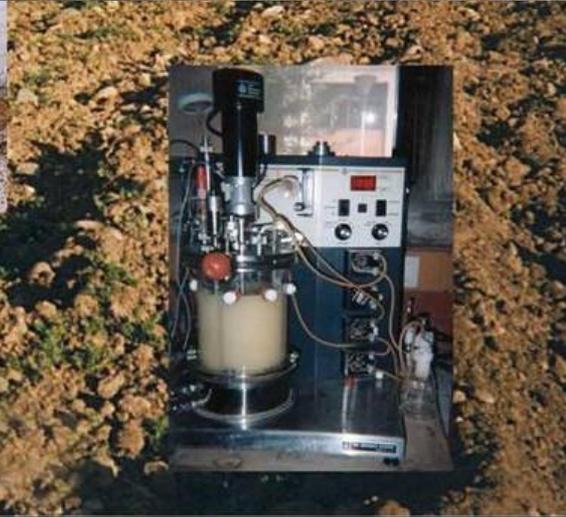
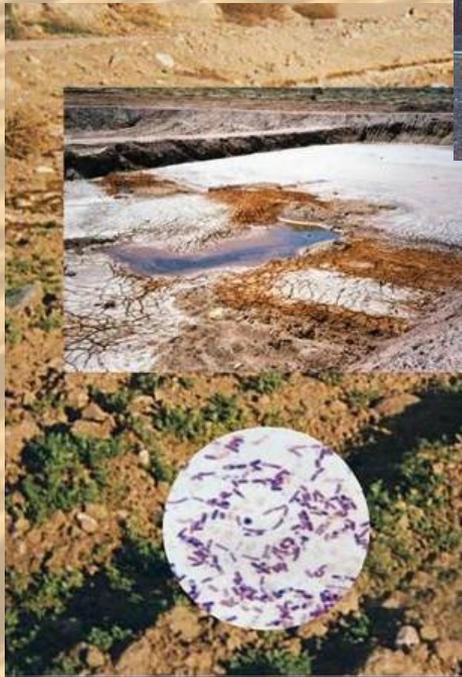


