

## SVE / AS (PARTE 1)



Michael Kohnke

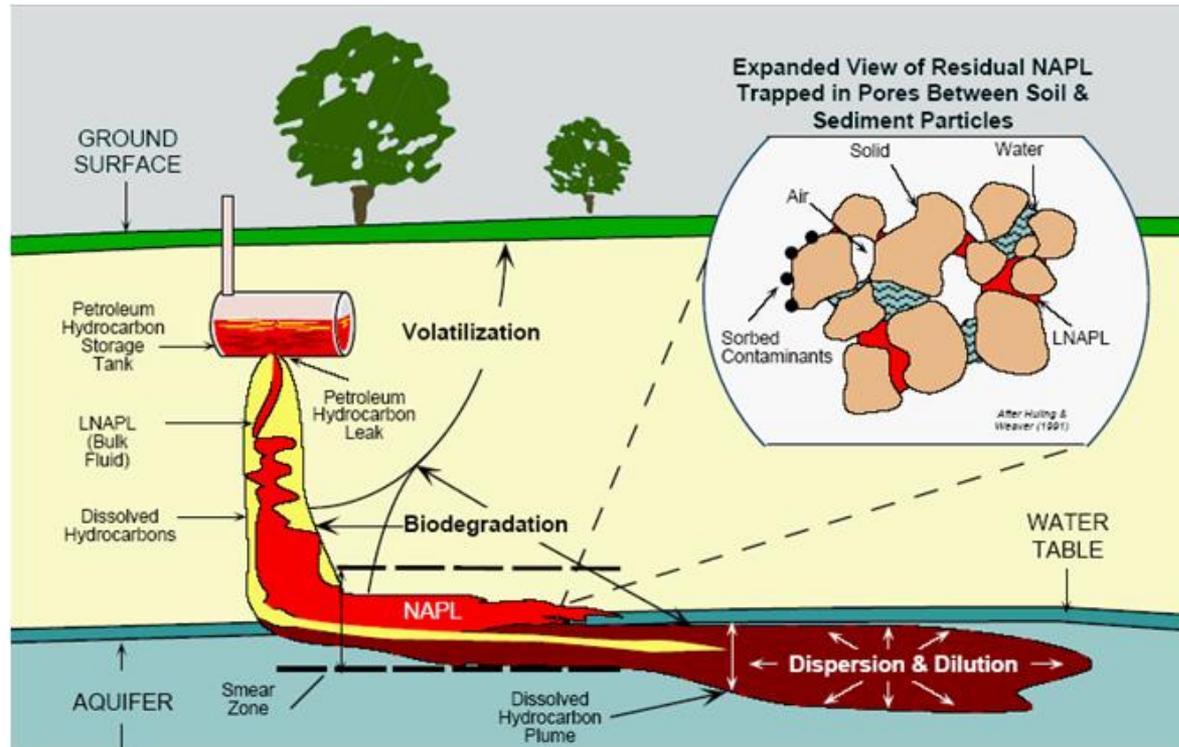
Mayo, 2017

# MENSAJES CLAVES

- Medidas Acertadas de Remediación Requieren ...
  - La herramienta correcta para el trabajo (movilidad del contaminante o toxicidad del contaminante?)
  - Objetivos de remediación predeterminados (Reducción del riesgo? Atendimiento a las autoridades?)
  - Objetivos de saturación o composición con métricas / parámetros apropiados
- Remoción de Massa
  - Limitar la migración de la FNLA
  - Reducir la longevidad del vapor u de la pluma de aguas subterráneas
- Cambio de la Composición
  - Reducir la migración y toxicidad de los Compuestos de Interés (vapor, disolución y contacto directo)

# POR QUE LA REMEDIACIÓN DE LA FLNA ES IMPORTANTE?

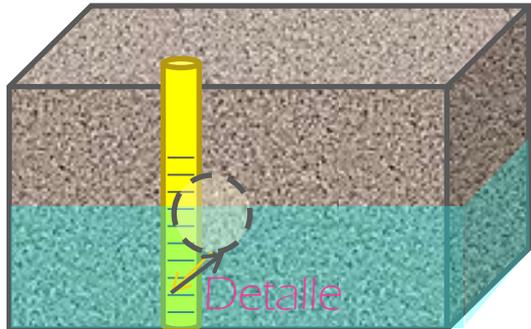
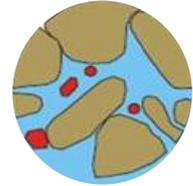
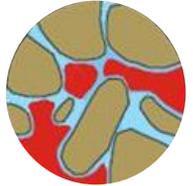
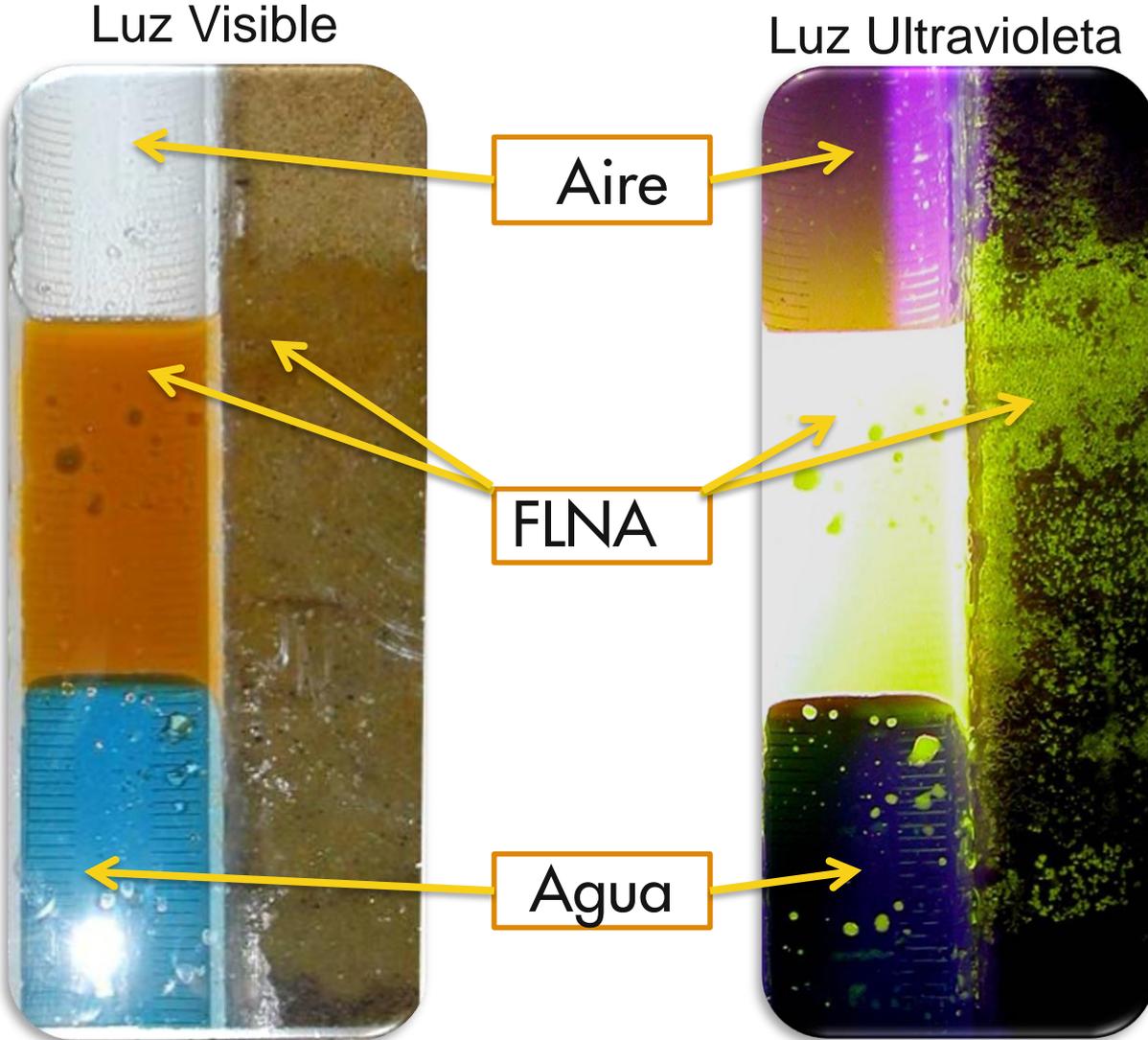
- En la mayoría de los casos una poca cantidad de FLNA es responsable por la pluma de aguas subterráneas



- La existencia de una pluma de aguas subterráneas o impactos por vapor, implica que FLNA encuentre presente en el subsuelo (mismo que no la vemos en el pozo)

# FLNA EN EL POZO Y SUBSUELO CORRESPONDIENTE: FOTOGRAFÍA DE ACUARIO

Introducción



Copyright of PTD/HSGW

Aquarium Photograph: Courtesy Kirkman (AECOM)

# TECNOLOGÍAS PARA REDUCCIÓN DE LA FUENTE

Technology	Source Media
Soil Vapor Extraction (SVE) High Vacuum Extraction (HVE) Excavation Multi Phase Extraction (MPE)	Vadose Zone  (+ Groundwater)
Oxygen Distribution (iSOC/ CSparge/ OPIS) Biosparging/ Pulsed Air Injection (BS) Air Sparging (AS, IAS) Chemical Oxidation (ChemOx)	Phreatic Zone/  Groundwater

