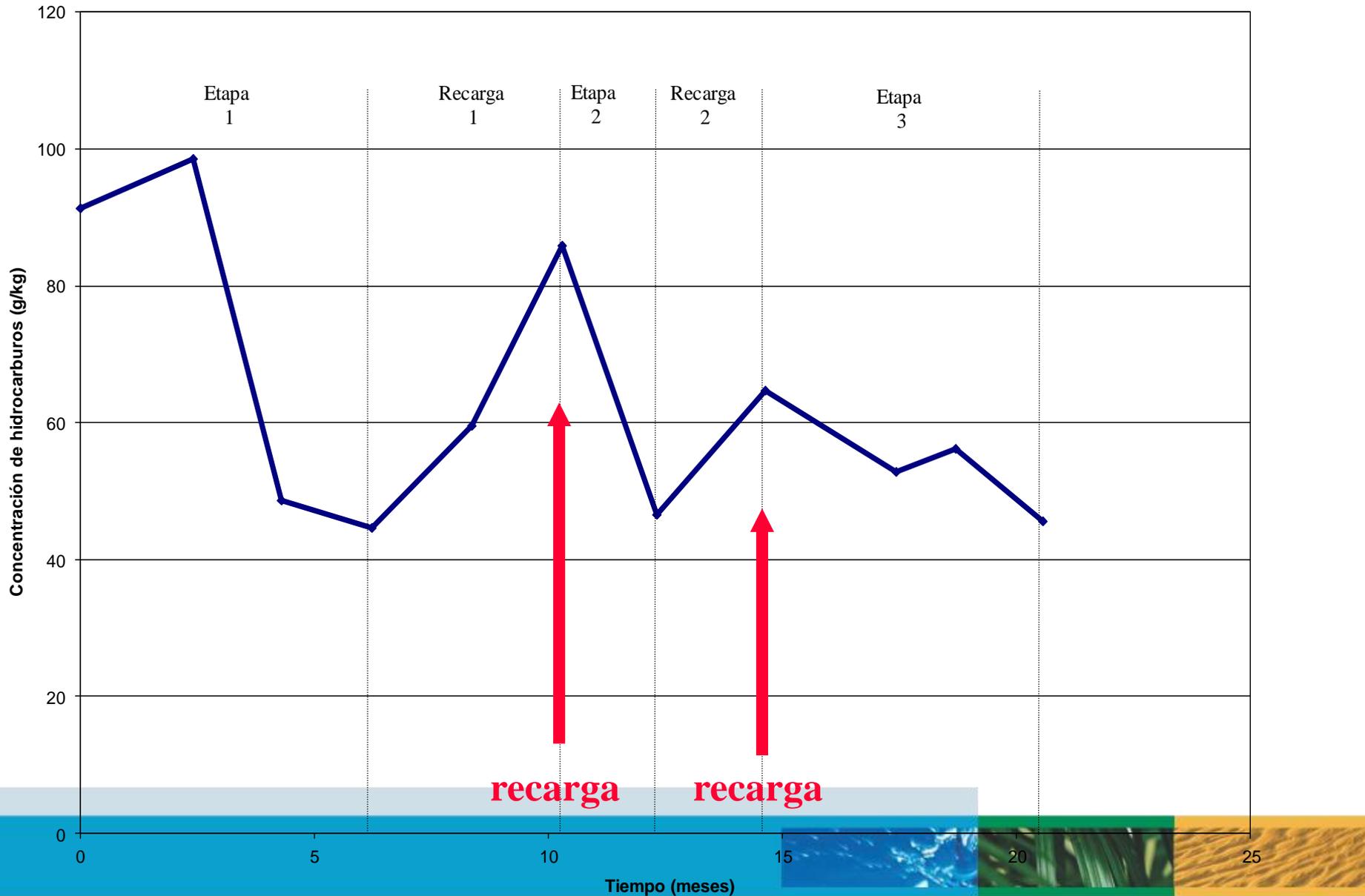
Controles analíticos a seguir

Caracterización final

- Concentración y tipo de hidrocarburos (Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP, SARA y legislación de aplicación)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- PH
- Conductividad



Evolución del proceso degradativo en una unidad de tratamiento

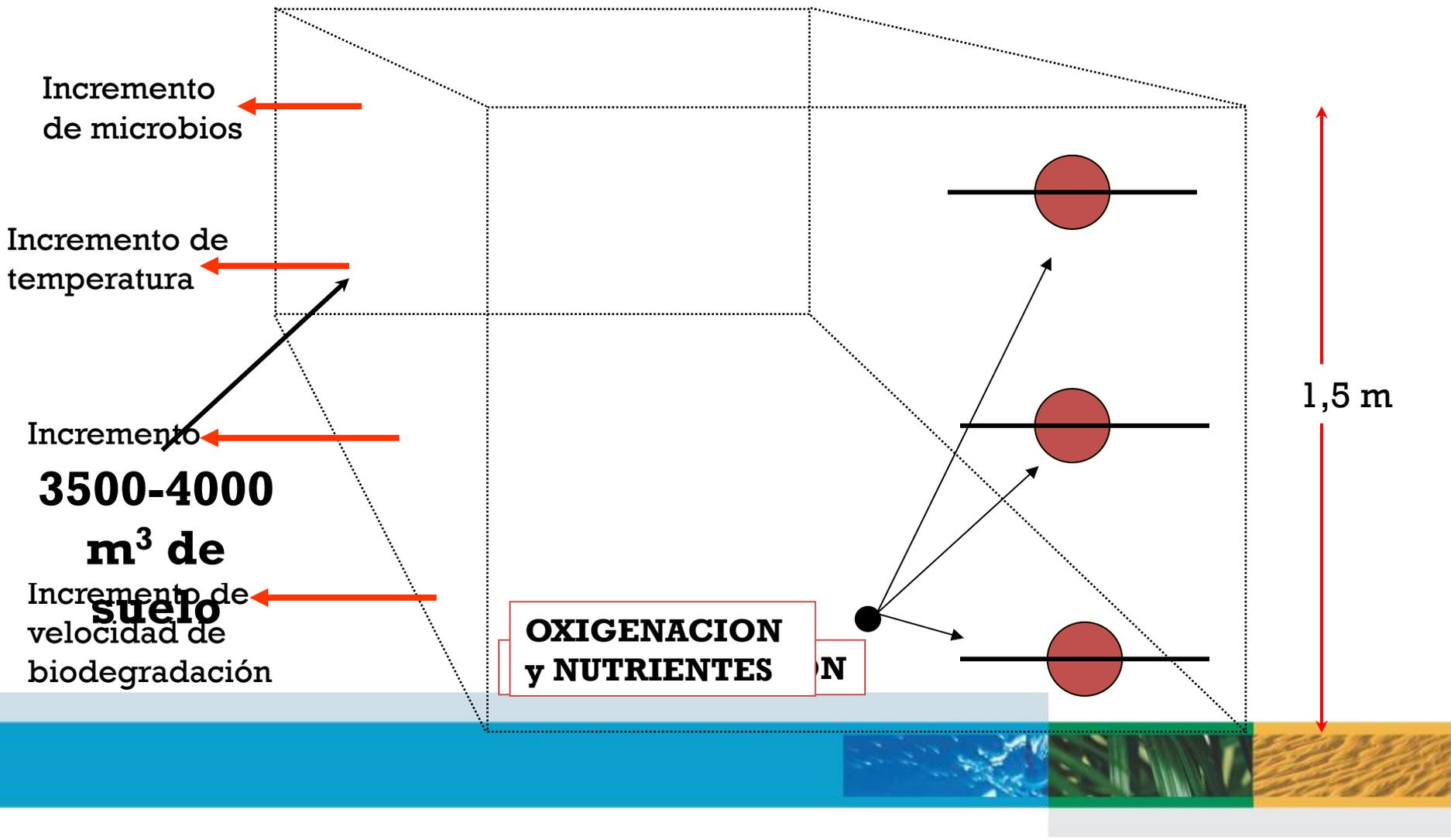


Tratamiento de suelos con
hidrocarburos por la técnica
de

Biopilas



UNIDAD DE PROCESO BIOPILA *modelo conceptual*



Incremento de microbios

Incremento de temperatura

Incremento de **3500-4000 m³ de suelo**

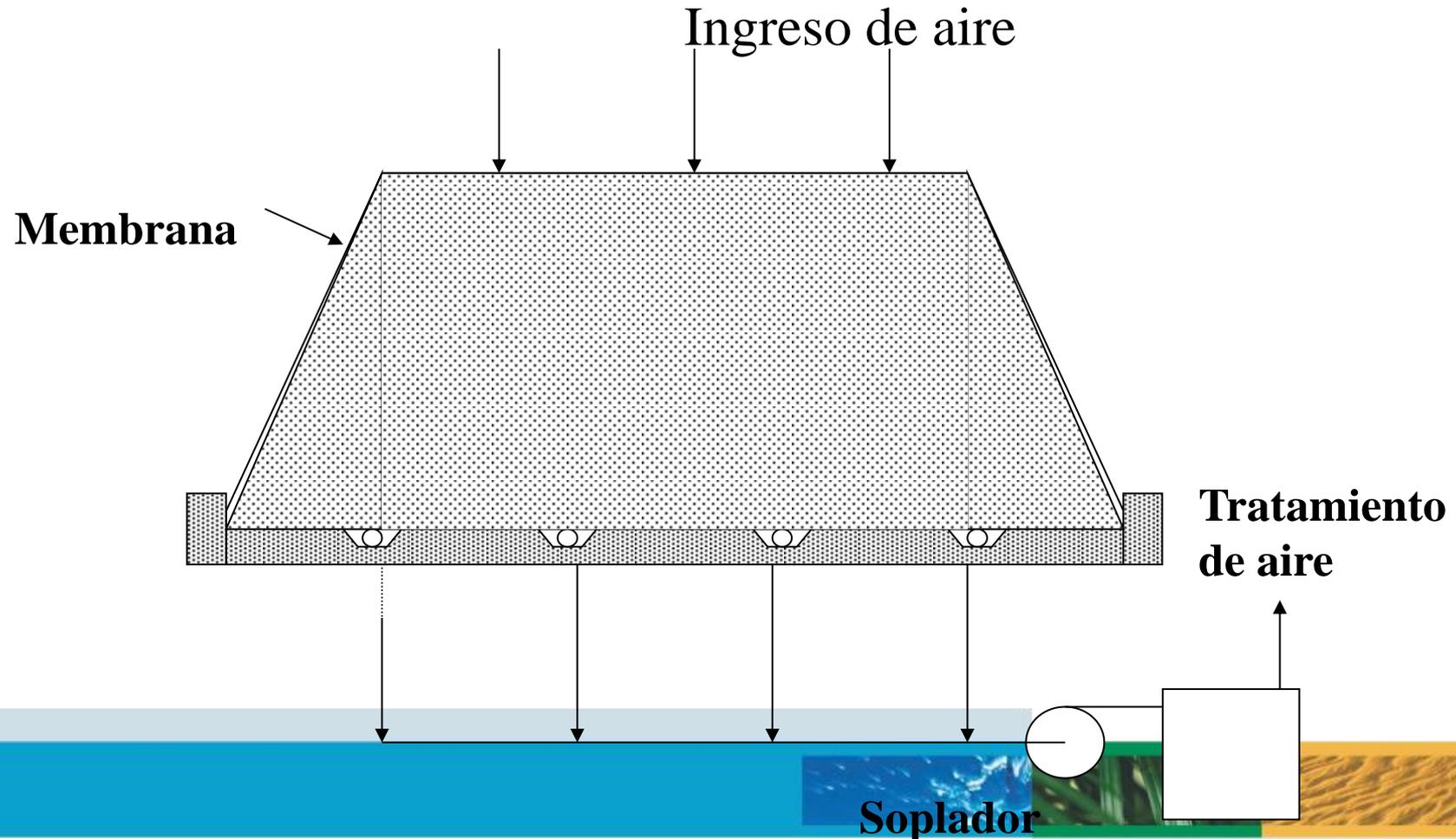
Incremento de velocidad de biodegradación

1,5 m

OXIGENACION y NUTRIENTES N

Tratamientos de Suelos empetroados

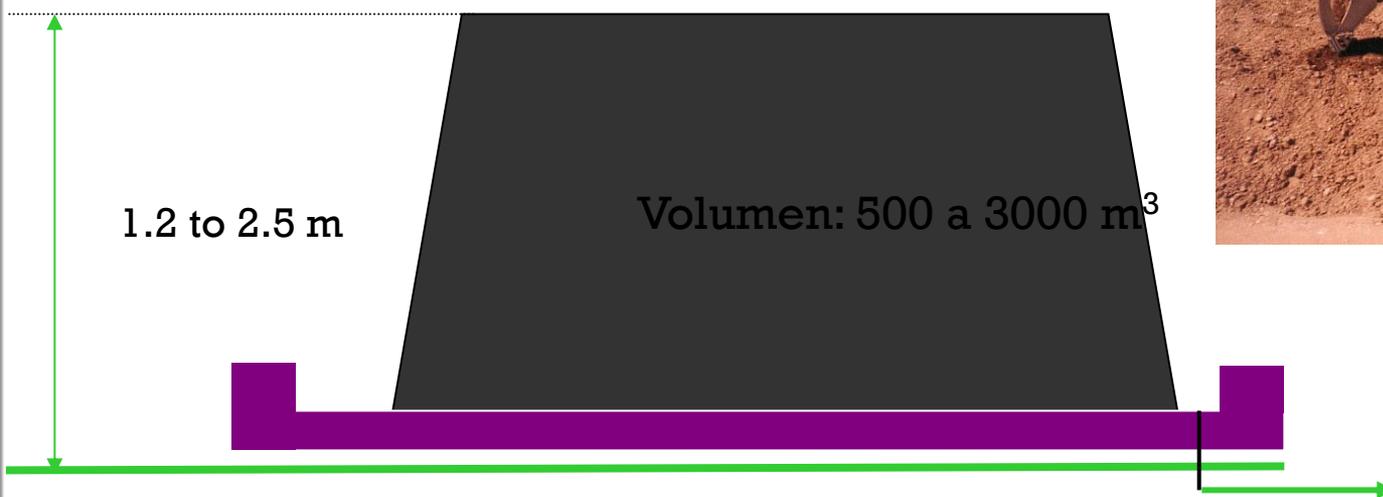
- Biopila (Sistema Neumático)