# Biotecnología del Petróleo



**Mgter Ing. José Antonio Gálvez**



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO  
MENDOZA, ARGENTINA

**BIOPROCESOS**



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

# **METODOS BIOLOGICOS PARA TRATAMIENTO DE ACUIFEROS**

**ALCANCE Y LIMITACIONES**

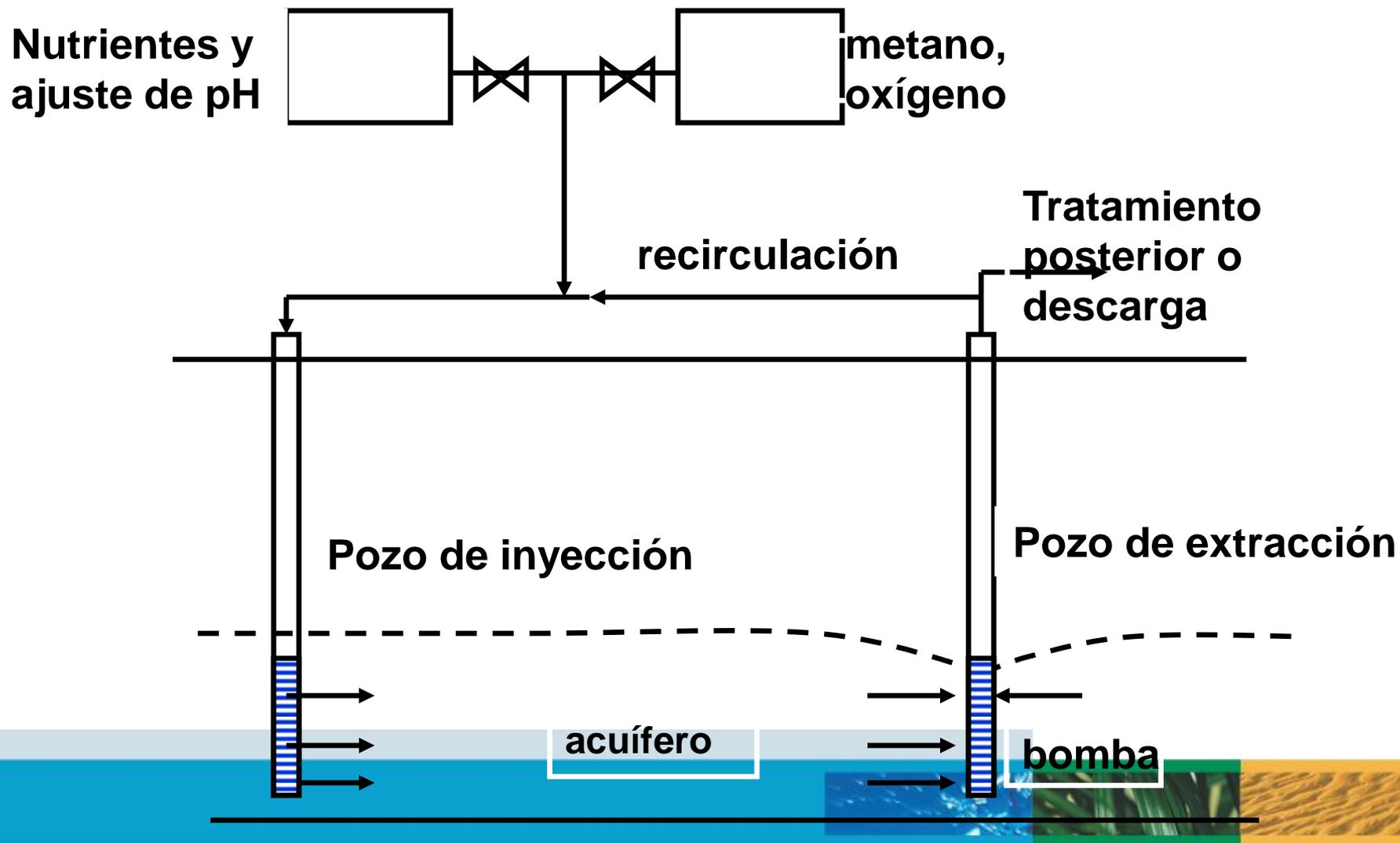


# **METODOS BIOLOGICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA**

- **IN SITU**
  - PROCESOS COMETABOLICOS**
  - BIORREMEDIACION**
  - MEJORADA**
  - ATENUACION NATURAL**
  - FITORREMEDIACION**
  - METODOS COMBINADOS**  
**(BIOSLURPING)**
  - PAREDES REACTIVAS**
- **EX-SITU**
  - BIOREACTORES**
  - WETLANDS**