# SOIL VAPOR EXTRACTION (SVE)

## Descripción de la Tecnología:

aplicación de vacío para inducir el flujo y captura de vapores de subsuelo, aumentando la volatilización en la zona vadosa

## Consideraciones Claves:

- Volatilidad de CDI
- Distribución de los CDI
- Distribución de Flujo del Aire
- Permeabilidad del Suelo
- Cobertura Superficial

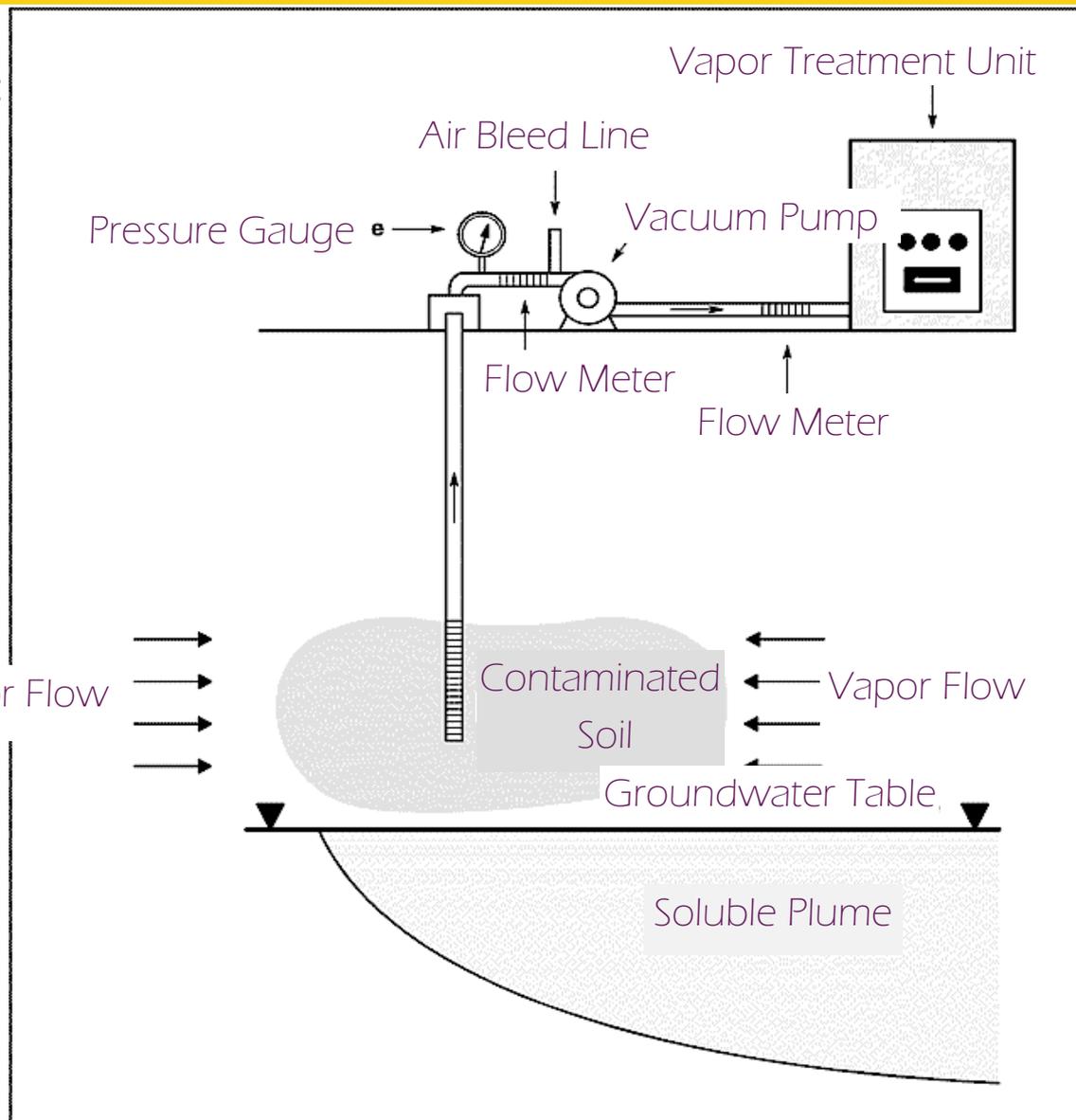
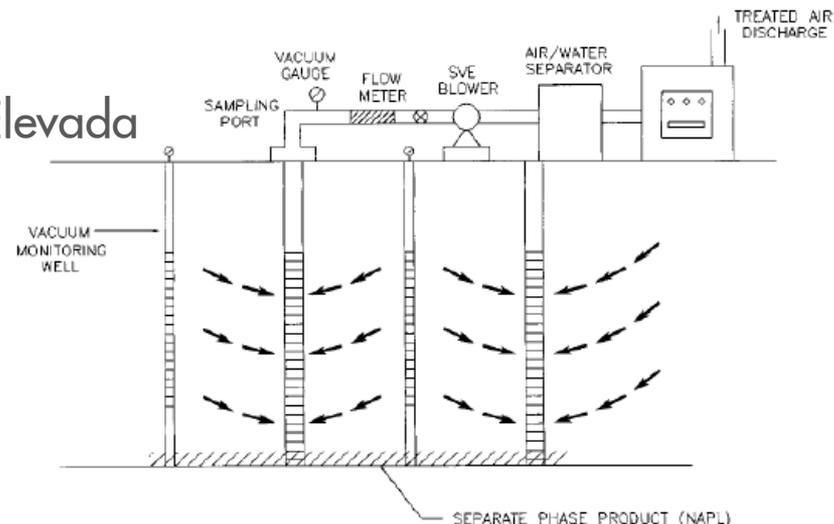


Fig. 1 – In Situ Soil Vapor Extraction

# CUANDO UTILIZO SVE?

- Impactos en la zona vadosa
- Suelos de permeabilidad Moderada/Elevada
- Saturación Residual de la FNLA
- Zonas Fuente, "Smear zones"
- Mitigación de la intrusión de vapores



## Puntos a Favor

Muy eficiente para fúels de elevada volatilidad en suelos de permeabilidad moderada a elevada.

Combina los beneficios de la volatilización y biodegradación

Rápida: típicamente de 6 meses – a 2 años

## Puntos en Contra

Muchas veces necesita de tratamiento de los gases de salida (\$\$)

No actuará mucho sobre fúels de volatilidad moderada a baja

No será muy eficiente en suelos de baja permeabilidad

# POZOS DE EXTRACCIÓN DE VAPORES

- La sección del filtro debe ubicarse en la zona de impacto
- Buen sello para evitar corto circuito
- Similar a la construcción de pozos para aguas subterráneas.
- 5 m o menos de filtro (tubo ranurado)
- Considerar fluctuaciones y surgencias del agua subterránea
- Considerar la litología del suelo

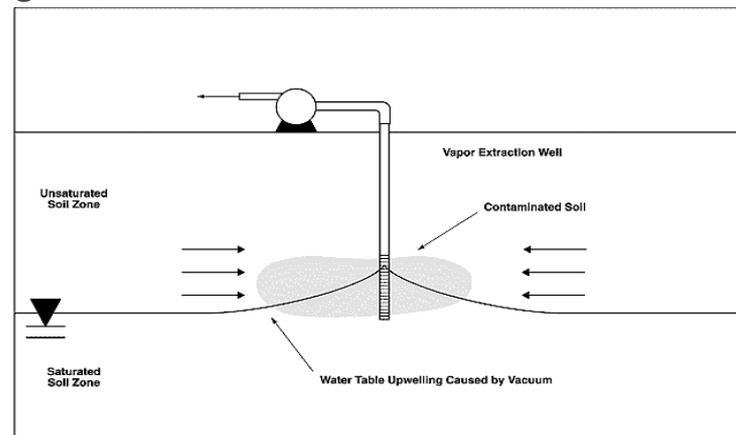
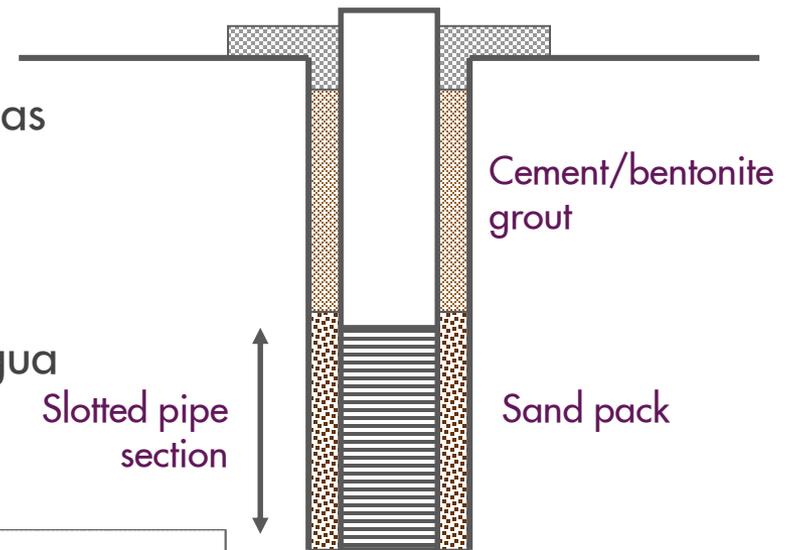
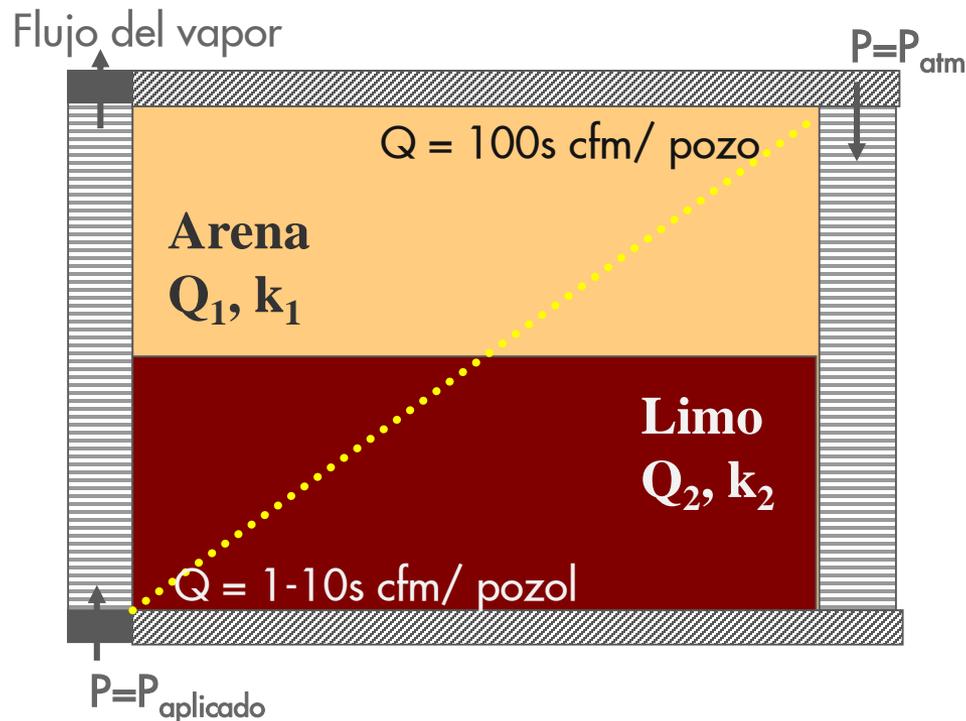