Biopila aireada por remoción mecánica

1.2 to 2.5 m

Volumen: 500 a 3000 m³



Secuencia de aireación y remoción



Sitio de tratamiento en la Patagonia (vista aérea)



Vistas de detalle de biopilas



Incorporación de nutrientes



Biopilas Aireadas por Remoción Mecánica

Características

- Intensa actividad biológica
- Alto consumo de fósforo
- Alto consumo de nitrógeno
- Incremento de la temperatura

Ventajas técnicas

- Conservación de la humedad
- Autogeneración de temperatura
- Retención de temperatura
- Amplio rango de aplicabilidad
- Alta velocidad de degradación
- No incremento de volumen de suelo

Ventajas adicionales

- Escaso requerimiento de área
- Modesto esfuerzo constructivo
- Fácil recolección de lixiviado



La biorremediación por biopilas no es la panacea

Está limitada a

- materiales que pueden ser tratados: SUBSTANCIAS ORGÁNICAS
- las condiciones del sitio
- la disponibilidad de tiempo

Es adecuada para:

- Compuestos orgánicos volátiles
- Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos
- Compuestos fenólicos
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAPs simples
- Hidrocarburos de petróleo
- Compuestos nitroaromáticos

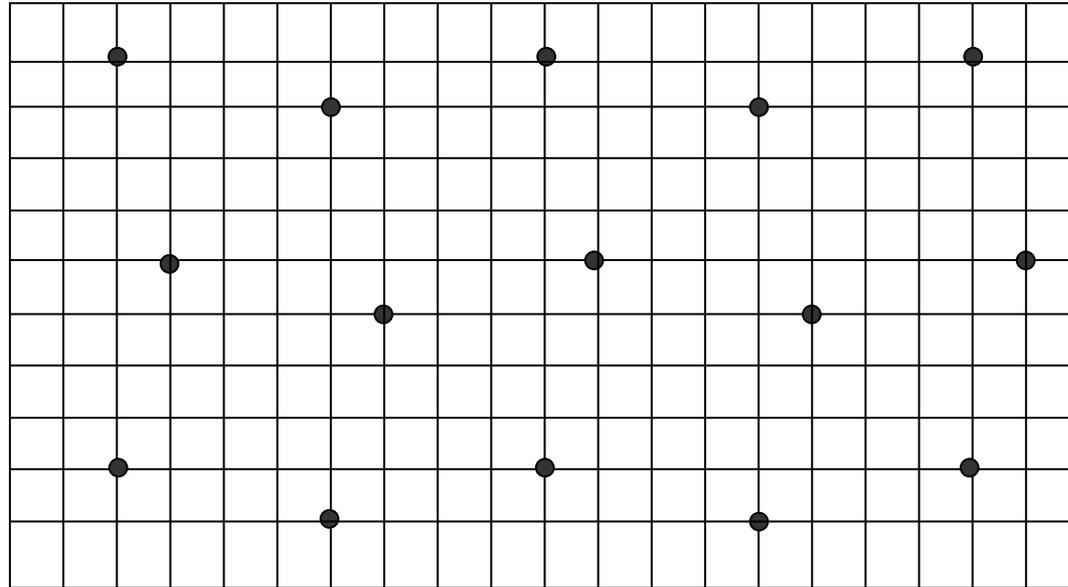
No es adecuada para:

- Metales (con ciertas restricciones)
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAPs complejos
- Hidrocarburos clorados

Se utilizan en Europa y América

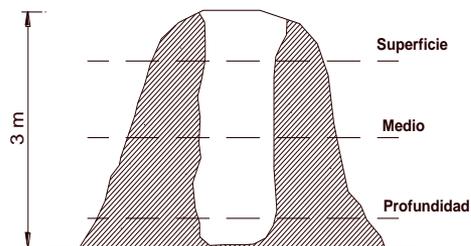
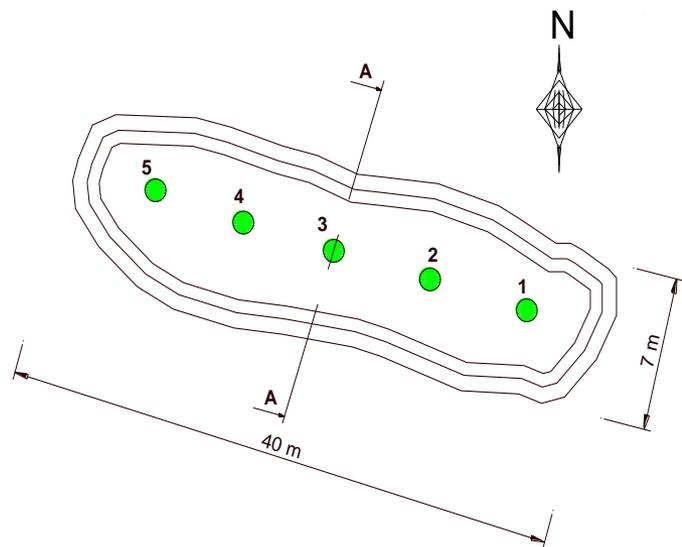


Toma de muestras: Se aplica una grilla de Herringbone. Dependiendo de la altura de la biopila se toman muestras ponderadas cada 1 m de profundidad.



Por ejemplo, para una biopila de 2 m de altura se toma una muestra ponderada a 0,5 m de profundidad, otra entre 1,5 y 2 m. Si tiene 3 m de altura las profundidades serán 0,5 m, 1,5 m y 2,5-2,8 m. Las muestras puntuales tomadas a la misma profundidad se cuarteon para formar una muestra ponderada correspondiente al estrato considerado.





Corte A - A

Biopila estrecha y alargada



El número de muestras se tomará considerando una muestra ponderada cada 500 m³ de suelo en tratamiento. Esta muestra estará conformada por al menos 5 muestras puntuales del mismo estrato

Herramientas de muestreo

Hoyador manual



Hoyador motorizado



Excavadora o
retroexcavadora



Caracterización inicial

- Concentración y tipo de hidrocarburos (Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP y legislación de aplicación)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- Potasio
- Microorganismos degradadores de hidrocarburo
- Microorganismos heterótrofos totales
- PH
- Conductividad
- Capacidad de retención hídrica
- Textura del suelo,
- Densidad aparente



Controles analíticos a seguir

Proceso de tratamiento

- Hidrocarburos totales (analizar por qué método/s)
- Contenido de Nitrógeno
- Contenido de Fósforo
- PH
- Conductividad
- Concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburo y heterótrofos totales
- Temperatura



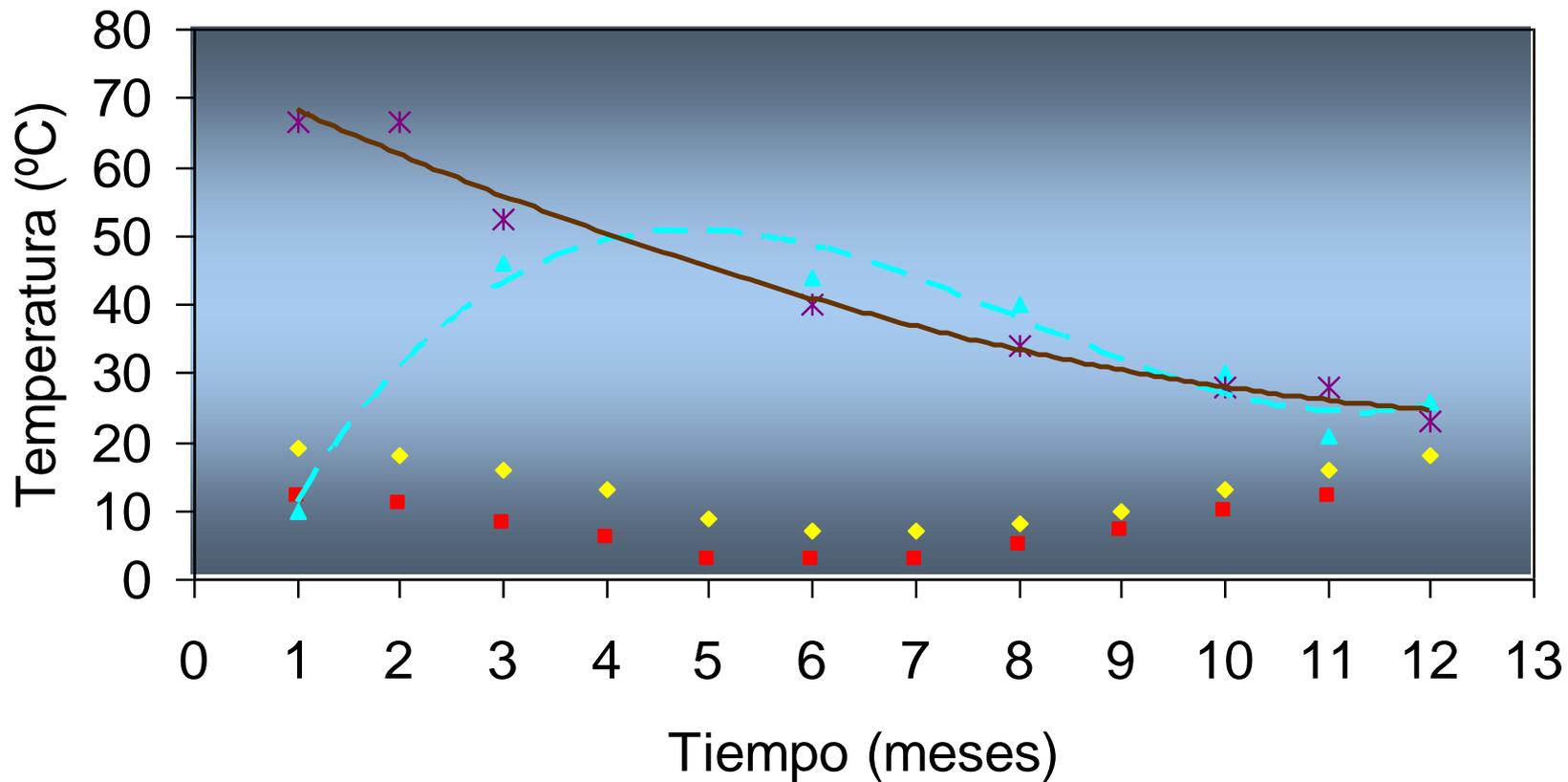
Controles analíticos a seguir

Caracterización final

- Concentración y tipo de hidrocarburos
(Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP, SARA y legislación de aplicación)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- PH
- Conductividad