# PROCESOS COMETABOLICOS



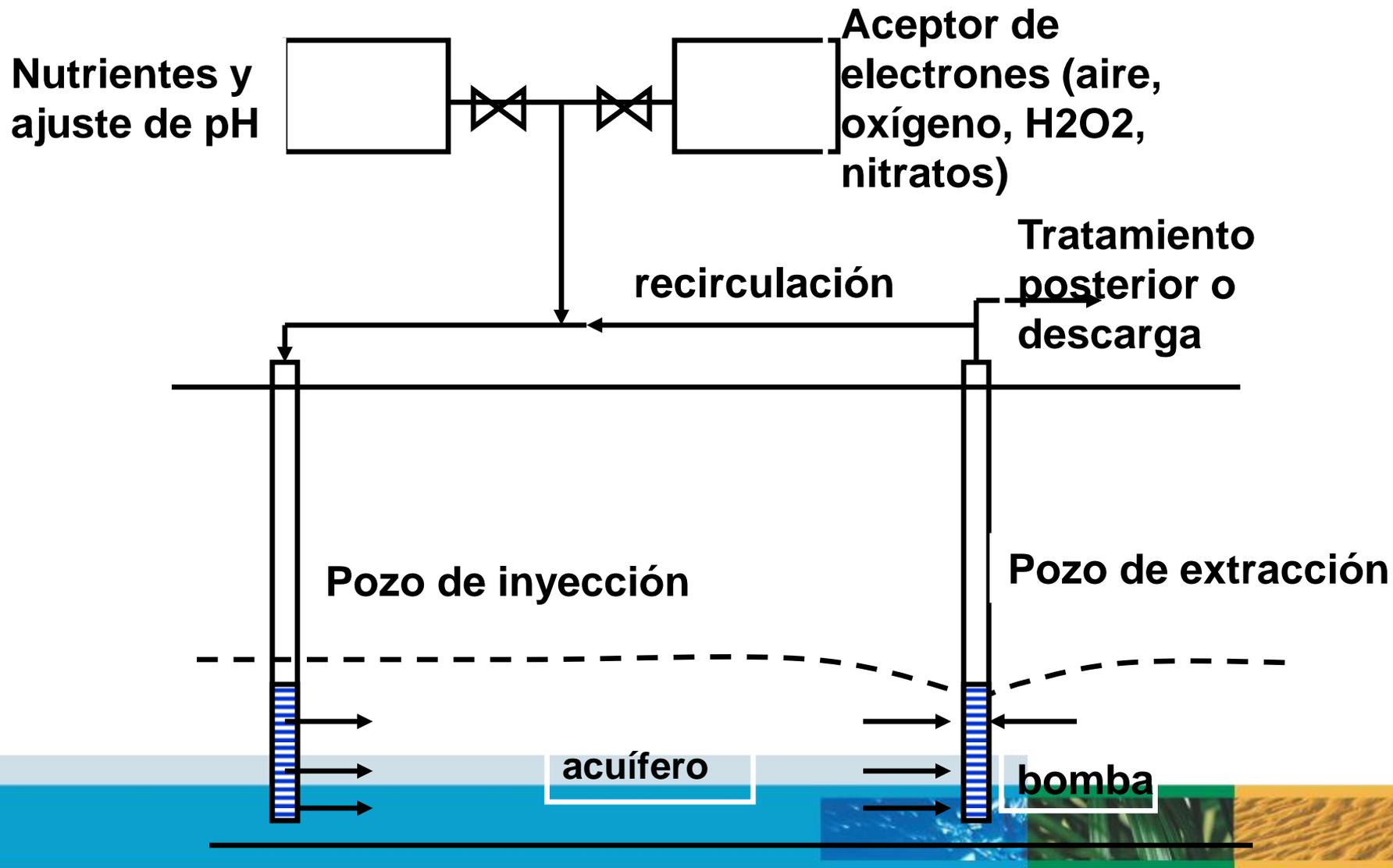
## • ALCANCE

- solventes clorinados
- pesticidas
- PCBs
- puede ocurrir fácilmente en sitios con contaminación de varios compuestos

## • LIMITACIONES

- en fase de desarrollo
- puede requerirse aprobación del ente regulador para el uso de ciertos cosustratos
- problemas de circulación de cosustratos en las zonas heterogéneas de distinta porosidad
- se requieren precauciones especiales de seguridad cuando se usa metano
- puede ser necesario un sistema de tratamiento de efluentes en superficie
- concentraciones altas de cobre
- efecto de los predadores sobre las bacterias metanotróficas

# BIORREMEDIACION MEJORADA



## • **ALCANCE**

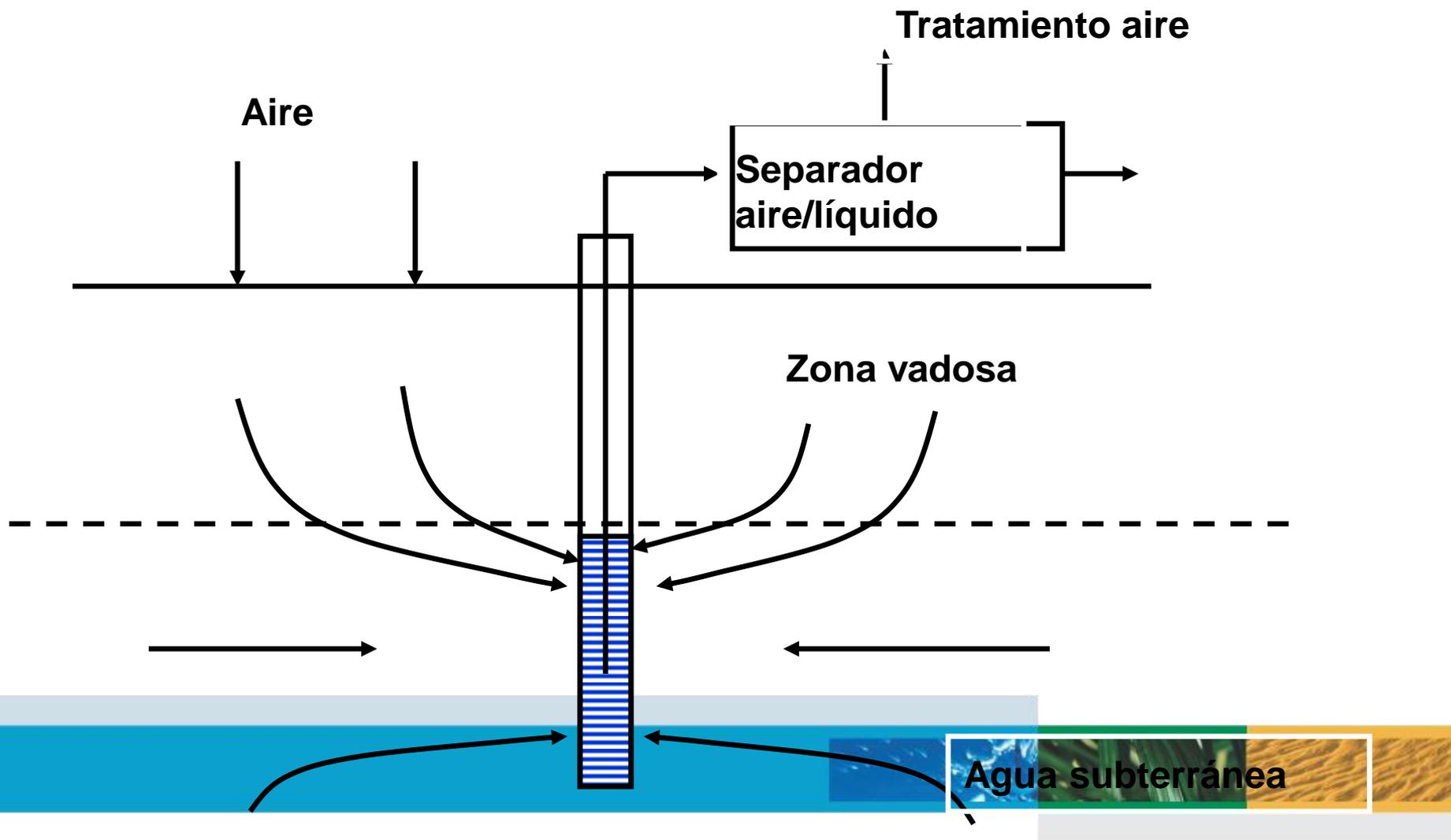
- **VOCs y SVOCs no halogenados**
- **combustibles**
- **Pesticidas (tratabilidad limitada)**
- **BTEX mediante adición de nitratos**