Fig. 3 – Groundwater Table Rise Caused by the Applied Vacuum

# RELACIÓN DEL VACUO Y DEL FLUJO EN EL SUELO

El flujo del aire determina la tasa de recuperación de la masa

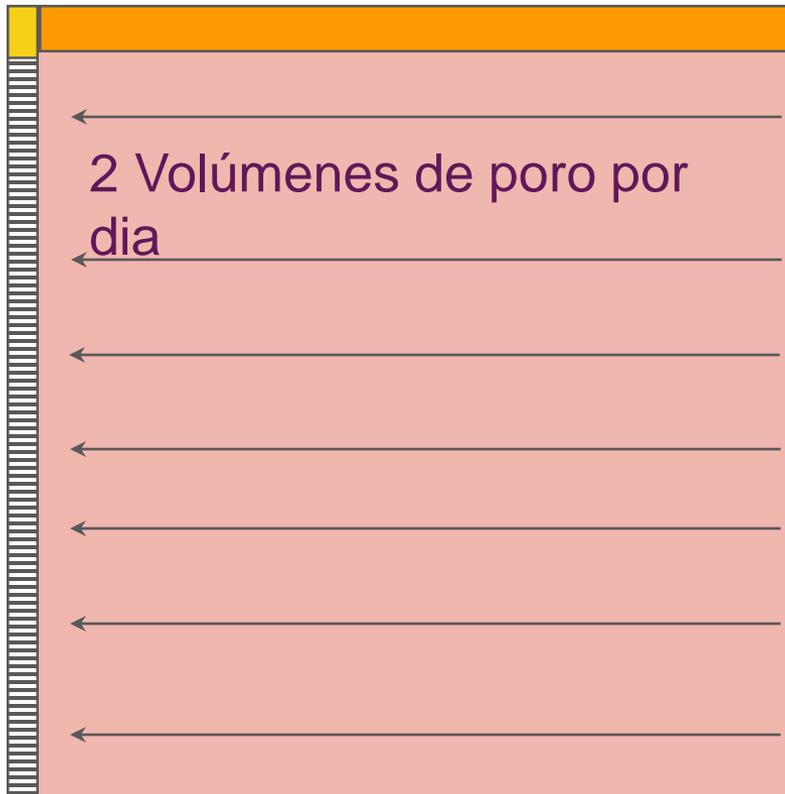
Ejemplo de perfil de presión:



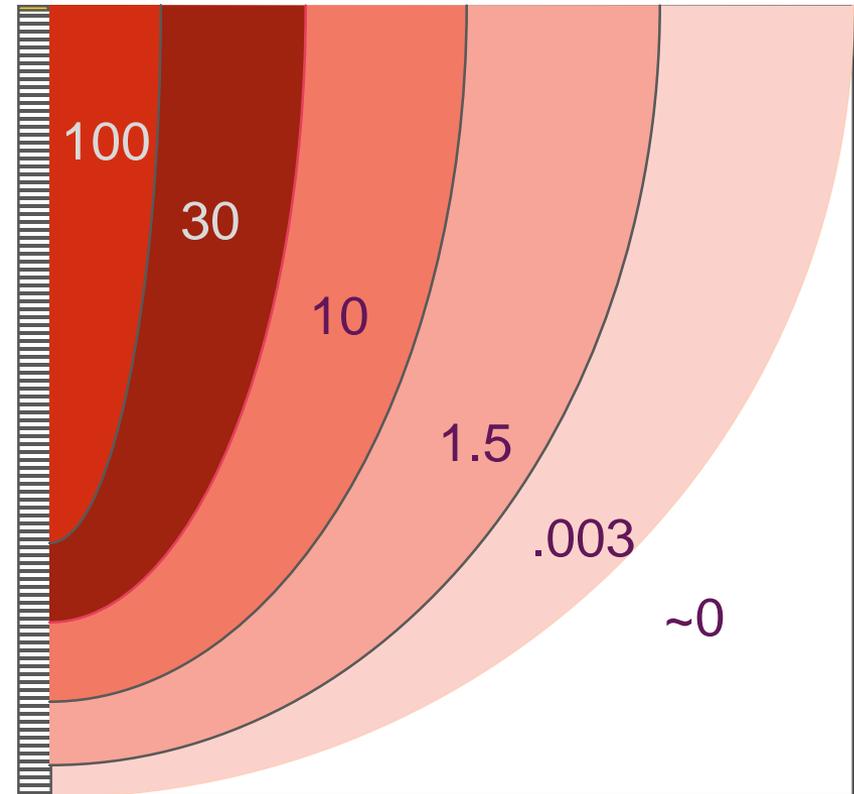
Mensaje clave: Perfiles idénticos de presión, para diferentes litologías, generan diferentes tasas de flujo volumétrico  
Flujo mayor = recuperación de masa mas rápida

# EFFECTOS DE CUBIERTA SUPERFICIAL SOBRE EL FLUJO DEL AIRE

## Superficie celada



## Superficie libre



Mensaje Clave – La cubierta de superficie puede positivamente influenciar la recuperación de masa a través de SVE

# ESTIMATIVAS DEL FLUJO DE AIRE

Estimativa para un solo componente

$$\text{Volúmenes de poro requeridos} = \frac{(C_{soil}^{init} - C_{soil}^{final}) \rho_{soil}}{C_{vapor}}$$

Estimativa Multi-Componente

- $C_{vapor}$  variará con el tiempo
- Se requiere una solución numérica

Una Evaluación Detallada Requerirá:

- Biodegradación
- Limitaciones de la Difusión

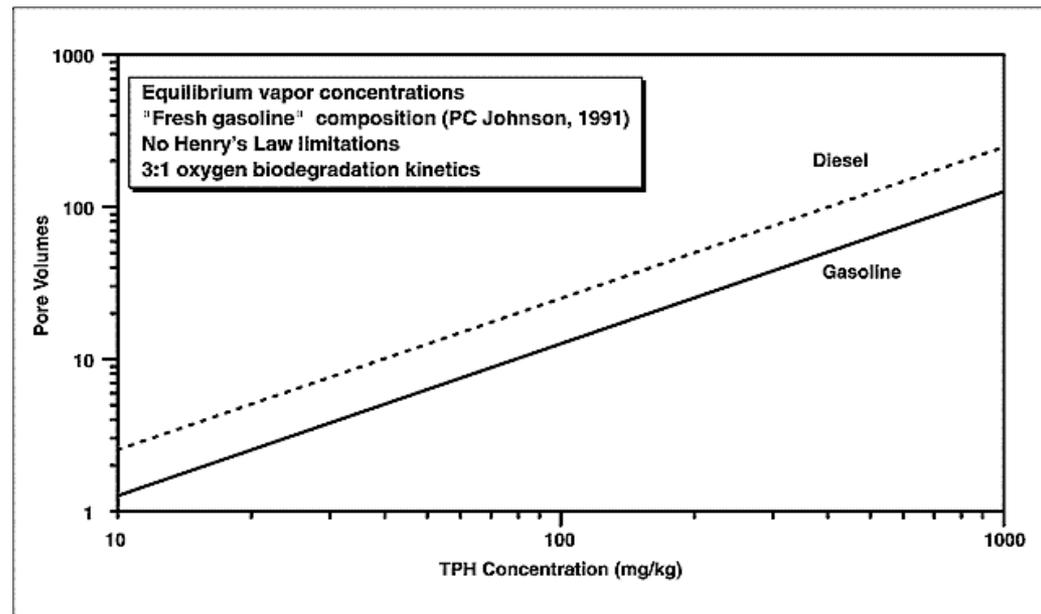


Fig. 14 – Pore Volumes of Air Required to Volatilize and Biodegrade Gasoline and Diesel in Soils