Resultados

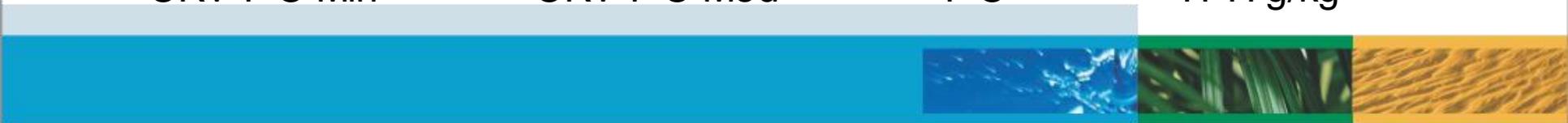


■ CRv T°C Min

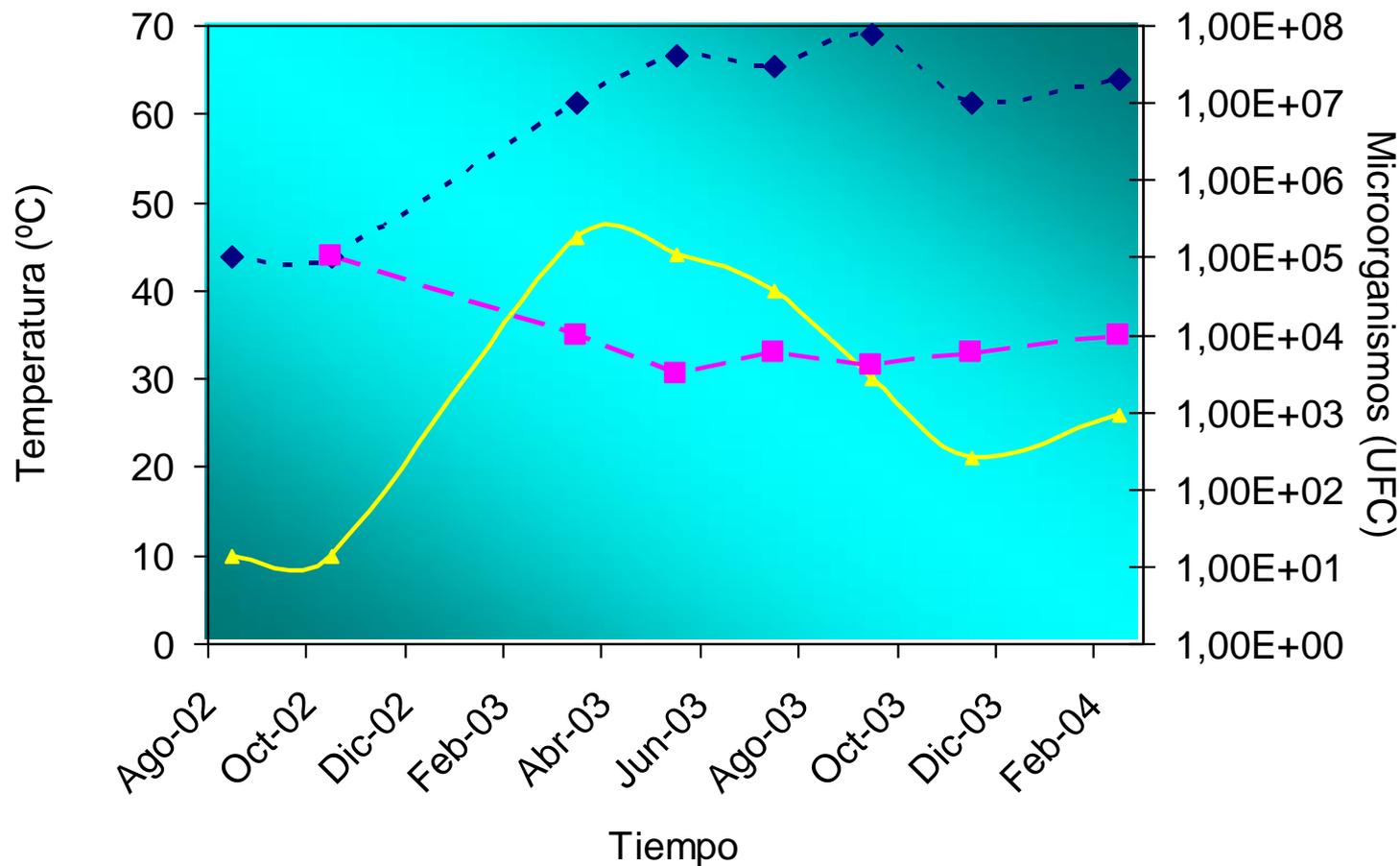
◆ CRv T°C Med

▲ T°C

* TPH g/kg



Resultados



—▲— T°C

-◆- Microorg. Mesofófilo

-■- Microorg. Psicrófilo

Tratamiento de suelos con
hidrocarburos por la técnica
de

Compostaje



COMPOSTAJE

Suelo
contaminado

Enmiendas
orgánicas

Residuos
vegetales

Actividad microbiana termofílica
54-65 °C

Proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono para la agricultura

•Factores: temperatura, humedad, pH, oxígeno, relación C/N equilibrada, población microbiana



Aplicabilidad

El Compostaje es aplicable a suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos biodegradables.

Proyectos piloto y en escala de trabajo han demostrado que el compostaje es capaz de reducir la concentración de explosivos como TNT a niveles aceptables.

El compostaje termofílico aeróbico es aplicable a suelos contaminados con HAPs.

Limitaciones

- se requiere espacio generalmente grande
- se requiere excavar el suelo y puede haber desprendimiento de volátiles
- el compostaje resulta en un incremento de volumen
- no se pueden tratar metales pesados



Fases del compostaje

En el proceso de compostaje, los microorganismos degradan la materia orgánica produciendo dióxido de carbono, agua, calor y humus. En condiciones óptimas este proceso se cumple en tres etapas:

- Fase de temperatura moderada o mesófila: en esta etapa que dura pocos días se degradan los compuestos solubles aumentando la temperatura rápidamente
- Fase de temperatura alta o termófila: durante este período se degradan proteínas, grasas y carbohidratos complejos como celulosa y hemicelulosa
- Fase de maduración: esta etapa es mesófila, es decir de temperaturas bajas y en ella se completa la maduración del compost degradándose la materia orgánica remanente.



Parámetros Químicos:

Relación Carbono – Nitrógeno

De todos los elementos necesarios para la descomposición microbiana, el carbono y el nitrógeno son los más importantes. El carbono es la fuente de energía de los microorganismos y constituye el 50% de la masa celular. El nitrógeno es un componente crítico para el crecimiento y la función celular debido a que forma parte de las proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y coenzimas.

La relación C/N más adecuada para compostaje es de **30:1**. Si la relación es baja se produce liberación de amoníaco, causando olores desagradables y si la relación es alta el proceso de degradación es más lento por la falta de nitrógeno para el crecimiento.



Oxígeno

Es esencial para el éxito del compostaje. Aunque en la atmósfera la concentración es de 21%, los microbios pueden sobrevivir a concentraciones de hasta 5%, el óptimo para mantener un compostaje aeróbico es del 10%.

Balance de nutrientes

El Fósforo, Potasio y minerales traza como Calcio, Hierro, Boro y Cobre son esenciales para el metabolismo microbiano. En un compostaje estos nutrientes no están limitados ya que se encuentran presentes en amplias concentraciones en los materiales compostados.

pH

El pH óptimo para un compostaje se encuentra entre 5.5 y 8.5.



Temperatura

El calor en un compost es uno de los productos de la degradación microbiana. La producción de calor depende del tamaño de la pila, del contenido de humedad, aireación y relación C/N.

Tamaño de partícula

La actividad microbiana ocurre generalmente en la superficie de las partículas orgánicas. A medida que disminuye el tamaño de partícula, aumenta el área y por ello se incrementa la velocidad de descomposición. Sin embargo a medida que las partículas son más pequeñas tienden a compactarse impidiendo la circulación de aire y provocando la inhibición de los microorganismos.

El tamaño de partícula también afecta a la disponibilidad del carbono y nitrógeno. Por ejemplo la viruta de madera es un buen agente **porosante** que ayuda a mejorar la aireación de la pila pero provee de menos carbono disponible que si utilizáramos aserrín.



Tamaño y forma del sistema

El tamaño de la pila debe ser suficientemente grande para permitir la disipación del calor y la humedad sin comprometer la eficiencia de la circulación de aire.

La forma de la pila ayuda a controlar el contenido de humedad. En regiones húmedas con sistemas al aire libre pueden necesitar protección contra las lluvias, en regiones áridas las pilas deben construirse con la parte superior cóncava para captar agua proveniente de las lluvias o la incorporada

Recubrimiento de las pilas

Se utilizan para prevenir que las lluvias entren en contacto con las pilas. La cubierta debe permitir el intercambio de gases entre la atmósfera y el compost, permitiendo también las maniobras de la maquinaria.

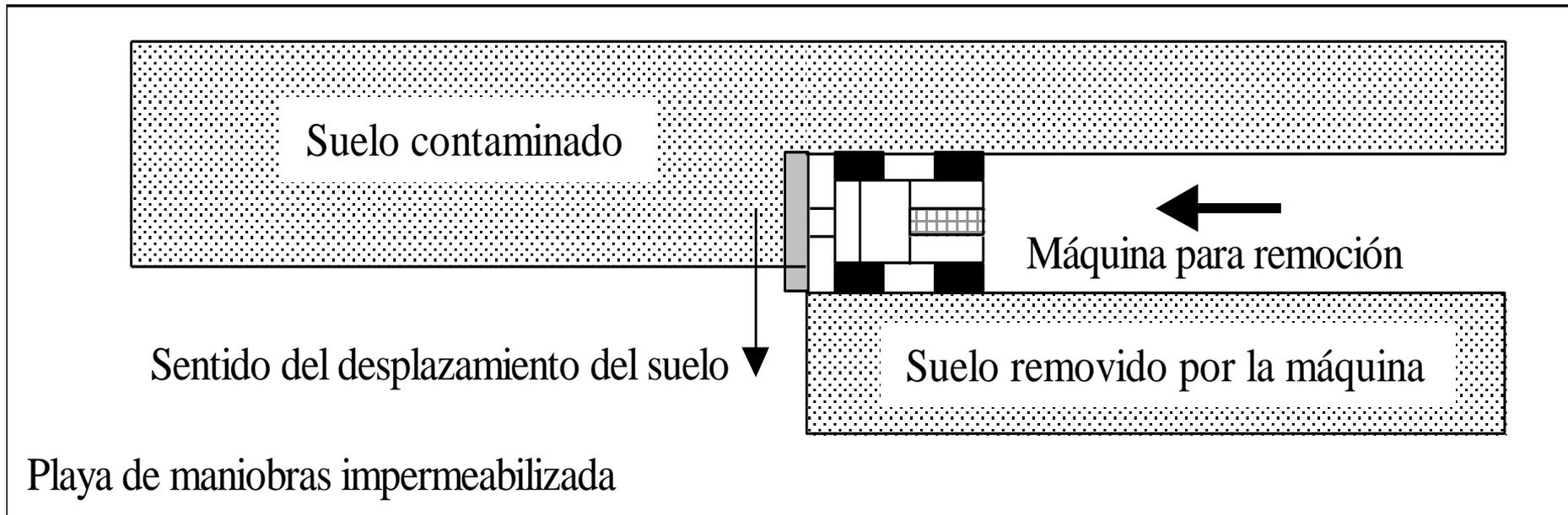


Propiedades del Compost

- ◆ La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura del suelo, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo
- ◆ Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos
- ◆ Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización
- ◆ La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