## • **LIMITACIONES**

- **problemas de circulación de aceptores de electrones (nitrato o  $H_2O_2$ ) en las zonas heterogéneas de distinta porosidad**
- **se requieren precauciones especiales de seguridad cuando se usa  $H_2O_2$**
- **la concentración de  $H_2O_2$  no debe superar 100 ppm a 200 ppm porque es inhibitorio para los microorganismos**
- **es necesario un sistema de tratamiento de efluentes en superficie concentraciones altas de hierro en combinación con las enzimas producen zonas reductoras.**
- **efecto del nitrato en el acuífero: debe asegurarse la presencia de bacterias denitrificantes. Muchas legislaciones prohíben esta práctica**



# METODOS CONBINADOS (BIOSLURPING)



## • **ALCANCE**

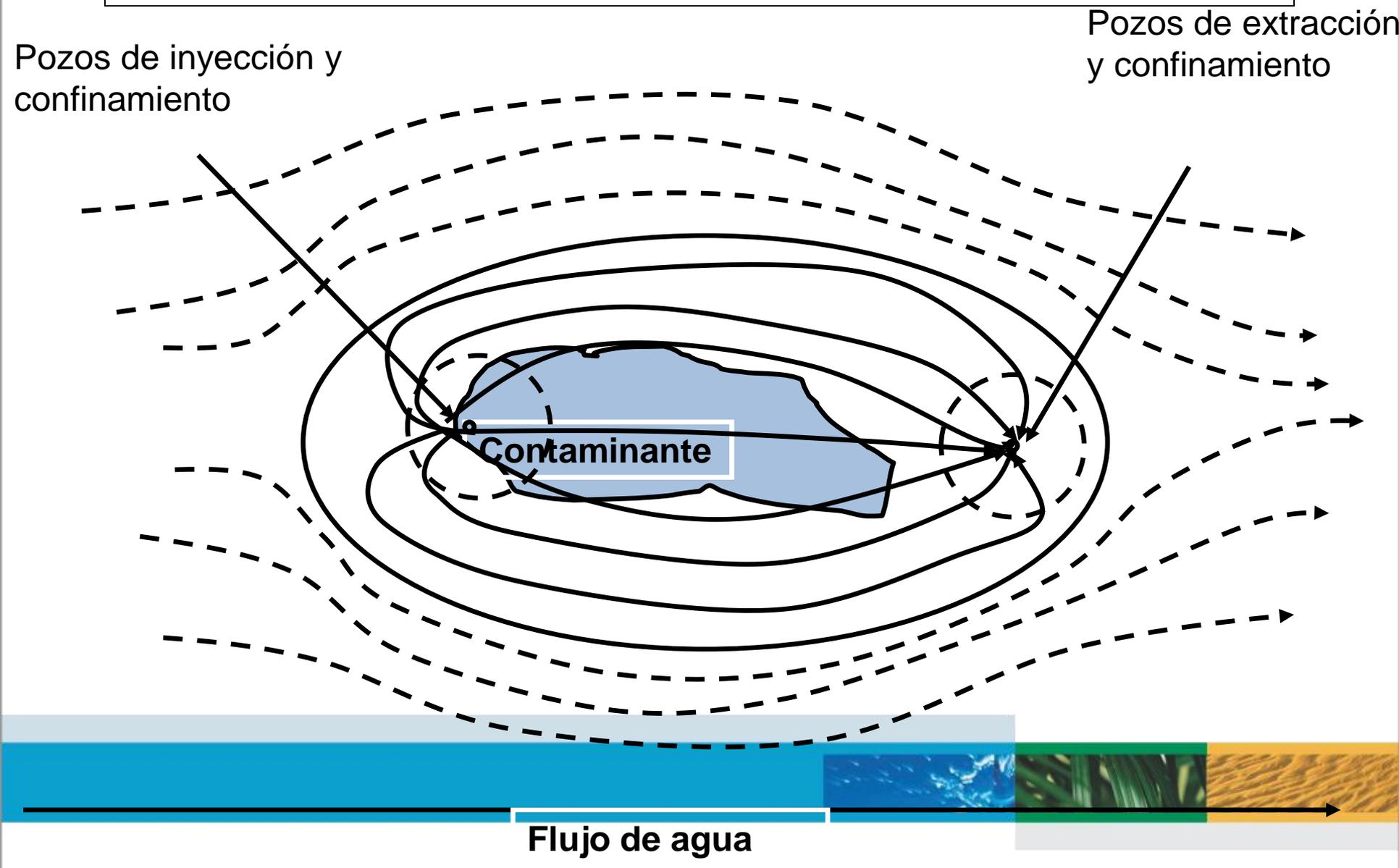
- muy efectivo para la biorremediación de subsuelos contaminados con hidrocarburos
- es aplicable en sitios con acuíferos a profundidades superiores a 10 m
- remueve fases líquidas no acuosas al mismo tiempo que trata la zona vadosa