Mensaje Clave: Cuanto mas volúmenes de poro recuperados, mas masa recuperada

# EQUIPO DE SVE

Pozo de Extracción de Vapor

Bomba a Vacío

Tratamiento del Vapor (si necesario)

Separador de condensado y filtro de aire

Local de coleta de muestra

Medidor de presión y flujo

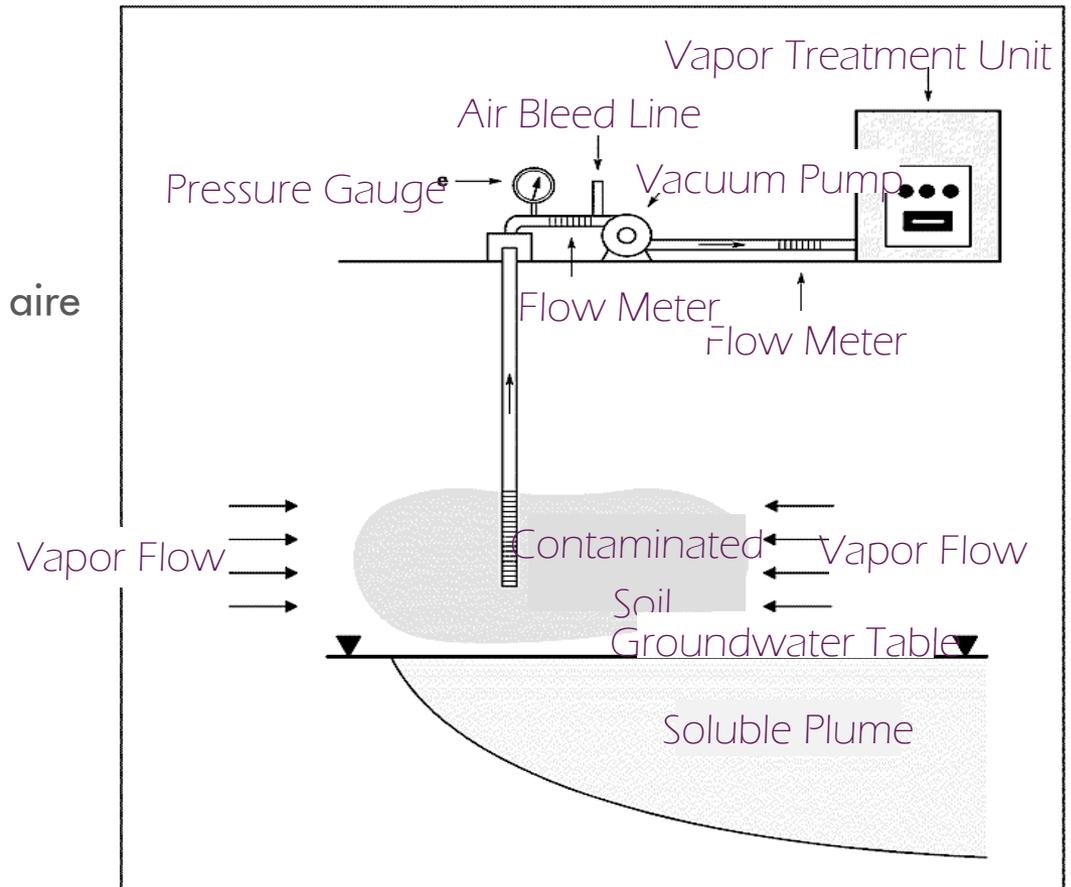
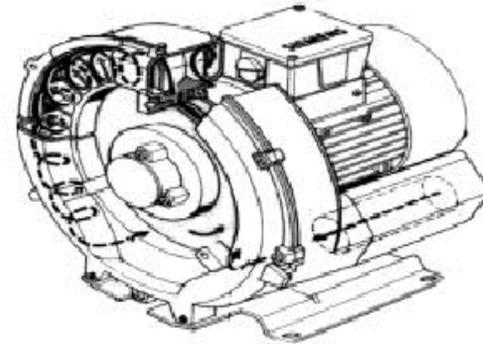


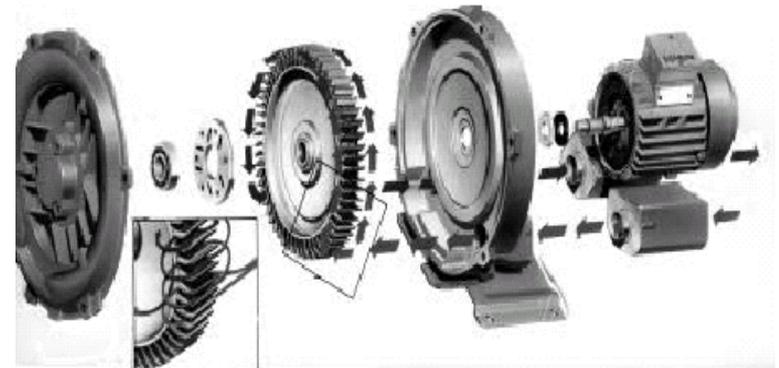
Fig. 1 – In Situ Soil Vapor Extraction

# BOMBA A VACÍO

- Soplador centrífugo
  - Bajo vacío (~ 20 pulgadas de H<sub>2</sub>O)
  - Flujo elevado (> 300 SCFM)
- Soplador Regenerador
  - Medio vacío (20 - 80 pulgadas de H<sub>2</sub>O)
  - Medio flujo (100-250 SCFM)
- Soplador de Lóbulo Rotatorio
  - Alto vacío (> 100 pulgadas de H<sub>2</sub>O)
  - Flujo bajo (<100 SCFM)



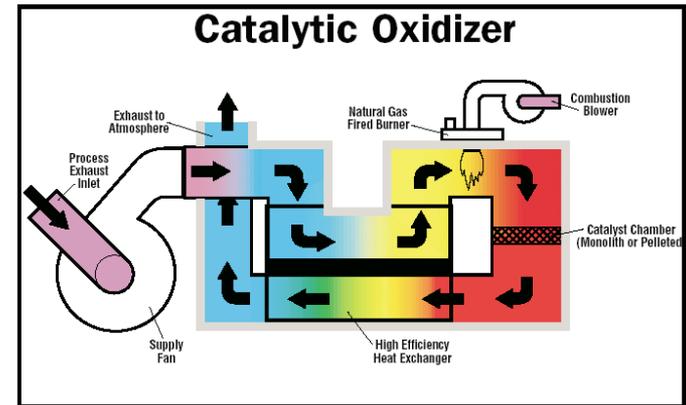
*Imploded view and Schematic*



Regenerative Blower  
(Onion Enterprises)

# OPCIONES DE TRATAMIENTO DEL VAPOR

- Capas de Carbón activado
  - Concentraciones de vapor < 200 ppmv
- Unidades de Oxidación Catalítica



- Opera sin fuel a > 8% LEL
- destrucción ocurre a temperaturas bajas (500-650°F)

- Unidades de Combustión de Vapores-termal

- Concentraciones de vapor > 10,000 ppmv
- Opera sin fuel a > 20% LEL, destrucción ocurre a 1400-1600°C
- Costos de O&M son ~ 5-10x los costos de la unidad de oxidación catalítica
- Cuidado con las interrupciones ("flameouts") (necesidad de dilución con aire para mantener niveles de oxígeno adecuados)



Nota: Si puede diluir el flujo de vapor para permitir tecnología alternativa

## Ensayo de extracción de aire de corta duración

- Tasas de flujo (etapas del teste – típicamente 3)
- Monitoreo
  - Tasa del flujo
  - Vacío (*valores menores que 0.1 pulgadas-agua debiese descartar*)
  - Temperatura
  - Concentraciones del vapor extraído
  - Distribución de la presión superficial
- Evaluar
  - Distribución del Vacío
  - Distribución del flujo y concentraciones del aire



# ENSAYO PILOTO DE SVE – BANDERAS ROJAS



- Tasa de flujo disminuye a medida que el vacío aumenta  
(Puede ser una indicación de surgencia del agua subterránea  
....típicamente el flujo aumenta con el aumento del vacío)
- Concentraciones disminuyendo con el tiempo  
(Puede ser una indicación de corto circuito, masa reducida, o  
ubicación equivocada de la parte filtrante del pozo)
- Vacío limitado  
(Puede ser una indicación de corto circuito con el aire atmosférico  
o de un sistema que no esta estanco/tiene pérdidas)
- Flujo limitado  
(Puede ser una indicación de filtro colmatado o suelo impermeable)