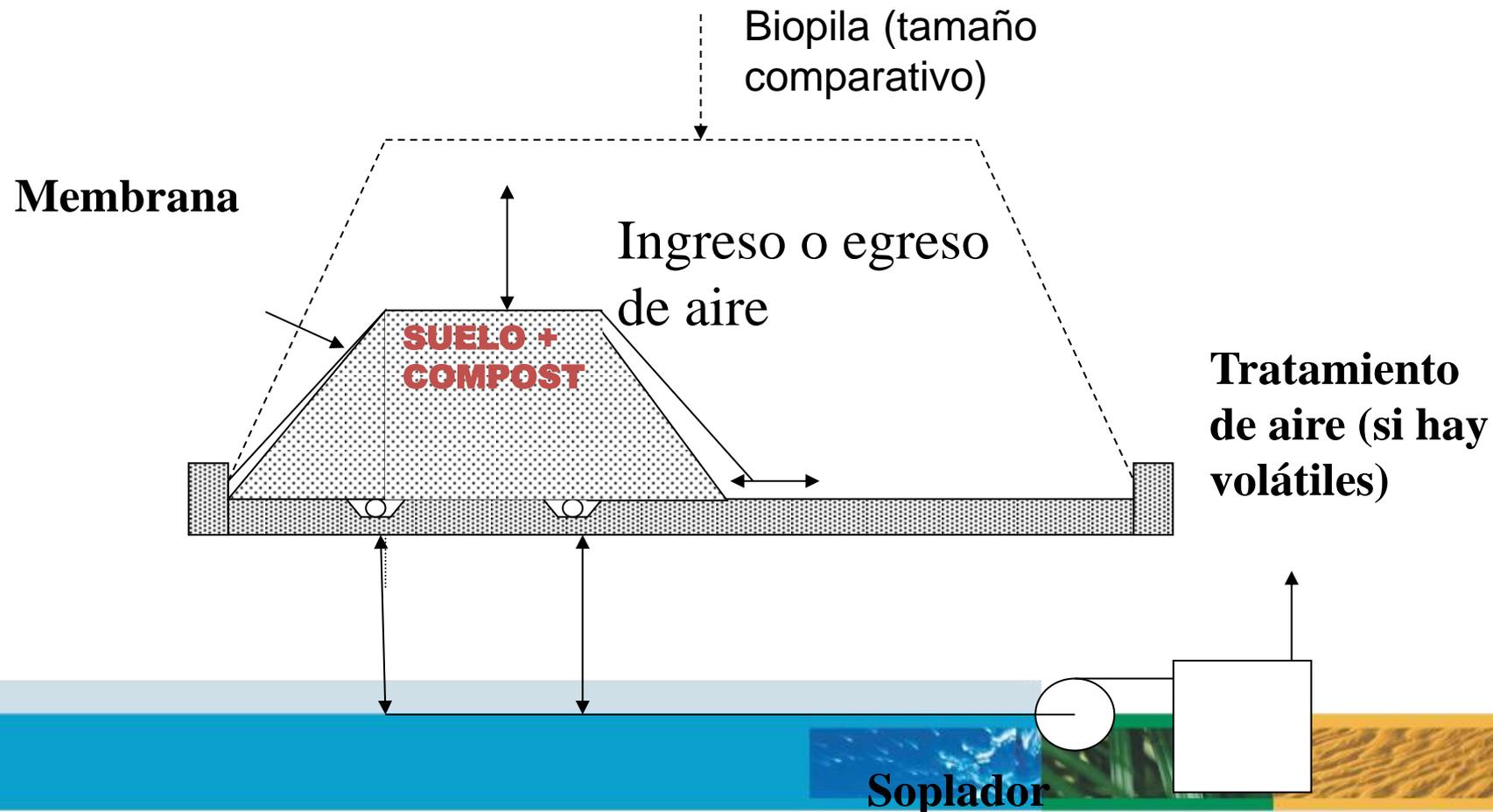


COMPOSTAJE EN CAMELLONES O WINDROWS



Tratamientos de Suelos empetroados

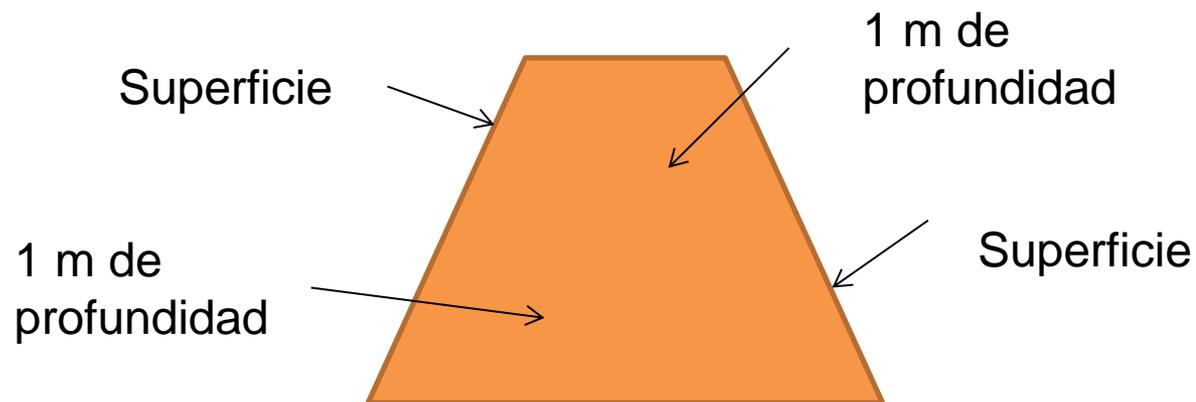
- Compostaje (Sistema Neumático)



Comparación de los sistemas de compostaje

Nivel de control	Sistema en bordos	Pilas estáticas	Reactores de compostaje
Nivel de pericia operacional	bajo	moderado	alto
Flexibilidad del proceso	alto	medio	bajo
Flexibilidad de carga de material	alto	medio	medio
Control de proceso	bajo	medio	alto
Control de humedad	bajo	medio	alto
Control de emisión de aire	bajo	medio	alto
Control de escurrimiento	medio	medio	alto
Requerimiento de espacio	alto	medio	bajo
Destrucción de patógenos	medio	alto	alto
Dependencia climatológica	alto	medio	bajo
Costo de capital	bajo	medio	alto
Costo de mantenimiento	bajo	medio	alto

Toma de muestras: se aplica una grilla de Herringbone a ambos lados del camellón. Se toma una muestra ponderada alternando muestras puntuales en superficie y a 1 m de profundidad.



El número de muestras se tomará considerando una muestra ponderada cada 500 m³ de suelo en tratamiento. Esta muestra estará conformada por al menos 5 muestras puntuales del mismo estrato

Herramientas de muestreo

Hoyador manual



Hoyador
motorizado



Controles analíticos a seguir

Caracterización inicial

- Concentración y tipo de hidrocarburos (Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP y legislación de aplicación)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- Potasio
- Microorganismos degradadores de hidrocarburo
- Microorganismos heterótrofos totales
- PH
- Conductividad
- Capacidad de retención hídrica
- Textura del suelo,
- Densidad aparente



Controles analíticos a seguir

Proceso de tratamiento

- Hidrocarburos totales (analizar por qué método/s)
- Contenido de Nitrógeno
- Contenido de Fósforo
- Materia orgánica
- PH
- Conductividad
- Concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburo y heterótrofos totales
- Temperatura



Controles analíticos a seguir

Caracterización final

- Concentración y tipo de hidrocarburos (Hidrocarburos por EPA 418.1 y TNRCC 1006, BTEX, HAP y SARA legislación de aplicación)
- Metales pesados según legislación de aplicación
- Nitrógeno,
- Fósforo,
- PH
- Conductividad



Tratamiento de suelos con
hidrocarburos por la técnica
de
reactores biológicos



REACTOR BIOLÓGICO

Constituye un ambiente mas o menos confinado donde se mantienen las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de los microorganismos y los procesos metabólicos requeridos para una biotransformación deseada.

Se pueden dividir en tres grandes grupos:

- * FASE LIQUIDA**
- * FASE SOLIDA**
- * FASE SLURRY (LODO)**



TIPOS DE REACTORES

FASE SOLIDA

- LANDFARMING
- BIOPILAS
- REACTORES DE COMPOSTAJE
- REACTORES EN LECHO FLUIDIZADO
- REACTORES ROTATORIOS

FASE SLURRY

- DITS
- REACTORES ROTATORIOS
- REACTORES TANQUE AGITADO
- REACTORES AIRLIFT



TIPOS DE REACTORES

FASE SOLIDA

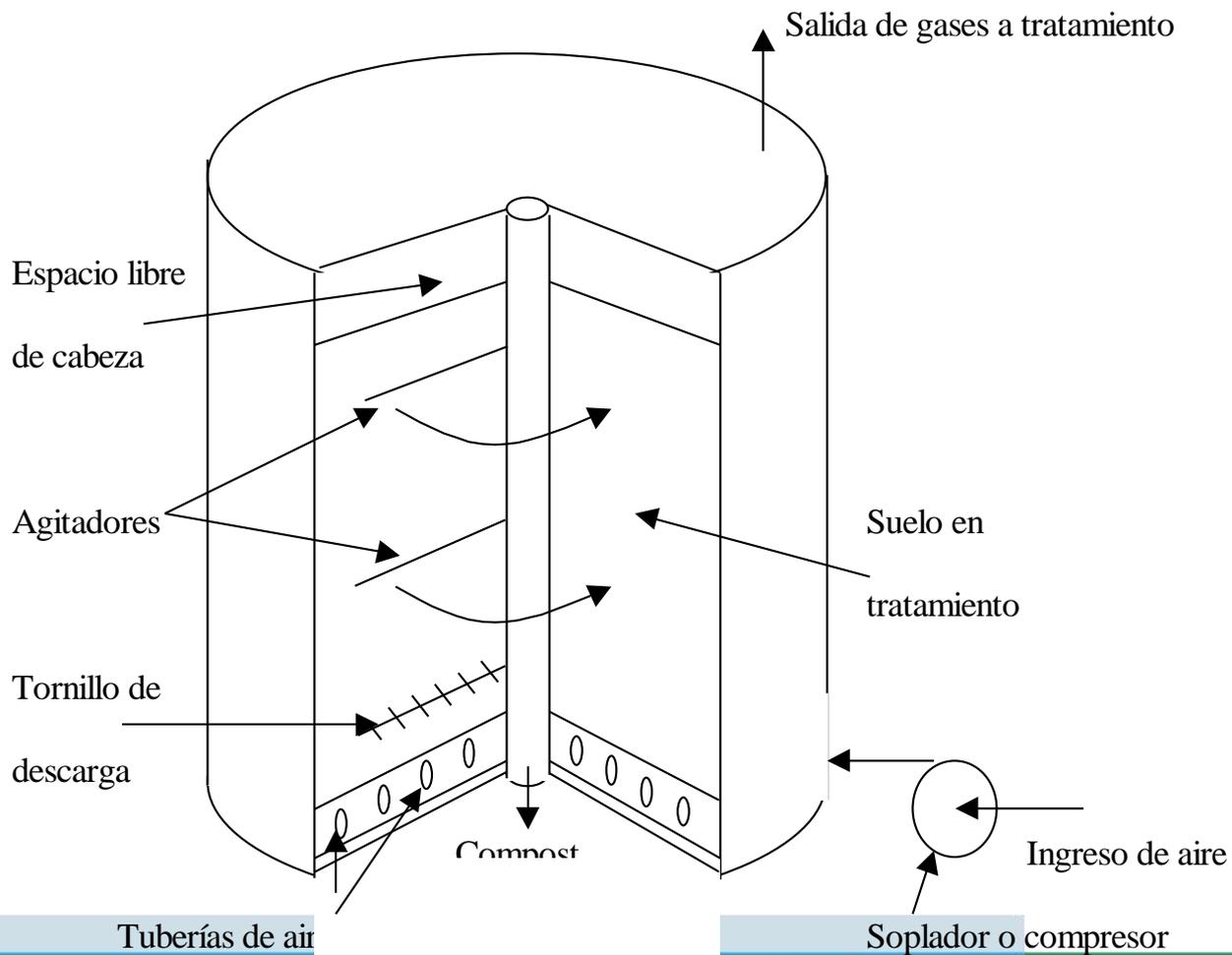
VENTAJA:

- PERMITEN TRABAJAR A NIVELES DE CONTAMINACION QUE SERIAN TOXICOS EN SISTEMAS DE FASE LIQUIDA
- REQUIEREN UN MINIMO DE AGUA Y MINIMAS OPERACIONES POSTERIORES AL TRATAMIENTO PARA DISPONER EL SUELO
- PUEDEN SOPORTAR MICROORGANISMOS QUE NO DESARROLLAN BIEN EN FASE LIQUIDA
- SON BASTANTE RESISTENTES A LA CONTAMINACIÓN CON OTROS MICROORGANISMOS

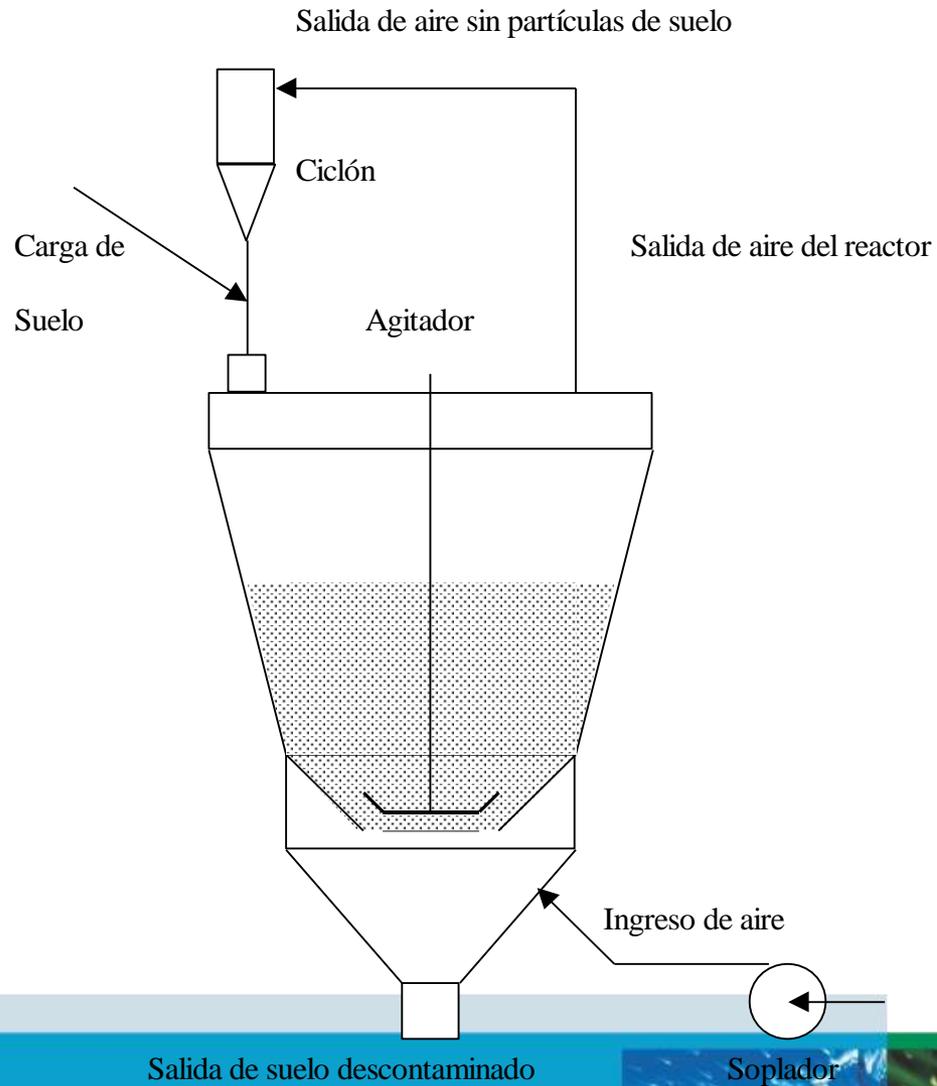
DESVENTAJAS:

- ALTAS RESTRICCIONES POR TRANSFERENCIA DE MATERIA
- EN LOS REACTORES ROTATORIOS O AGITADOS EXISTE UN FUERTE EFECTO ABRASIVO
- ALTA HETEROGENEIDAD, EN PARTICULAR EN LOS REACTORES ESTÁTICOS