## • **LIMITACIONES**

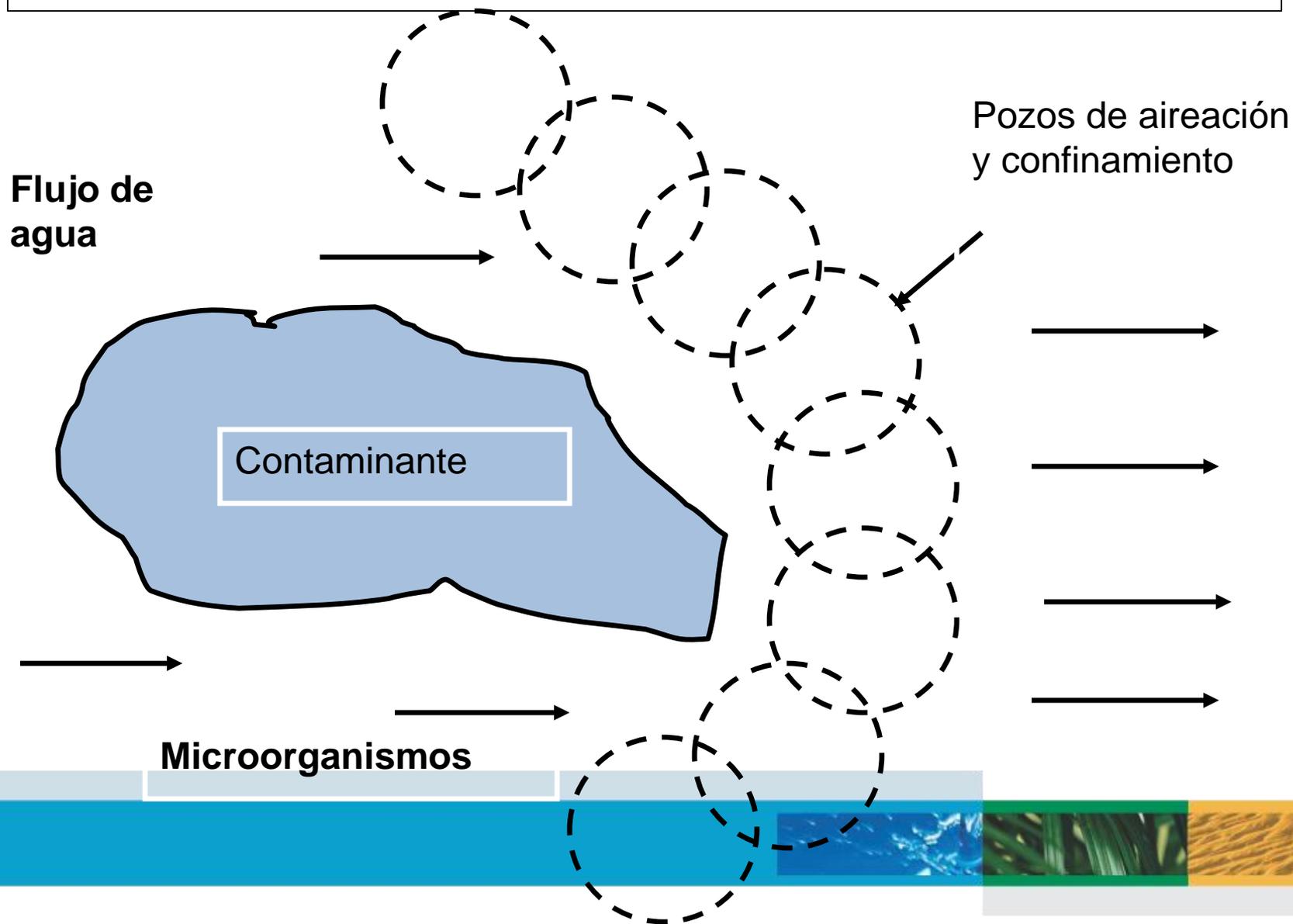
- poco efectivo en suelos poco permeables
- poca humedad en el suelo afecta la biorremediación
- la degradación aeróbica de compuestos policlorinados no es efectiva a menos que se tenga un cosustrato
- se requiere tratamiento de gases de salida
- se requiere tratamiento de efluentes de salida (incluida separación de fases)