# CALCULO DEL RADIO DE INFLUENCIA CON DATOS DE VACÍO

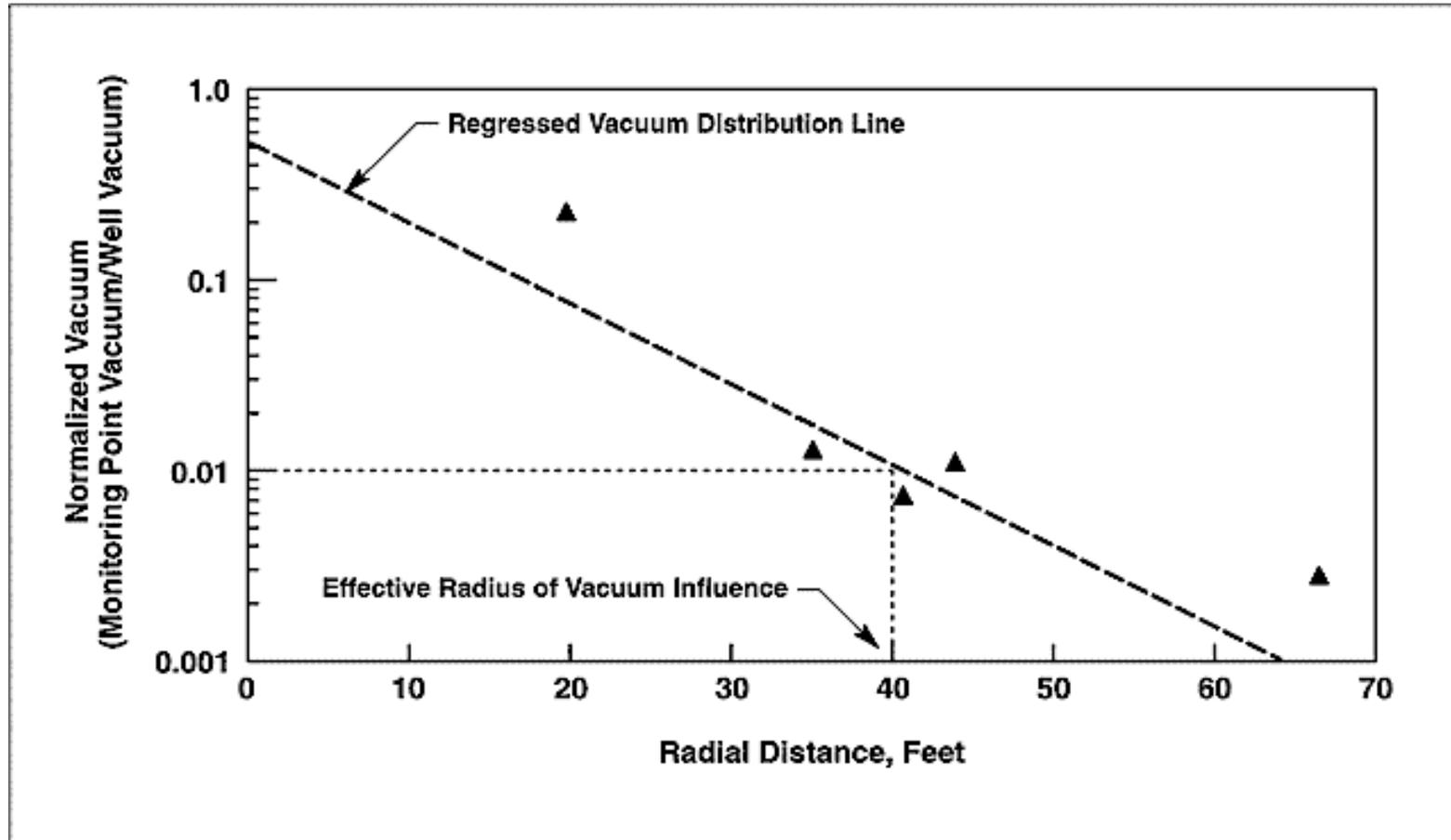


Fig. 7 – Effective Radius of Vacuum Influence Normalized Pilot Test Vacuum Data Plot

# SUMARIO - EXTRACCIÓN DE VAPOR DEL SUELO

- Suelos Apropriados = limo & más grueso
- Diseño del sistema basado en el flujo y no solo en la influencia del vacío
- Evaluar los costos de la estrategia para el tratamiento del aire descartado
- Optimiza la recuperación de masa y a costo mas bajo
- Considere surgencia de la napa y generación de condensado
- Identifique corto circuitos
- Sistemas portables

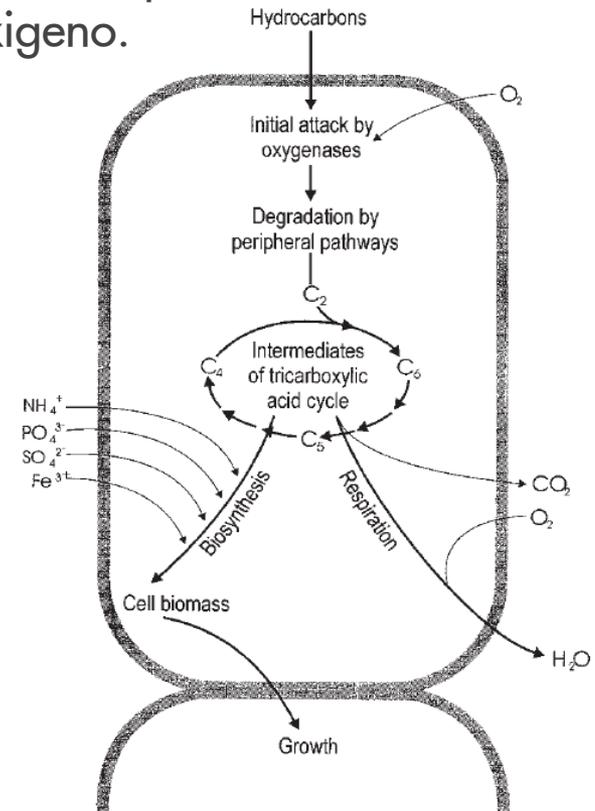
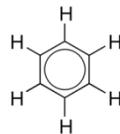


# LECCIONES APRENDIDAS DE SITIOS CON SVE

- ¿ Cuanto tiempo debo operar mi sistema de recuperación de vapor ?
  - a) Un sistema bien diseñado en litologías típicas deberá operar por menos de 2 años.
  
- ¿ Cuando debo considerar terminada la operación del sistema SVE ?
  - a) Depende de los retos para el sitio y tasas de recuperación de masa. Objetivo es tener una curva asintótica para la recuperación.
  - b) Algunas agencias ambientales tienen como valores objetivo concentraciones de 100 ppm / TPHg o 1 ppm de benceno para el aire recuperado, antes del tratamiento.
  
- ¿ Pozos horizontales representan costos menores?
  - a) Normalmente no. Pero pueden ser importantes cuando existen obstáculos en el sitio. Pequeñas variaciones de las litologías impactan el flujo del vapor, por eso los pozos horizontales deben tener sección filtrante menor que 4 metros.

# POR QUE UTILIZAR AIR SPARGING ?

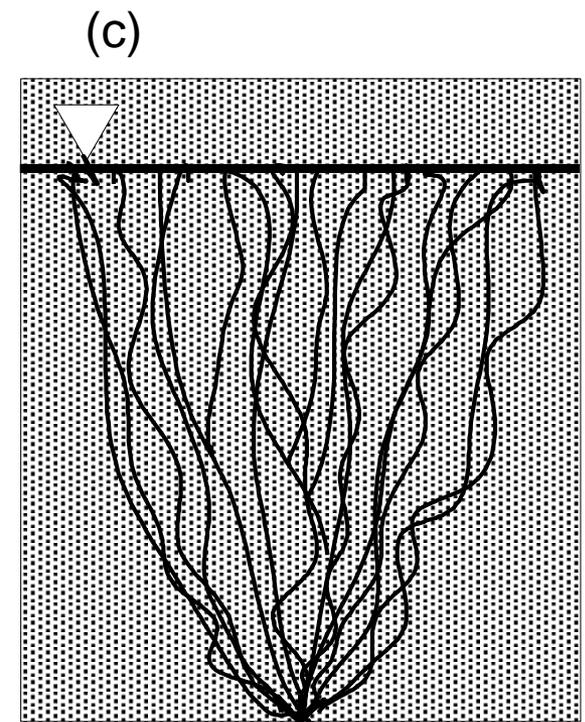
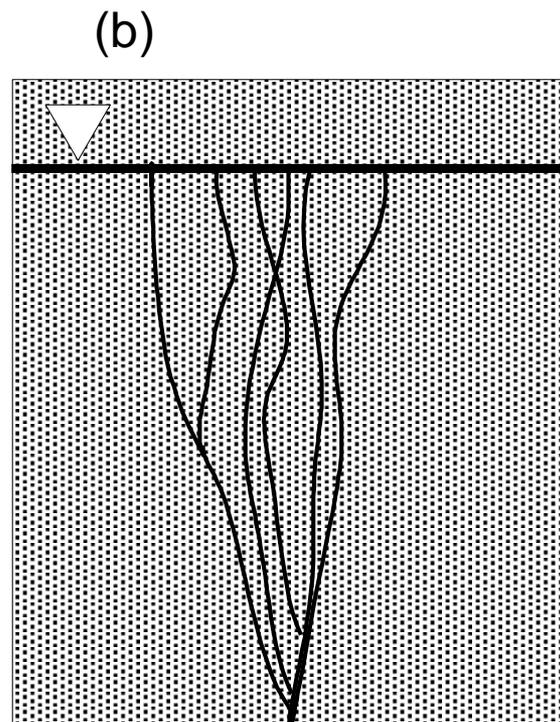
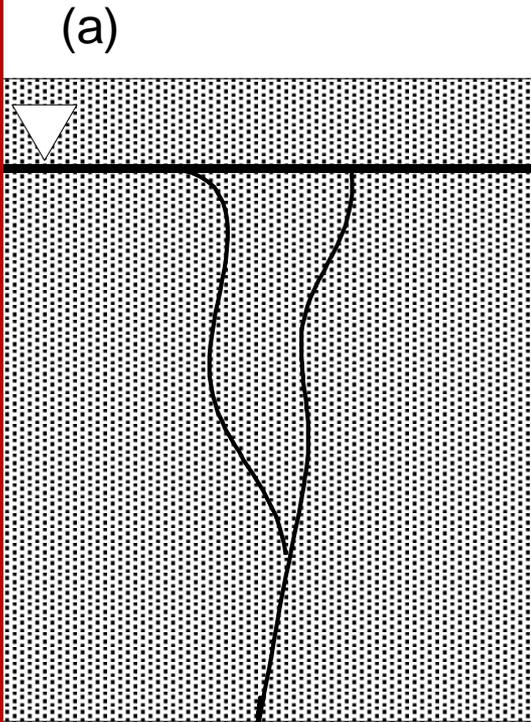
1. Degradación aeróbica es rápida, tasas son típicamente una orden de magnitud mayores que tasas anaeróbicas.
2. La degradación aeróbica es inhibida por menos parámetros, bacterias anaeróbicas son relativamente ineficientes y inhibidas por aceptores de electrones alternativos presentes en la superficie, en especial el oxígeno.
3. Y existen varias bacterias aeróbicas en los sitios.



# DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN LA ARENA

Tasas de flujo mayores → distribución mejor del aire

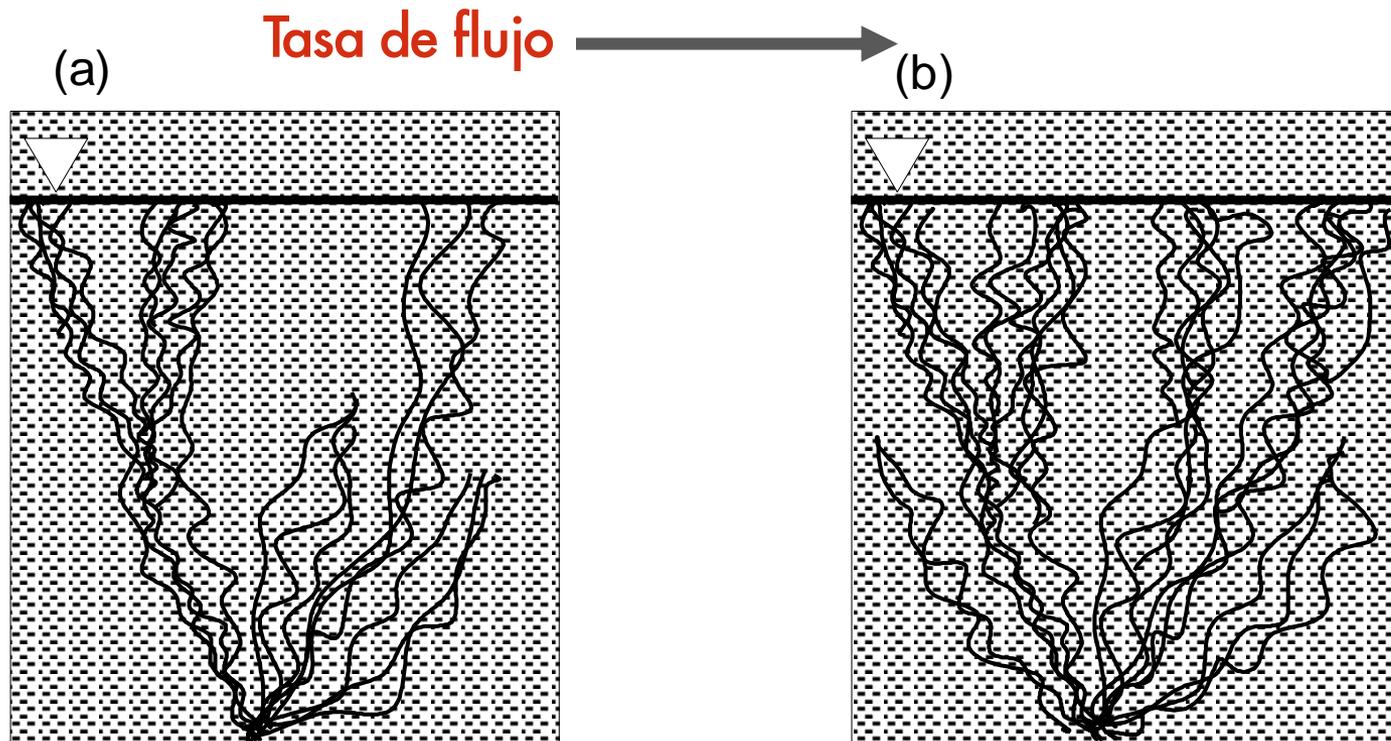
Tasa de flujo →



Wei Ji, 1994

# DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN LA ARENA

Mismo en medios homogéneos, espacios muertos (zonas donde no hay canales de aire), son observados en experimentos de visualización

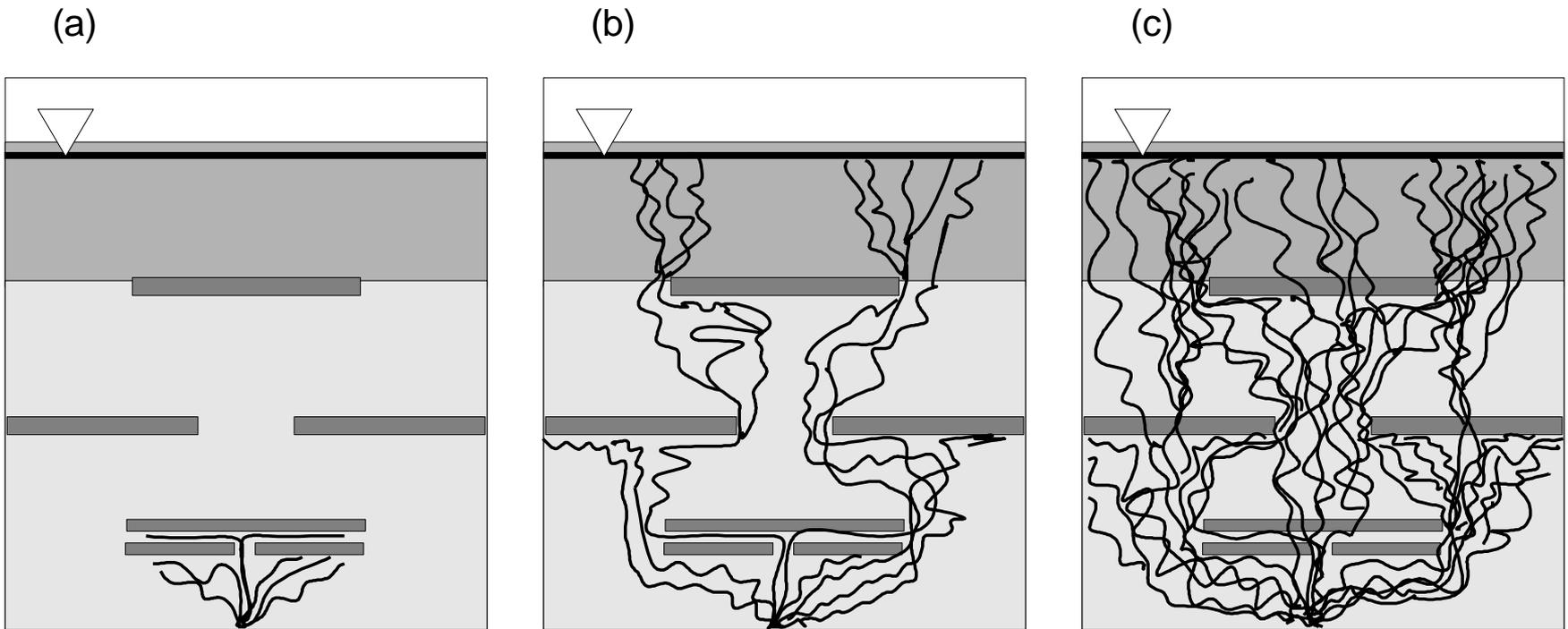


Wei Ji, 1994

# DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN LA ARENA

Pequeñas estratificaciones en el tamaño de las partículas pueden resultar en un gran impacto en la distribución de los canales de aire