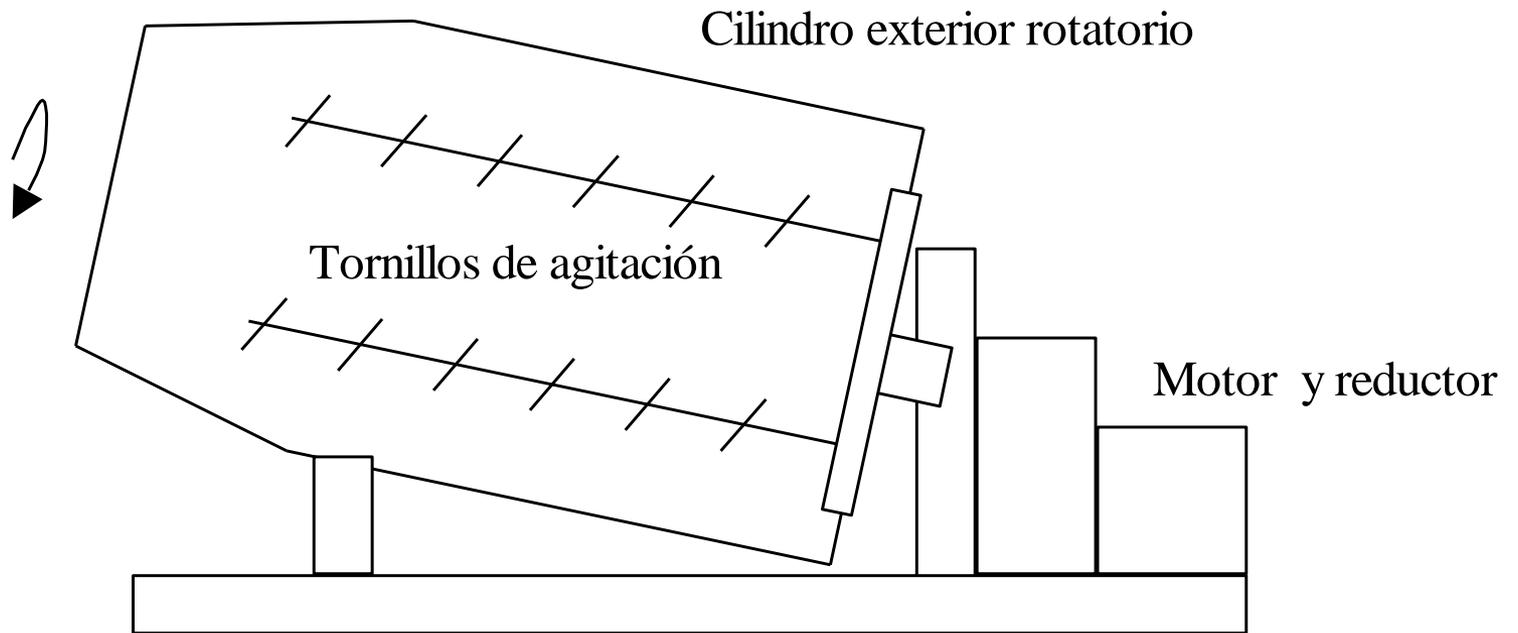
REACTORES DE COMPOSTAJE



REACTORES DE LECHO FLUIDIZADO



REACTORES DE TAMBOR ROTATORIO



VENTAJAS

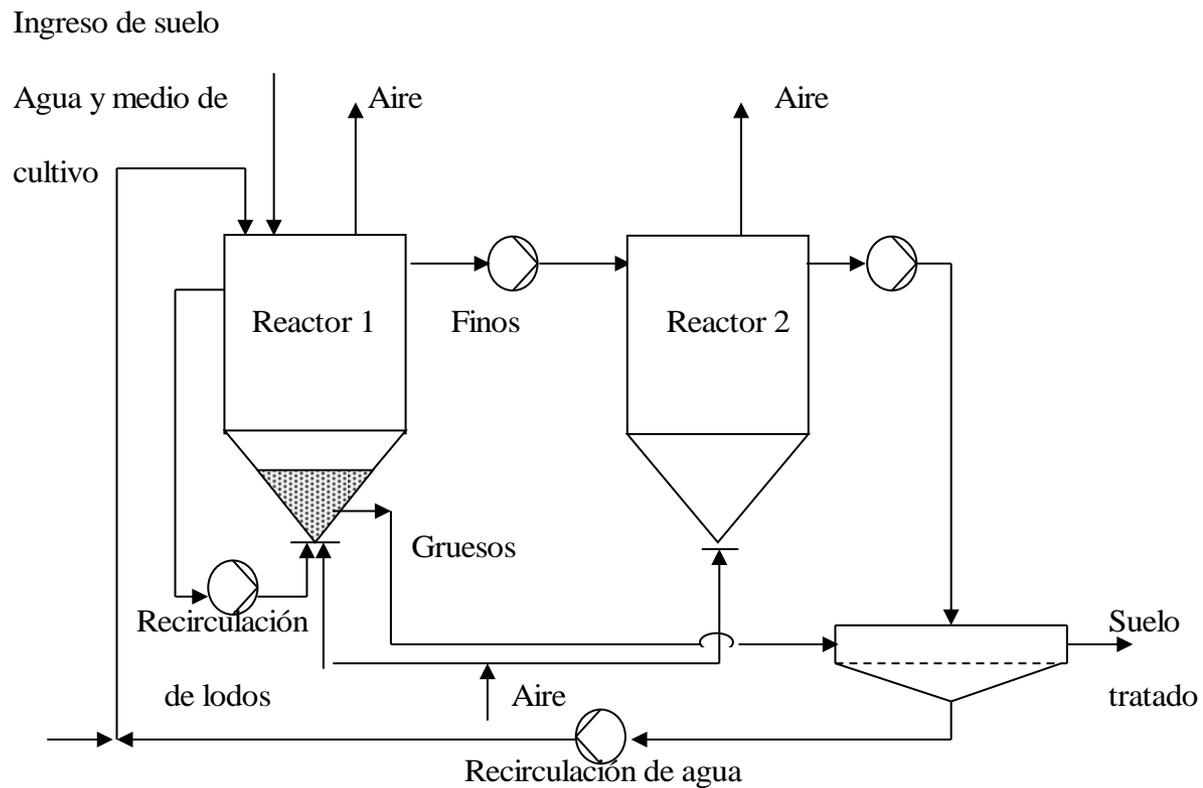
- **Control de proceso mayor y mas uniforme**
- **Mejora de la solubilización de los productos químicos**
- **Rotura física de las partículas suelo lodo**
- **Incrementa el contacto entre microorganismos y contaminantes**
- **Posibilita el uso de surfactantes**
- **Mejora la homogeneidad y la distribución de nutrientes**
- **Mayores velocidades de degradación**
- **Permiten hacer uso de microorganismos específicos o bien realizar una bioaumentación controlada**

DESVENTAJAS

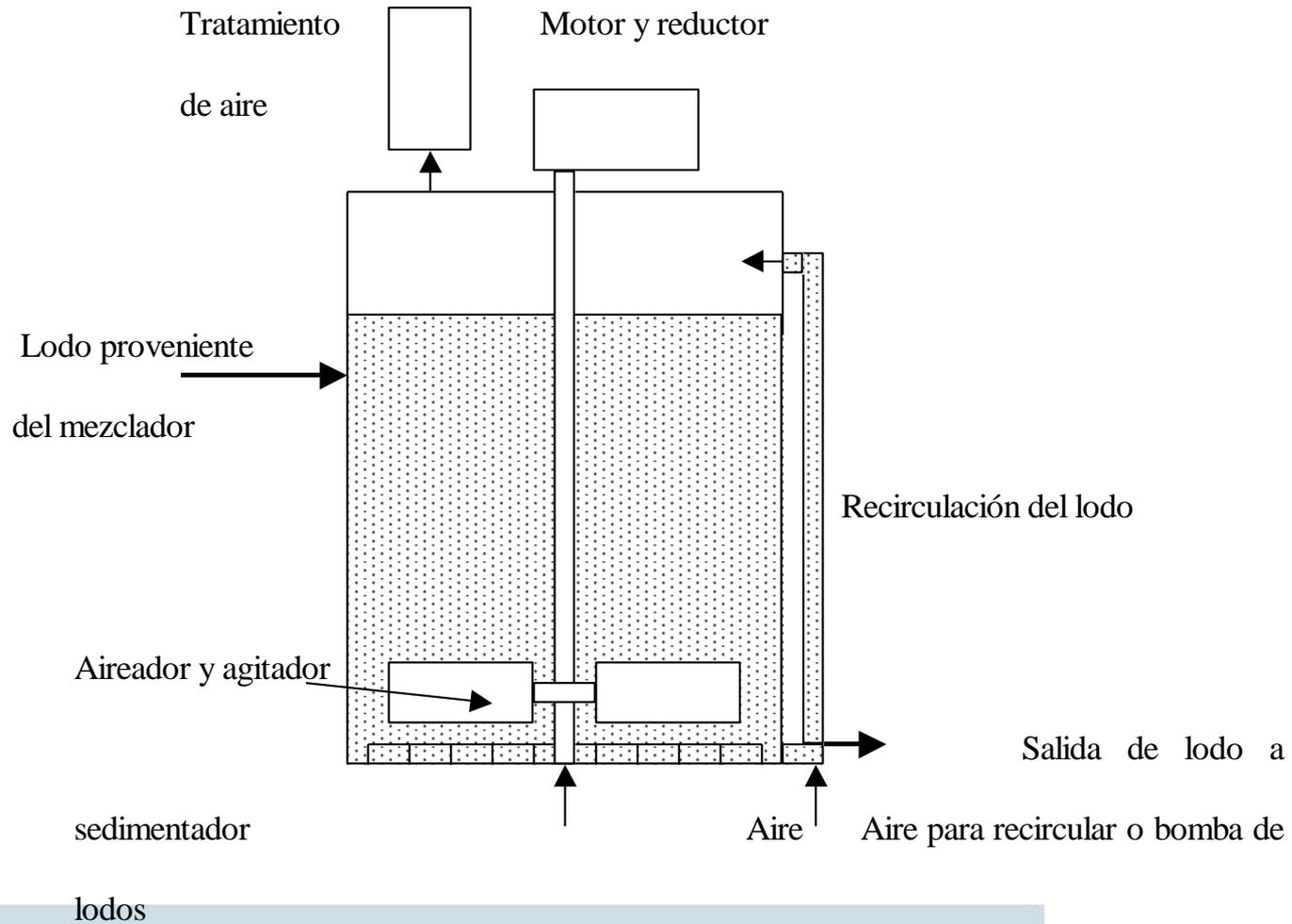
- **Tratamiento del lodo resultante y producción de agua residual**
- **Preparación del suelo a tratar: tamizado, mezclado con agua**



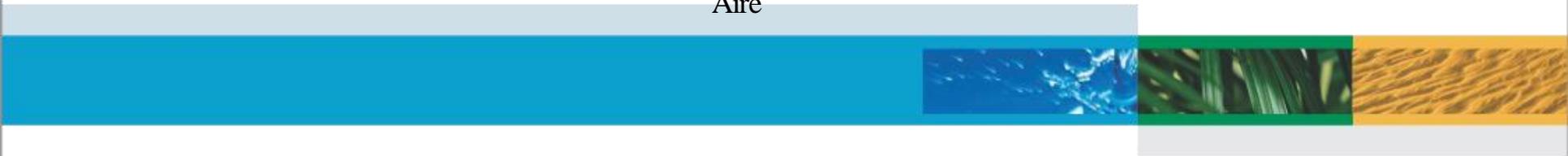
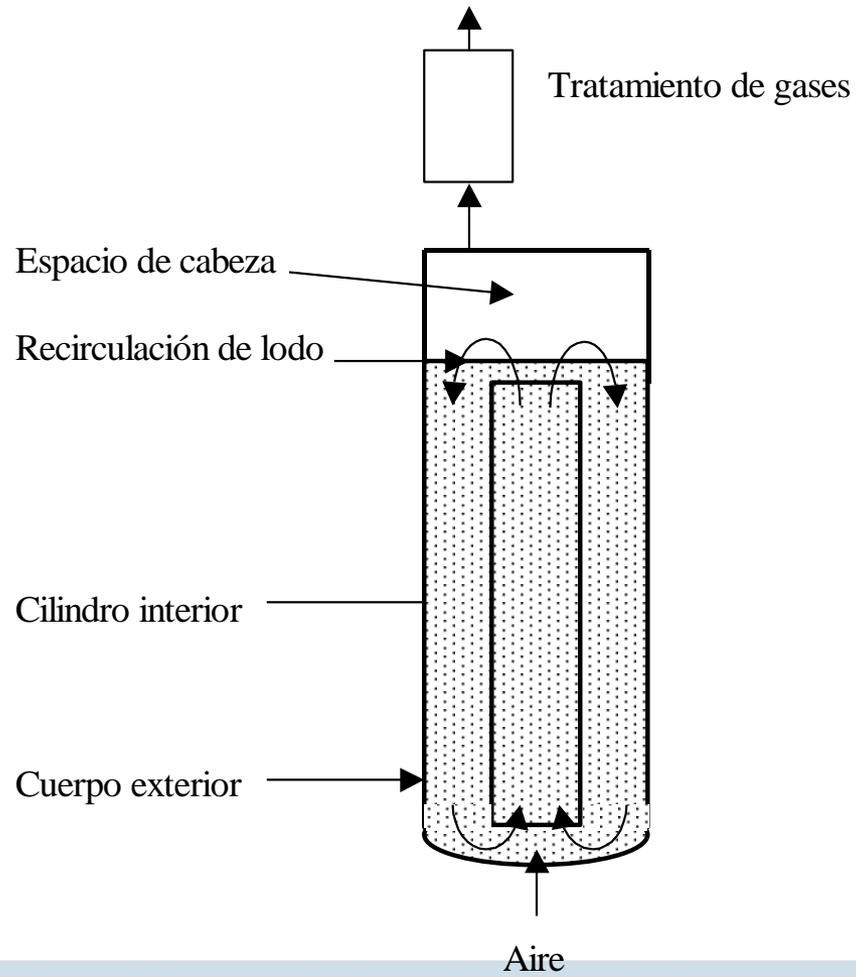
REACTOR DITS