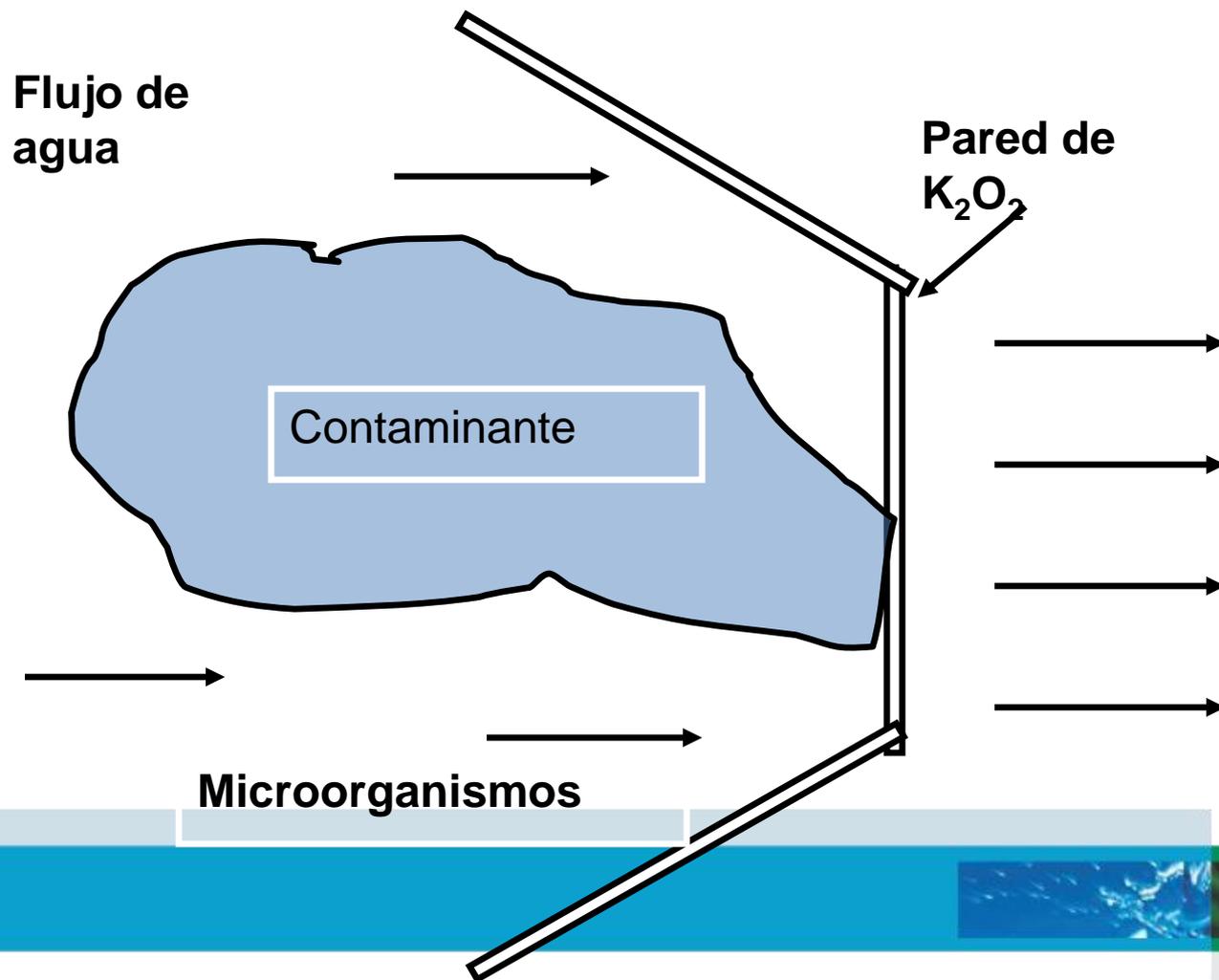
# SISTEMA DE CONFINAMIENTO/ TRATAMIENTO FUENTE - SUMIDERO



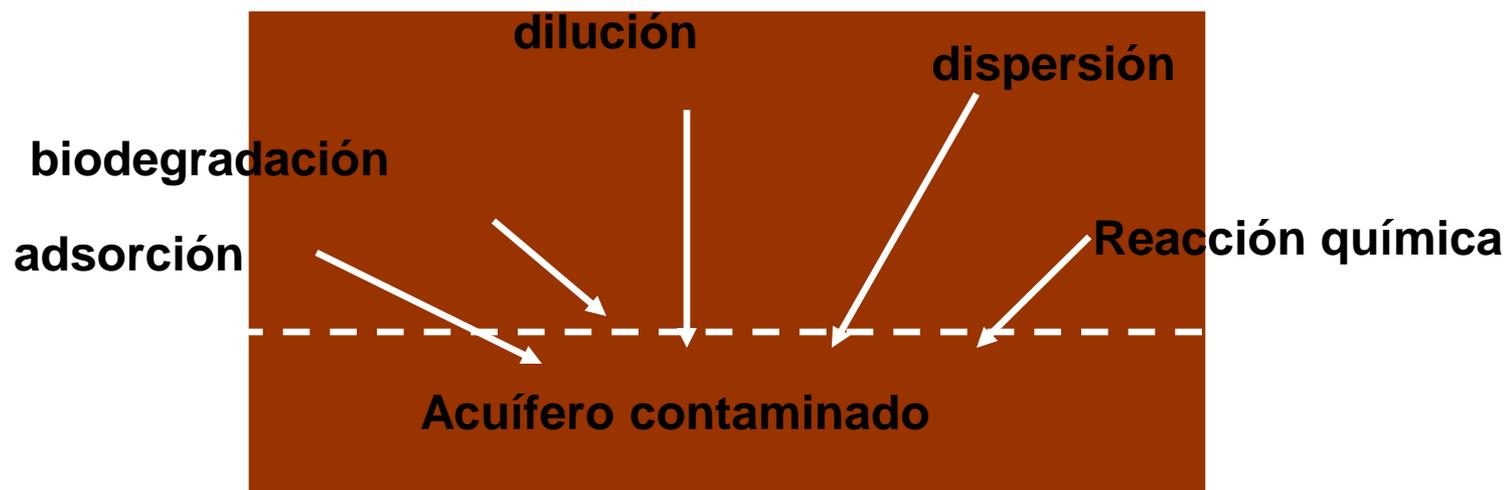
# SISTEMA DE CONFINAMIENTO/ TRATAMIENTO



# PAREDES REACTIVAS



# ATENUACION NATURAL



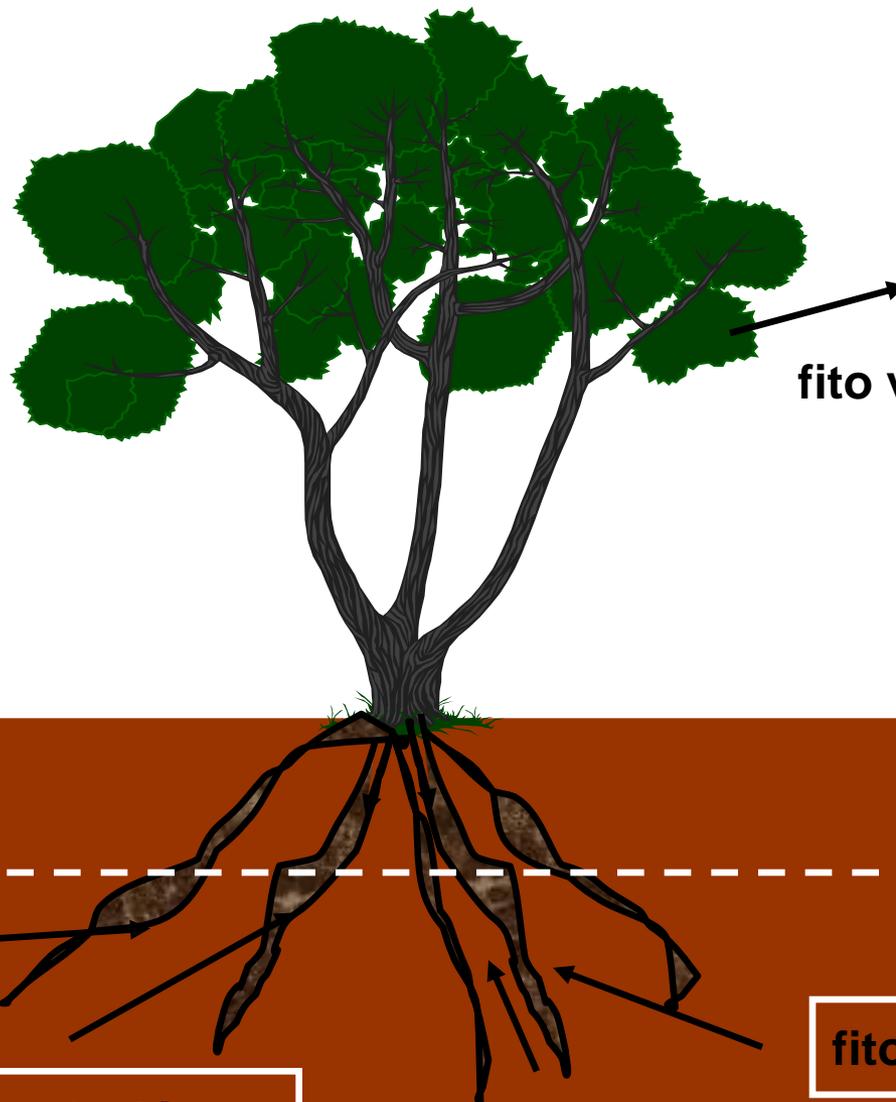
# ALCANCE

- **acuíferos contaminados con combustibles, VOCs y SVOCs**
- **algunos pesticidas (en forma limitada)**
- **algunos metales pueden ser inmovilizados**

# LIMITACIONES

- **Se requieren una caracterización del sitio muy profunda y la aplicación de modelos matemáticos**