Tasa de flujo →



Wei Ji, 1994

Todas las capas serian clasificadas de arena

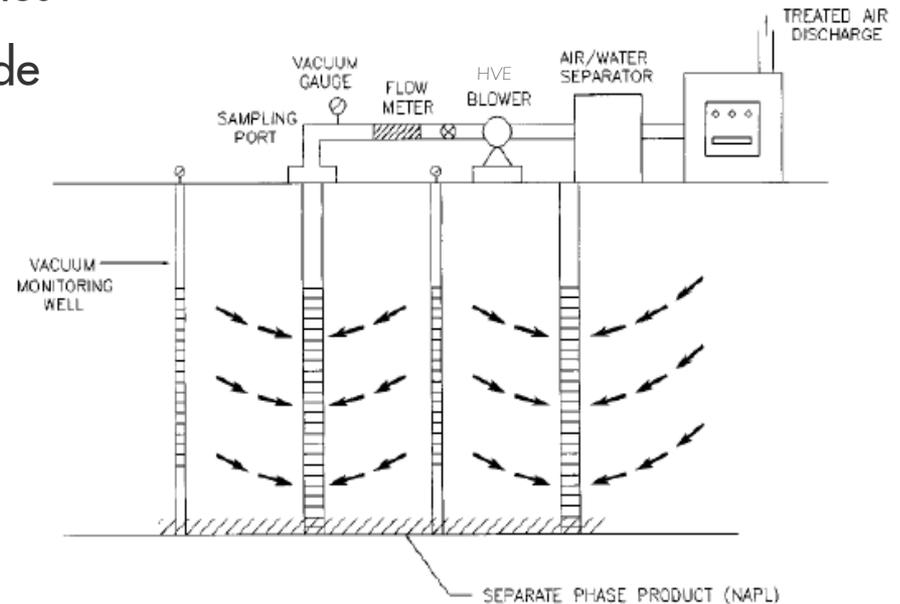
# SUMARIO - DISTRIBUCIÓN DEL AIRE EN LA ARENA

- La distribución del aire es muy sensible a pequeños cambios en la litología del suelo.
- Para los suelos saturados, no tenemos idea para donde el aire se moverá.
- Nuestra única opción para alcanzar la distribución que necesitamos es:
  - **LIDIAR** con las heterogeneidades con altas tasas del flujo de aire.
  - Pozos de inyección de aire **CERCA** de los intervalos impactados

# EXTRACCIÓN DE ALTO VACÍO

## Tecnología

- Similar al SVE
- Aplicado en suelos menos permeables
- Típicamente requiere la utilización de un Soplador de Lóbulo Rotativo.



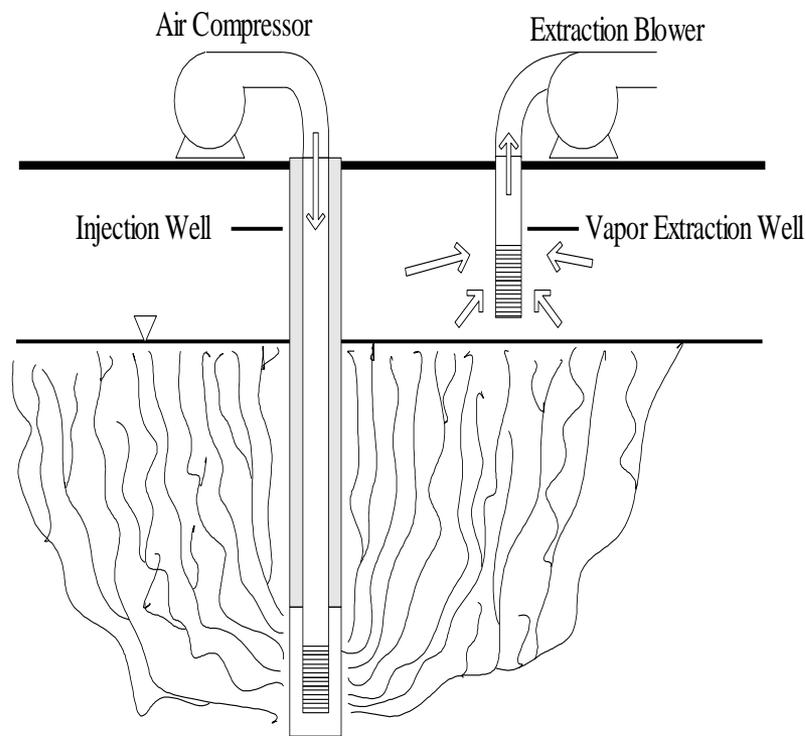
## Consideraciones Claves

- Permeabilidad del Suelo
- Distribución del flujo del aire
- Volatilidad de los CDI
- Distribución de los CDI
- Cubierta Superficial
- COSTO

Los costos operacionales del Alto Vacío son típicamente 2-4 x los costos de SVE

# AIR SPARGING

*In situ* Air Sparging (IAS) : el aire es inyectado abajo del nivel del agua subterránea para promover la remediación de suelos y aguas subterráneas impactadas.



Flujo de aire en la zona saturada:

- Volatiliza la FLNA residual
- Remueve CDI disueltos
- Aumenta la concentración de oxígeno para promover la biodegradación aeróbica

La distribución del flujo del aire es controlada por la textura y estructura del suelo.

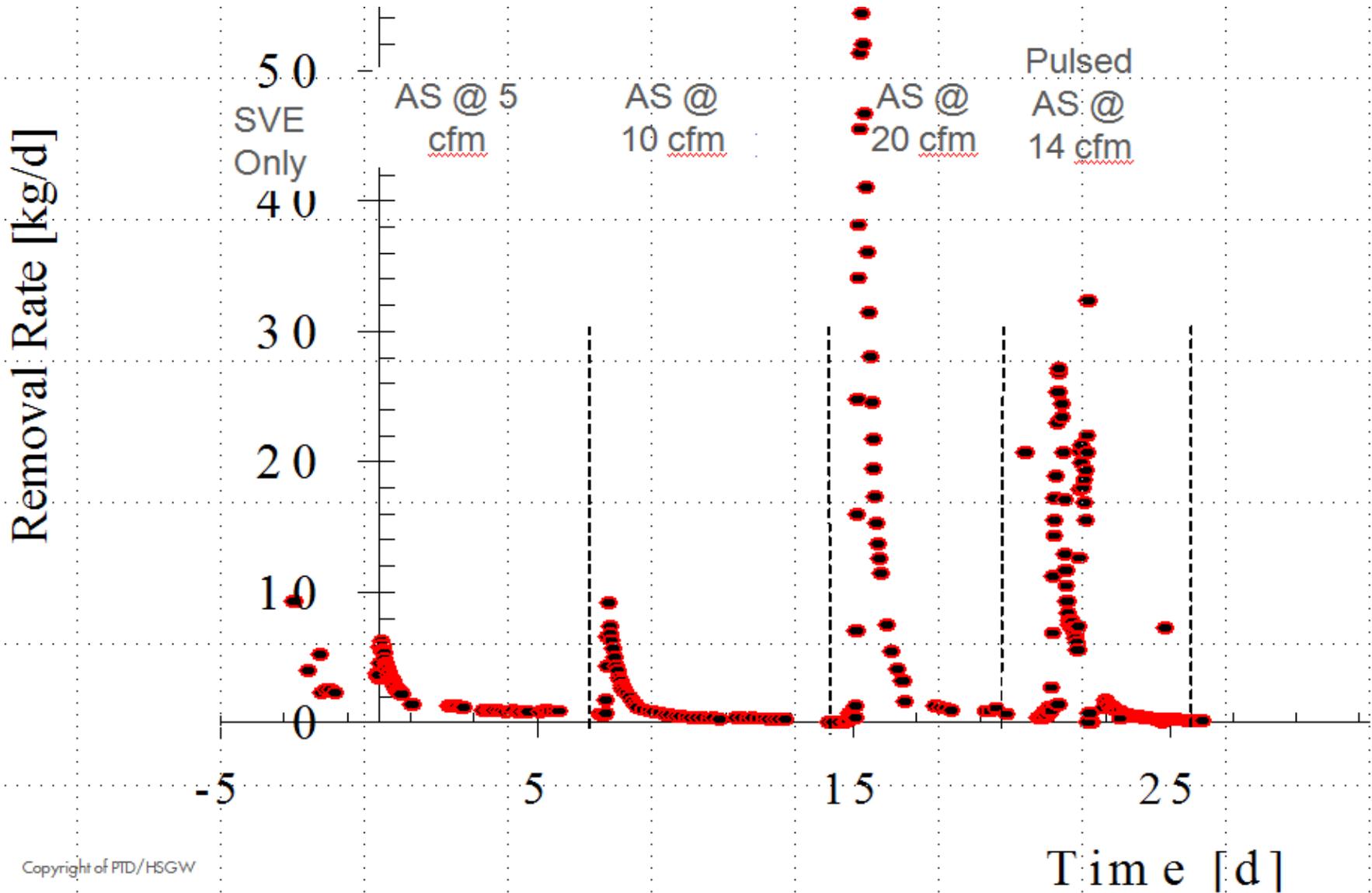
# ENSAYO PILOTO DE AIR SPARGING

1. Es posible alcanzar un flujo de aire de por lo menos 15 cm en el suelo a presiones debajo de la presión de fractura ?

$$P_{\text{fractura}} \sim 0.73 * (\text{profundidad hasta el topo del cano ranurado} - \text{en pies [ft]})$$

2. Pozos alrededor exhiben elevación del nivel del agua subterránea? (i.e. estamos realmente introduciendo aire en la zona saturada?) El ascenso decrece después?
3. Las concentraciones del efluente del equipo son mayores durante la inyección ?