REACTOR TANQUE AGITADO



REACTOR AIRLIFT



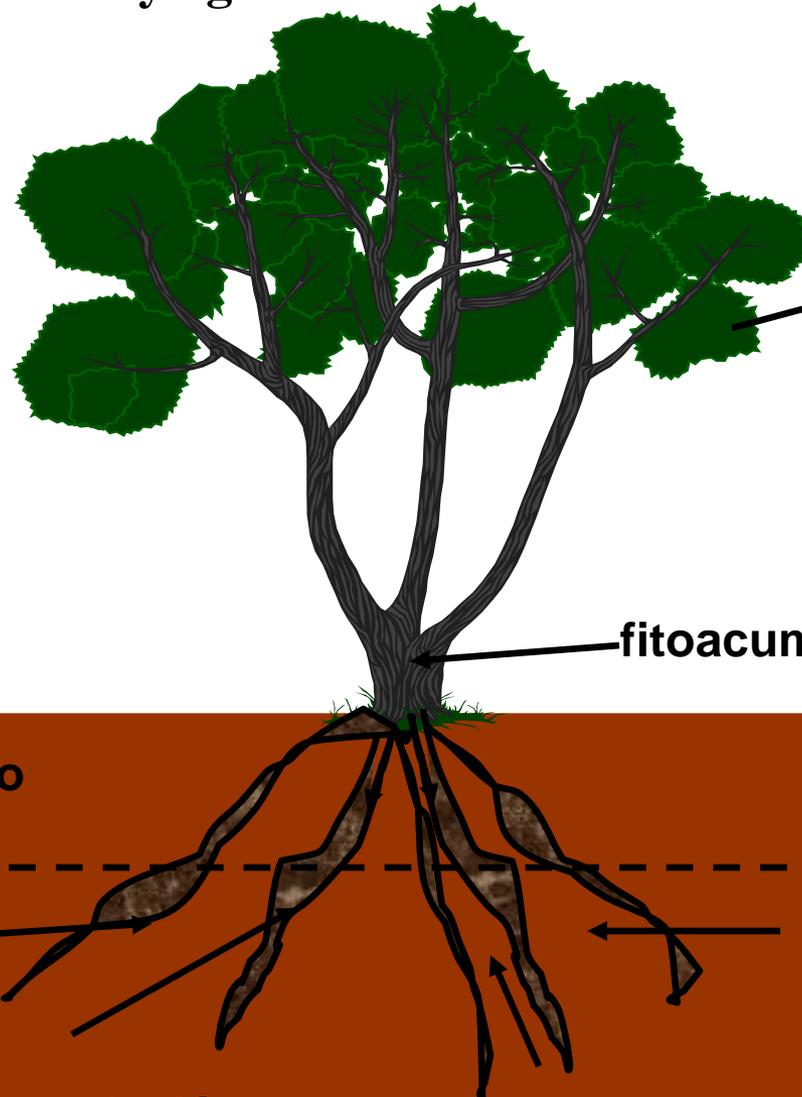
Tratamiento de suelos con
hidrocarburos por la técnica
de

Fitorremediación



FITORREMEDIACION

Es el conjunto de técnicas que usan plantas para remediar sitios contaminados, ya sea in-situ o ex-situ. Se puede aplicar a suelos, lodos, aguas superficiales, sedimentos y agua subterránea.



fito volatilización

fitoacumulación

Acuífero contaminado

Rizodegradación

fitoestabilización

fito degradación

Control hidráulico

- **ALCANCE**

- **Sitios contaminados con metales, pesticidas, solventes, explosivos, hidrocarburos de petróleo, HAP y lixiviados de rellenos (rellenos sanitarios, basureros industriales, etc)**

- **LIMITACIONES**

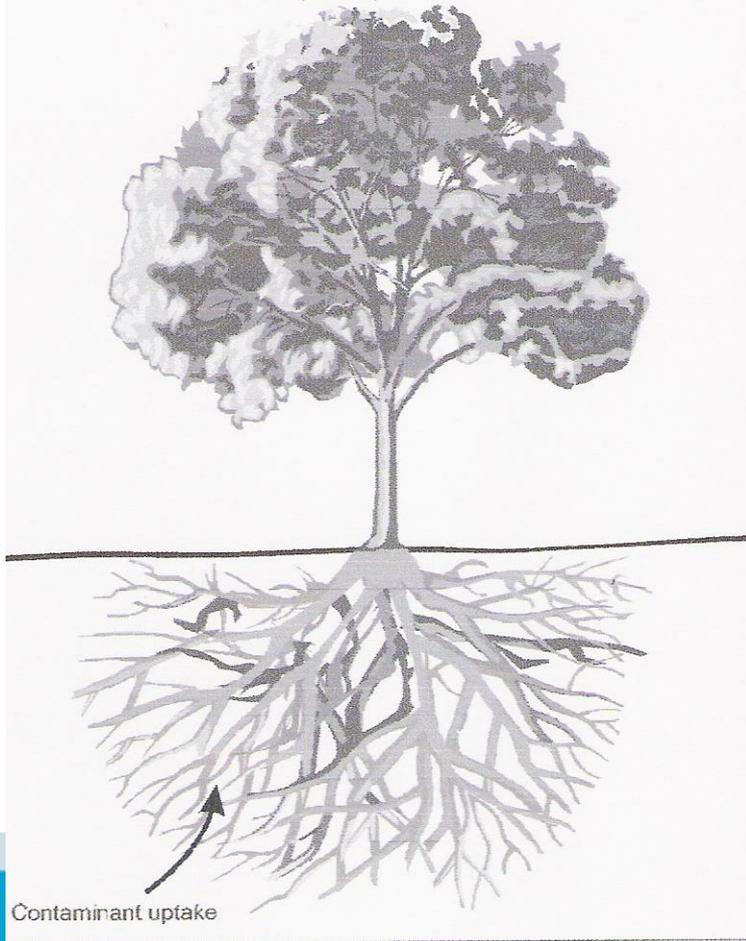
- **profundidad de la zona de tratamiento**
- **altas concentraciones de materiales peligrosos**
- **el éxito del tratamiento puede ser estacional**
- **puede transferir contaminantes entre dos medios, ej suelo al aire**
- **la toxicidad y biodisponibilidad de los productos biodegradados no están bien conocidas**
- **los productos pueden ser movilizados del suelo y del agua y transferidos a los animales**
- **está en etapa de desarrollo**
- **no es efectiva con los productos fuertemente absorbidos (PCB)**
- **requiere una superficie alta de tratamiento**
- **Disposición final del material vegetal**
- **Peligro en incendios**
- **No es conveniente tratar aguas por irrigación de árboles**



Fitodegradación (fitotransformación): usa el metabolismo vegetal para destruir o modificar químicamente los contaminantes. Puede ser interno a la planta o mediante enzimas para realizar dicha transformación en el exterior

Phytodegradation

- Metabolism within the plant
- Production of the dehalogenase and oxygenase enzymes, which help catalyze degradation



Captación: Si el compuesto debe ser tomado por la planta, depende del mismo, edad de la contaminación y parámetros físicoquímicos del suelo. Si la transformación es externa se usan enzimas liberadas por las raíces.

Ventajas: La degradación puede ocurrir en un ambiente libre de microorganismos, muy tóxico para los mismos.

Desventajas: se pueden producir intermediatos tóxicos

Es difícil definir si el compuesto se ha degradado debido a la dificultad de determinar metabolitos en el interior de la planta

Aplicación: Solventes clorinados, herbicidas, insecticidas, explosivos, fenoles, nitratos.



Fitoacumulación (fitoextracción): toma contaminantes (principalmente metales) del suelo y aguas y los acumula en el tejido vegetal

Physical Effects - Plant transpiration results in contaminant being concentrated in plant



Usos: suelo, sedimentos, aguas residuales, lodos

Ventajas: las plantas acumulan compuestos que pueden ser útiles en la alimentación de animales.

Desventajas: en general estas plantas crecen lentamente y tienen poco desarrollo (biomasa)

La biomasa debe ser retirada y tratada cuando las plantas se saturan. Se debe disponer adecuadamente.

Los metales pueden ser fitotóxicos.

Los resultados obtenidos por cultivos hidropónicos no se pueden extrapolar a suelo

Aplicación: metales (Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn); radionúclidos (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu, ²³⁸U, ²³⁴U); no metales (As, B).



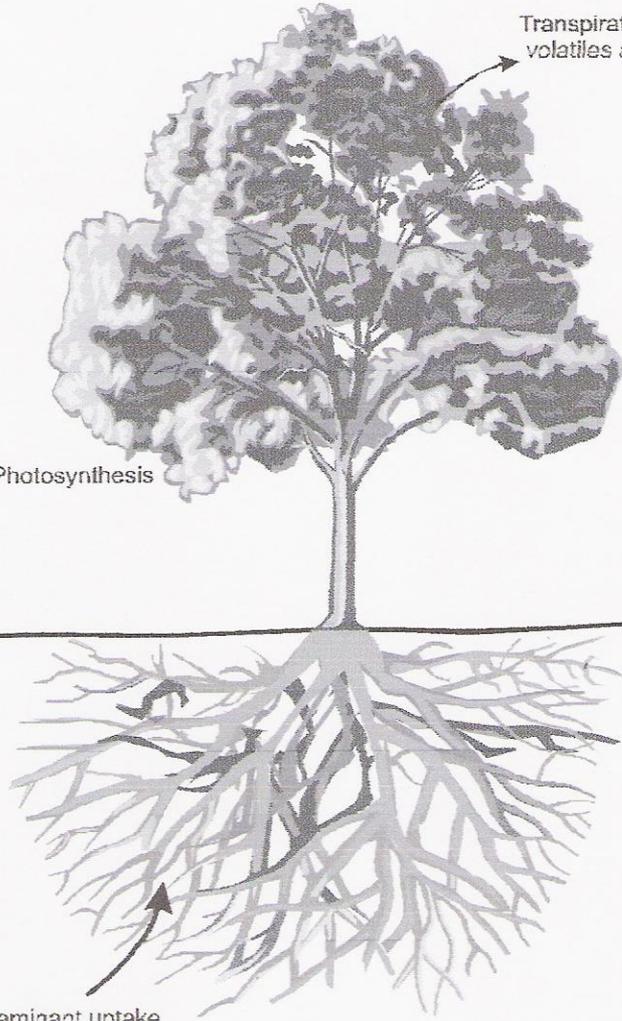
Fitovolatilización: es la toma y transpiración de contaminantes desde el suelo a la atmósfera.

Physical effects

Transpiration of volatile compounds or their metabolic products

Transpiration of
volatiles and H₂O

Photosynthesis



Contaminant uptake

Usos: agua subterránea, suelos, sedimentos y lodos

Ventajas: los contaminantes pueden ser transformados en formas menos tóxicas.

Los compuestos liberados a la atmósfera pueden ser más fácilmente degradados.

Desventajas: algunos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera o formando un metabolito más tóxico. También puede ser acumulado en las hojas o en frutos e ingresar a la cadena alimentaria

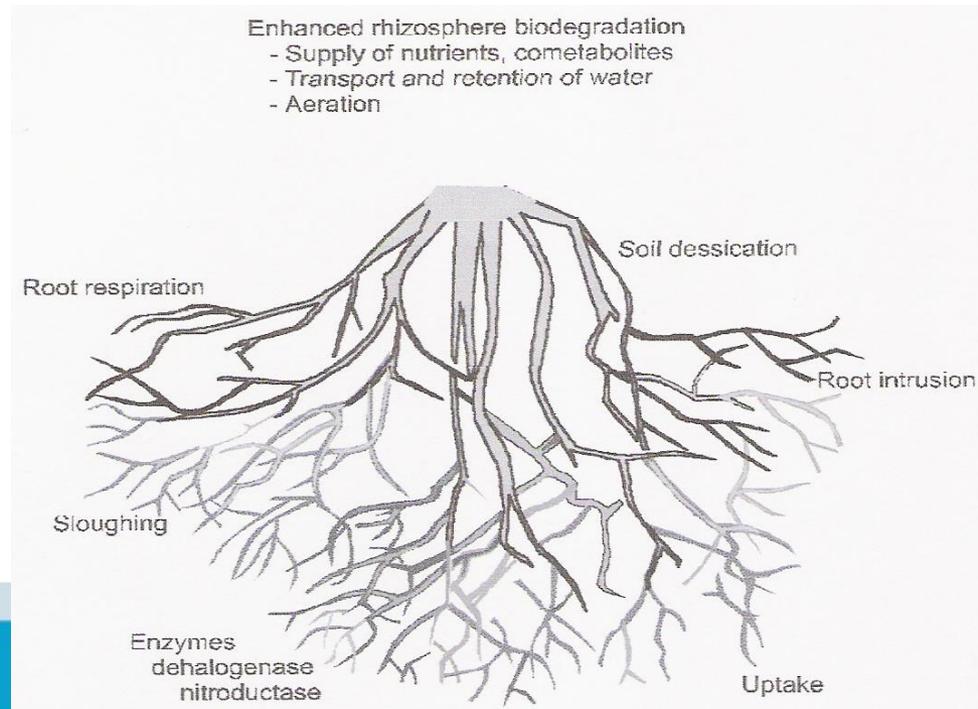
Aplicación: Solventes clorinados, algunos metales (Se y Hg), no metales (As)



Fitoestabilización: inmovilizan contaminantes mediante las raíces, ya sea absorbiéndolos o acumulándolos en las mismas o precipitándolos cerca, estabilizando el suelo. Este proceso reduce la movilidad del contaminante

Rizodegradación: es la rotura de contaminantes en el suelo a través de la actividad microbiana que es mejorada o potenciada por las raíces.

Rizofiltración: es la precipitación o absorción de contaminantes en las raíces cuando los mismos se hallan en solución en la zona circundante o vecina.



Rizofiltración:

Usos: agua subterránea extraída, agua superficial y agua residual.

Ventajas: Se pueden usar plantas terrestres (sobre un soporte) o acuáticas.

Puede ser in situ o ex situ

Desventajas: el pH debe ser ajustado en forma permanente para maximizar la toma de metales

Se debe conocer la interacción y la especiación química de las especies utilizadas.

Se requiere un control de caudales y su análisis químico correspondiente

Hay plantas que se deben adaptar en invernadero

La biomasa debe ser retirada y tratada cuando las plantas se saturan. Se debe disponer adecuadamente.

Los resultados obtenidos en laboratorio o en invernaderos no se alcanzan en campo

Aplicación: metales (Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn); radionúclidos (Sr, Cs, U,)

Plantas: plantas terrestres que puedan crecer hidropónicamente (pastos, algunos cereales).

Plantas acuáticas (crecen más lentamente), girasol, plantas de humedales

Fitoestabilización:

Usos: suelo, sedimentos y lodos.

Ventajas: no se debe remover el suelo.

Es de muy bajo costo

La revegetación mejora la restauración de los ecosistemas

No se requiere disposición final de biomasa o materiales sólidos.

Desventajas: Los contaminantes permanecen en el lugar y dado el tiempo largo que lleva la revegetación hay que prevenir la migración de los primeros como lixiviados.

Se requiere un aporte de fertilizantes y adecuación del suelo.

Se debe evitar la traslocación de metales a la parte aérea de las plantas.

Se debe monitorear la zona de raíces, en particular exudados contaminantes y mejoradores de suelo para evitar que lixivien

Es una medida temporaria

Las plantas aportan una disminución de la circulación de agua y disminuyen la erosión del suelo, mientras que los mejoradores de suelo producen a veces la inmovilización.

Aplicación: As (como arseniato que opera similar al fosfato), Cd, Cr, Hg, Pb, Zn

Plantas: álamos y otros



Rizodegradación:

Usos: suelo, sedimentos, lodos.

Ventajas: los contaminantes se pueden destruir in situ, a veces hasta mineralizarlos.

La translocación de contaminantes es mínima

Bajos costos de instalación y mantenimiento

Desventajas: se requiere un desarrollo importante de las raíces.

La profundidad de las raíces puede ser limitada por la humedad o la estructura del suelo.

La rizosfera puede aumentar la velocidad inicial de la degradación pero los límites finales no se mejoran respecto de la biorremediación microbiológica.

Se debe evaluar la toma de contaminantes por parte de las plantas. Es muy común que también se produzca fitodegradación o fitovolatilización.

Mayores requerimientos nutricionales (plantas más microorganismos)

Los exudados pueden estimular microorganismos no degradadores a expensas de los degradadores.

La materia orgánica de las plantas puede ser usada como fuente de carbono en lugar de los contaminantes.

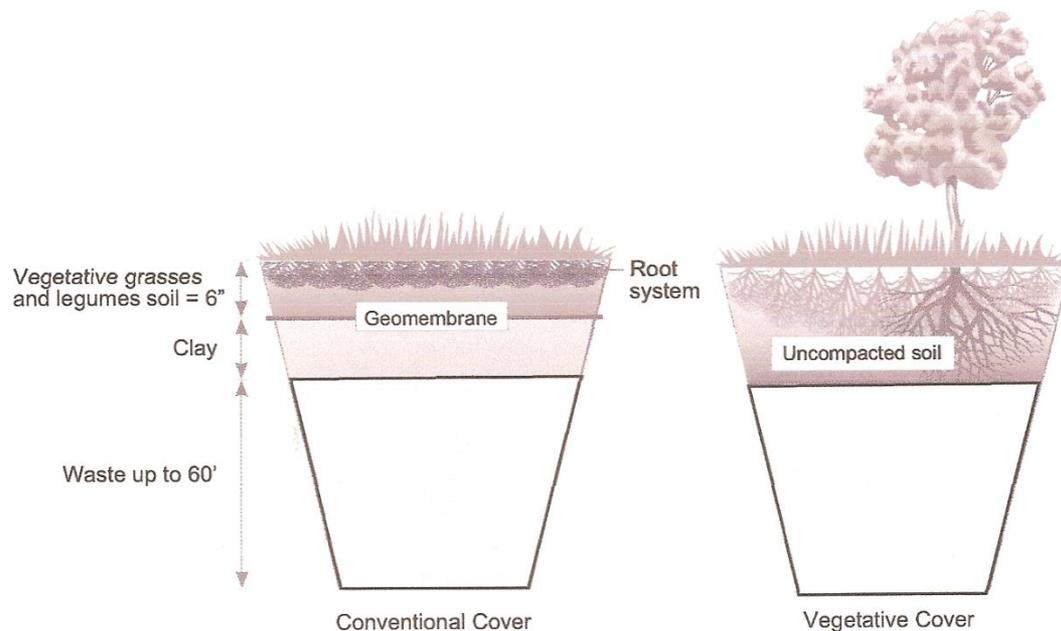
Aplicación: hidrocarburos (TPH), HAP, BTEX, pesticidas, solventes clorinados, PCP (pentaclorofenol), bifenilos policlorinados (PCB), surfactantes (sulfonatos y etoxilatos).

Plantas



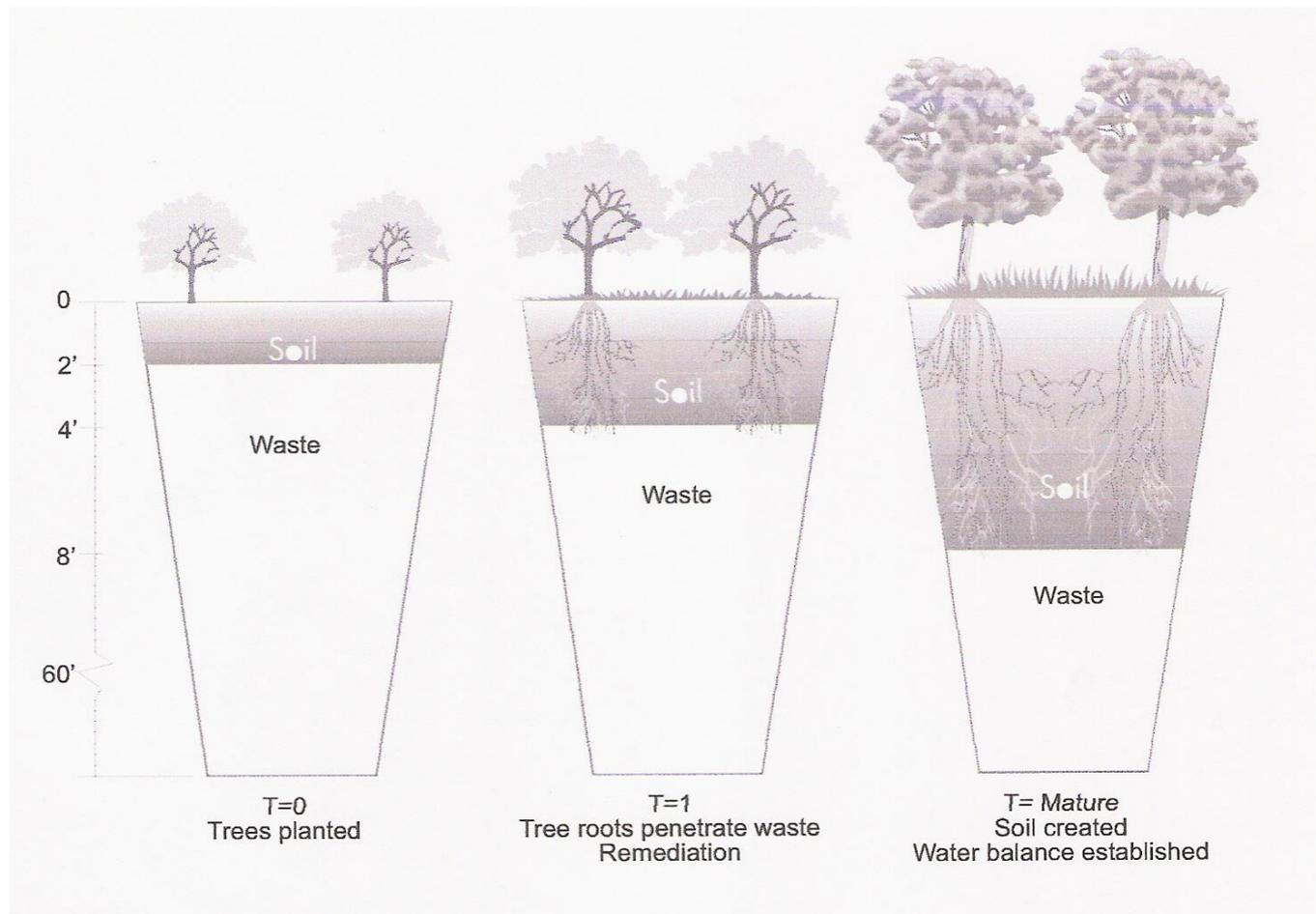
Cobertura vegetal: es un sistema autosustentable, de largo término, de plantas que crecen en y/o sobre un material que presenta riesgo para el ambiente. Hay dos tipos de cobertura: fitoevaporativa y fitodegradativa.

La primera regula la lixiviación del agua en el suelo y la segunda realiza degradación del contaminante por la acción de las raíces de las plantas



**Cobertura
fitoevaporativa**





**Cobertura
fitodegradativa.**



Usos: suelo, rellenos sanitarios

Ventajas: reduce las necesidades de mantenimiento y la erosión del suelo.

Es una solución de costos adecuados. La vegetación es una capa adecuada para las coberturas de suelo.

Puede activar la actividad aeróbica en la zona de raíz, evitando la formación de gases de relleno (metano, sulfídrico) o degradándolos.

Mejora la biodegradación de suelos, lodos y sedimentos

Desventajas: se debe realizar una inspección exhaustiva de largo término y mantenimiento adecuado de la cobertura vegetal incluida el desarrollo de especies útiles

El agua superficial tiende a canalizarse a través de las raíces muertas, alcanzando el contaminante o el agua subterránea

Los contaminantes pueden ser tomados por las plantas y pasar a los seres humanos o a los animales.

Cada diseño es efectivo en un determinado clima.

Si el viento es muy fuerte y arranca los árboles, el contaminante va a quedar expuesto

Algunas alternativas de estas coberturas no colectan ni tratan los gases del relleno.