# EJEMPLO DE REMOCIÓN DE LA MASA



# CREENCIAS COMUNES ...

- ✓ 0.5 – 3.0 SCFM es una tasa de inyección suficiente para AS...
- ✓ Esos flujos de aire son generalmente muy bajos para alcanzar buenos resultados
- ✓ El proceso es tan limitado por la difusión, que nunca remediará el sitio...
- ✓ Con una disposición bien ajustada (5 metros de distancia entre los pozos) eso no es verdad
- ✓ La performance es determinada por los coeficientes de Henry, por lo tanto, para compuestos con bajos valores del coeficiente de Henry, AS no ira funcionar...
- ✓ La performance está determinada por la presión de vapor para volatilización, y la Ley de Henry para los compuestos disueltos

# QUE ES NECESARIO PARA UNA REMEDIACION EXITOSA?

- Un buen modelo conceptual / Identificación de: fuente → camino de exposición → receptor
- Evaluación del riesgo demostrando riesgo inaceptable / leyes requiriendo acciones adicionales.
- Identificación de objetivos de remediación (punto final?)
- Evaluación de alternativas potenciales de remediación
- Test de factibilidad (test piloto) para confirmar aplicabilidad y obtener criterios para el diseño del sistema
- Confirmación de campo de que el sistema instalado esta operando tal lo diseñado
- Optimización continua del sistema con enfoque en el objetivo de remediación
  - Monitoreo de los parámetros en los pozos individualmente para permitir la optimización
  - A medida que las tasas de recuperación de masa disminuyen, ajustar la operación del sistema para garantizar recuperación de masa.

# ENSAYO PILOTO DE AS – MODELO CONCEPTUAL DE LAS CONDICIONES DE SITIO

Básese el modelo conceptual del sitio el menos en lo siguiente:

- Tipos de suelo en la zona vadosa y freática, capas, y posiblemente propiedades hidráulicas;
- Compuestos de Interés (principalmente los volátiles orgánicos) y su distribución en el suelo y aguas subterráneas;
- Edificios, cables de servicio y tuberías, ubicación de las cavas de los tanques y otras características de su superficie que puedan representar potenciales caminos preferenciales;
- Tipo de cubierta superficial, espesor, y posiblemente propiedades hidráulicas; y
- Profundidad del nivel de las aguas subterráneas

# OBJETIVOS DEL TESTE PILOTO DE AS

- • Evaluar la posibilidad de inyectar aire a dentro de la zona impactada
- • Estimar la distribución del aire en la zona objeto de la remediación
- • Estimar la distribución (ubicación y concentración) de los compuestos de interés relativa a la distribución del aire.
  
- \* Si efectuando un ensayo de AS en una área con FLNA de saturación residual, un sistema de extracción de vapor de suelo mucho probablemente va se hacer necesario. (consulte la guía para SVE).

# TAREAS DEL ENSAYO PILOTO DE AS

- • Instalación de los pozos de inyección de aire (usualmente 2 pies de sección filtrante a la base del impacto, o a la distancia de máxima de 2 pies de la base de la zona impactada)
- • Selección e instalación de por lo menos 3 puntos de observación (de preferencia a distancias y direcciones variables del pozo de inyección, intentando evaluar caminos preferenciales) con entendimiento de que pozos en distancias de 5 a 10 pies son los mas valorables
- • Procedimientos de colección de datos (formularios standard, intervalos de medición, instrumentos, etc.)
- • Equipos (tipo de bomba / soplador, válvulas, medidores, etc.)
- • Duración estimada del ensayo piloto
- • Interpretación de los resultados (evaluar factibilidad y radio de influencia)

# Implementación del Ensayo Piloto

## Ubicación del Equipo

- • Armar barricadas / banderas para aislar el área del ensayo y equipo del tránsito vehicular y de peatones.
- • Ubicar el equipo cerca del pozo de inyección.
- • Verificar que conexiones están bien seguras/estancas
- • Acoplar medidores de flujo (aptos a medir 1-20 scfm) y medidores de presión a los pozos del teste
- • Monitorear los pozos de observación y el área alrededor del pozo de inyección con equipos de medición de vapores como flame ionization detector (FID) o photoionization detector (PID). FIDs son preferibles, y deben ser calibrados con hexano, si el sitio está impactado por nafta
- • Antes de la inyección, instalar "transducers" de presión (conectados a "data loggers" y colectando datos por lo menos a cada 2 minutos) en 3 pozos de observación. Monitorear variaciones del nivel de aguas subterráneas por varios minutos en ambientes estables y hasta un día en áreas influenciadas por mareas.

# Potenciales Banderas Rojas Durante el Ensayo Piloto

- • Ascenso de la tabla de aguas subterráneas no registrado, o solo por algunos minutos cerca del pozo de inyección (aire escapa a través de la tubería del pozo?)
- • Mediciones de nivel de agua (mediciones de “transducer”) exhiben comportamiento irregular con picos (corto circuito/ burbujas en el pozo?)
- • Presiones de Inyección se mantienen muy arriba de la presión de fractura del acuífero [ $\sim 0.73$ \*profundidad a la tubería ranurada (en pies) psi] (pozo colmatado o suelo impermeable?)
- • Tasas de flujo de 10 scfm no pueden ser alcanzadas (pozo colmatado o suelos impermeables)
- • Presión medida en el compresor mucho mayor que la medida en la boca del pozo (perdidas del sistema o líneas, debido a cañería larga o de diámetro pequeño)
- • Medidas de Helio igual o en exceso de las concentraciones de inyección en todas las muestras (perdida de líneas?)

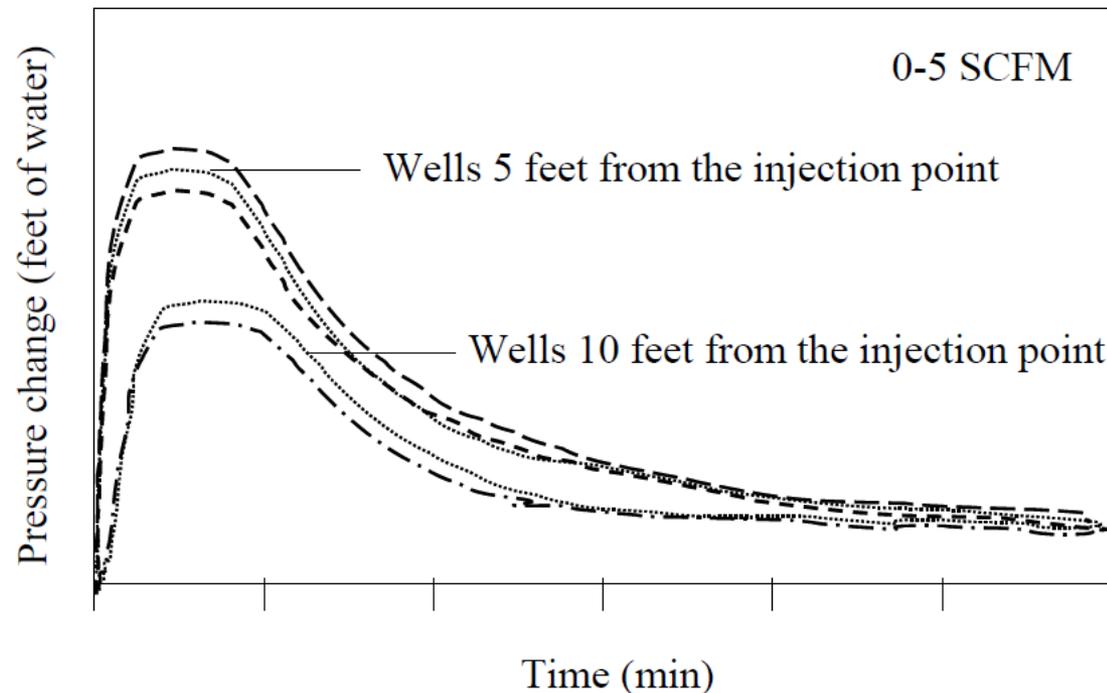
# Evaluación de los Datos Después del Ensayo

## Análisis de los Datos del Ensayo/ La Interpretación Deberá Fornecer

- • Una evaluación de la factibilidad de la tecnología y estimativa de la distribución del aire en la zona impactada
  - 1. En un mapa del sitio, ubicar pozos de observación con valores de oxígeno disuelto iniciales y finales. Indicar todos los pozos con ascenso del agua subterránea, burbujas o mediciones altas de FID.
  - 2. En el mapa del sitio, indicar en los pozos de observación los valores en porcentaje de helio inyectado.
  - 3. Colocar en grafico presión de los “transducers” versus tiempo. Indicar cuando presiones de inyección fueran aumentadas, cuando el sistema estuvo detenido y cuando burbujas fueran observadas en otros pozos del área.
  - 4. Colocar en grafico la presión de inyección (en la boca del pozo) versus tasa de flujo para todas las tasas de inyección utilizadas.
  - 5. Utilice mediciones de VOCs para evaluar las medidas de control de las emisiones del aire apropiadas.

# Evaluación de los Datos Después del Ensayo (Continuado)

- Las distribuciones del aire son prácticamente siempre asimétricas. El radio de influencia efectivo, es el radio en el cual la saturación del aire se evidencia en todas las direcciones.



- La hidrogeología es bien comprendida
- Los impactos están bien definidos (horizontalmente y verticalmente)
- Los valores objetivo de la remediación están definidos
- Las limitaciones de las varias tecnologías están bien comprendidas. Remediación In-situ es extremadamente difícil en limo y arcilla.
- No se puede remover toda FNLA del sitio, pero se puede cambiar la composición química de la misma (remoción de la parte volátil).

## Esencial para la Remediación

- Puntos suficientes de monitoreo para garantizar performance

No se puede ajustar el sistema a través de datos de influente o efluente si no separado por pozo

- Monitoreo regular del sistema (**por lo menos mensual**)
- Evaluación regular de los datos del sistema de remediación

Una reducción de la recuperación de masa debe resultar en :

- Ajuste,
- Modificación, o
- Terminación de la operación del sistema de remediación.