Aplicación: compuestos orgánicos e inorgánicos

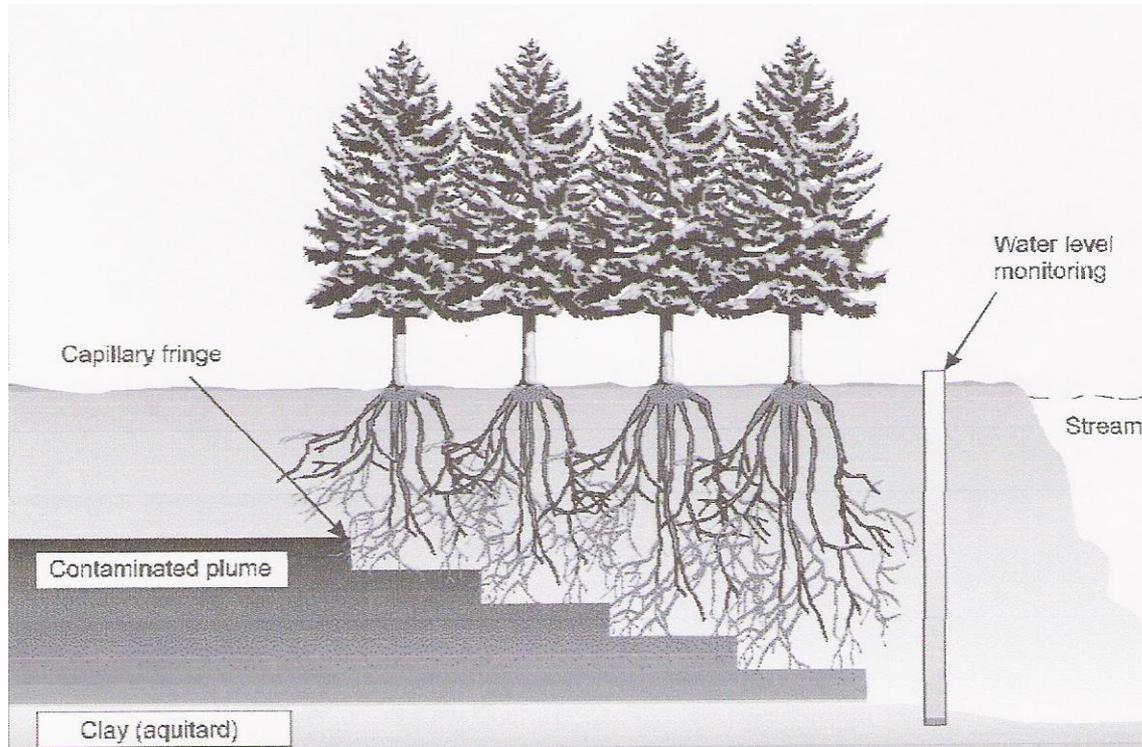


Control hidráulico: remueve el agua subterránea por toma y consumo de plantas (árboles) a fin de reducir o detener la migración de contaminantes

Uso: agua subterránea, agua superficial y agua del suelo (zona no saturada)

Ventajas: no requiere instalar un sistema de bombeo y tratamiento. Es barato y las raíces tienen mayor poder de captación que un pozo de bombeo

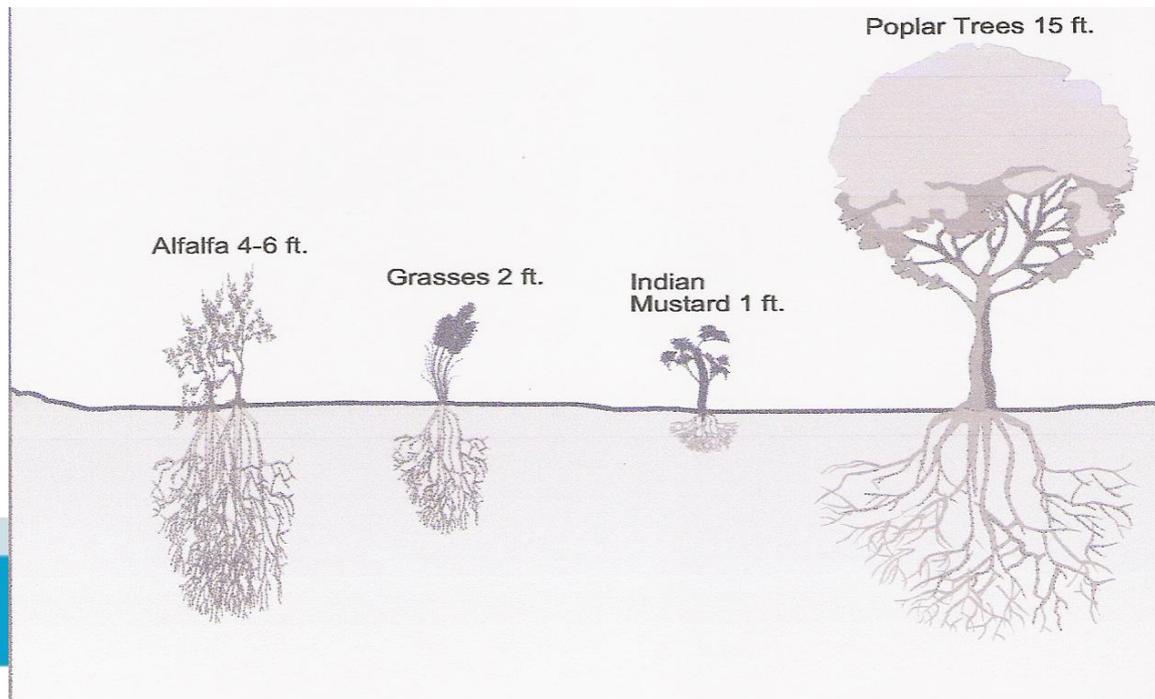
Desventajas: la toma de agua está afectada por condiciones estacionales y climáticas (en particular en árboles de hojas caducas) La remoción de agua subterránea está limitada al alcance de las raíces (profundidad).



Aplicación: lixiviados orgánicos solubles en agua, nafta y gasoil.

Niveles de contaminantes: cuando son altos las plantas pueden morir o no se desarrollan. No todos son tratables. El grado de absorción de los mismos, la composición (estructura, K_{ow} , grado de intemperización y punto de ebullición es importante).

Selección de plantas : se deben seleccionar de acuerdo al contaminante que se está buscando. En algunos casos se pueden usar especies autóctonas y en otros implantadas. Hay que tener en cuenta que las especies no transformen un contaminante en otro peor. También deben tener raíces profundas para alcanzar la zona de contaminación (incluida agua subterránea).



DISEÑO DE UN PROCESO DE FITORREMEDIACION

Tratabilidad: es el estudio de especies susceptibles de utilizar en el tratamiento por fitorremediación del contaminante en cuestión y del sitio (incluye suelo y clima)

Irrigación, condiciones agronómicas y mantenimiento: se debe usar un modelo de irrigación y de percolación de nutrientes y/o contaminantes, aún bajo lluvia. Además de tener en cuenta los requerimientos nutricionales de los vegetales

Zona de captura en el agua subterránea y velocidad de transpiración: algunos contaminantes no son tomados en la misma magnitud desde el agua que desde el suelo

Velocidad de toma de contaminante y tiempo requerido de limpieza: de datos de campo o de laboratorio

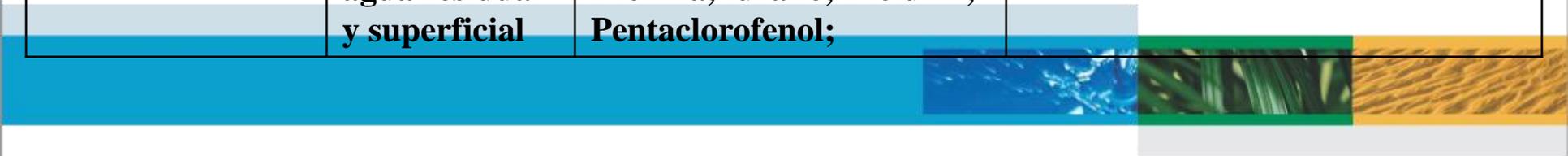


CONSIDERACIONES ADICIONALES EN EL DISEÑO DE UN TRATAMIENTO DE SUELO POR FITORREMEDIACIÓN

- 1- Caracterización del sitio: profundidad de la contaminación, propiedades físicas y químicas del suelo y del contaminante. Requerimientos nutricionales. Clima.**
- 2- El proceso puede demorar mucho tiempo por el crecimiento de las plantas.**
- 3- Es conveniente realizar estudios pilotos o en invernadero con las plantas seleccionadas**
- 4- Las plantas pueden remover metales, radionúclidos y ciertos compuestos orgánicos por toma directa desde el suelo**
- 5- La adición de plantas crea un ecosistema radicular que favorece la biodegradación.**
- 6- El transporte de oxígeno, agua y carbono varía con las especies implantadas.**
- 7- Si hay hot spots (zonas tóxicas) se debe determinar si es más económico tratar o remover.**
- 8- Las plantas pueden transpirar Hg a la atmósfera u otros compuestos orgánicos como tricloro etileno y crear un efecto perjudicial para la salud. Se debe evaluar este hecho.**
- 9- La acumulación de residuos en las plantas constituye un problema si los contaminantes pasan a la cadena alimentaria.**

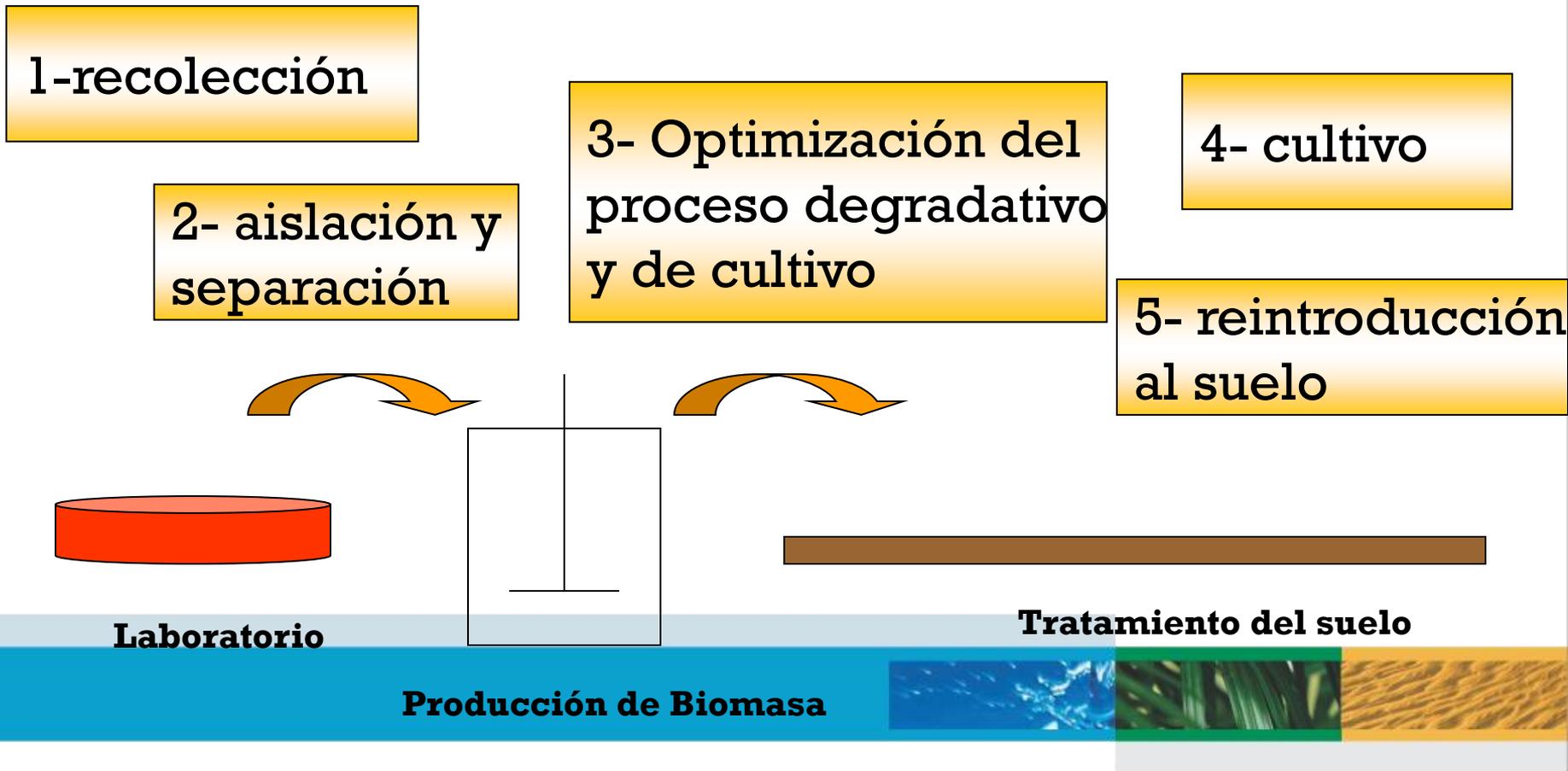


Aplicación	Medio	Contaminante	Plantas típicas
Fito transformación	Suelo, agua subterránea, lixiviados, aguas residuales	Herbicidas, BTEX Alifáticos clorinados Fertilizantes, Explosivos, residuos de municiones	Arboles freatrófitos (saucedo álamos spp.); Pastos (césped, bermuda, sorgo, cañuela spp), Legumbres: (alfalfa, trébol, garbanzo spp)
Rizo bioremediación	Suelo, aguas residuales, sedimentos	Pesticidas, BTEX, HAP	Manzana, morera, naranjo spp, pastos con buenas raíces, árboles freatrófitos, plantas acuáticas para sedimentos
Fito estabilización	Suelo, sedimento	Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U; HAP, PCB, DDT Dioxinas, furanos, Dieldrin, Pentaclorofenol	Freatrófitos que respiren grandes cantidades de agua Pastos con raíces fibrosas Todos con raíces densas
Fitoextracción	Suelo, sedimento	Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, Se	Girasol, mostaza spp, colza, cebada, lúpulo, crucíferas, ortiga, diente de león, plantas serpentinias (lianoides)
Rizofiltración	Agua subterránea, agua residual y superficial	Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, ¹³⁷Cs. ⁹⁰Sr, U; HAP, PCB, DDT Dioxina, furano, Dieldrin, Pentaclorofenol;	Plantas acuáticas emergentes Plantas acuáticas sumergidas



Involucra el uso de cultivos microbianos que han sido especialmente desarrollados para degradar:

- Contaminantes específicos
- Grupos de contaminantes



GRACIAS POR SU ATENCION