- **el costo del monitoreo puede ser superior al costo del tratamiento**
- **riesgo de migración de contaminantes**
- **toxicidad de los productos intermedios de la degradación**
- **periodos de tiempo de tratamiento muy largos, que imposibilitan el uso del recurso**
- **controles institucionales permanentes**
- **se deben remover los contaminantes libres para permitir que el proceso tenga lugar**
- **no es apropiado en lugares con alto riesgo**
- **algunos contaminantes inorgánicos pueden ser inmovilizados pero no degradados**
- **las condiciones hidrogeológicas y geoquímicas pueden cambiar en el tiempo**

# FITORREMEDIACION



fito volatilización

Acuífero contaminado

biodegradación

fito degradación

Control hidráulico

fitoacumulación

## • **ALCANCE**

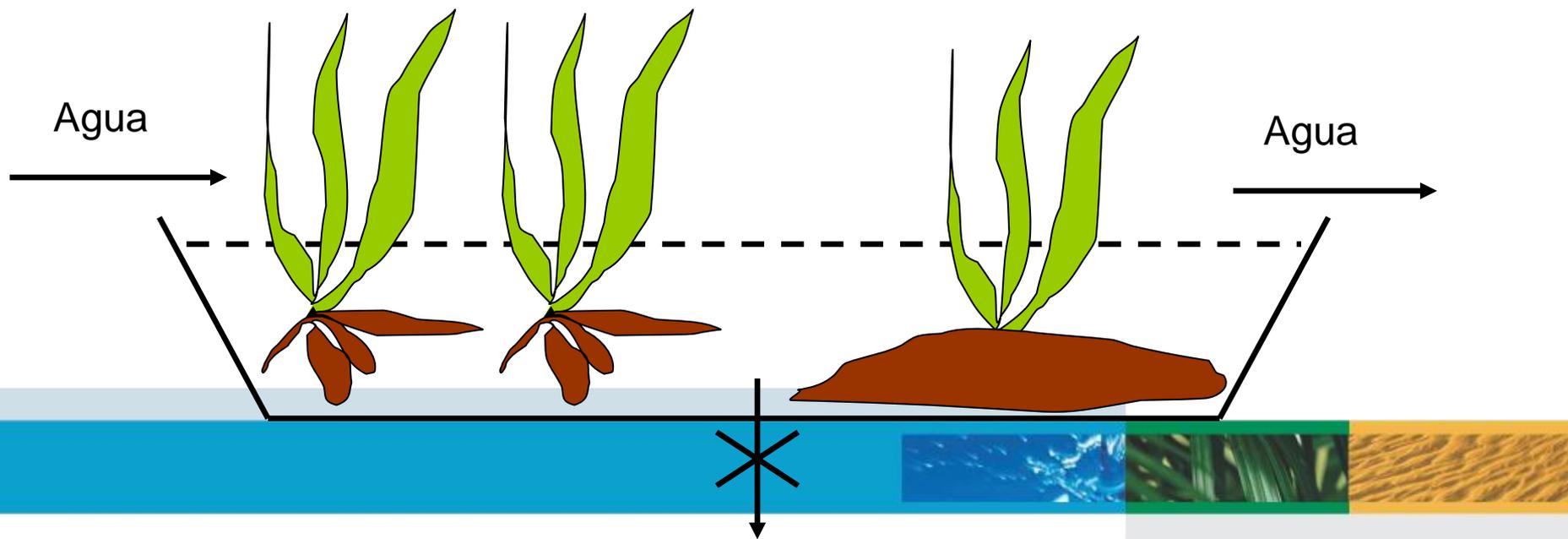
- **acuíferos y zona vadosa contaminados con compuestos orgánicos, fertilizantes y metales**

## • **LIMITACIONES**

- **profundidad de la zona de tratamiento**
- **altas concentraciones de materiales peligrosos**
- **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**

# HUMEDALES ARTIFICIALES

Fitorremediación, biodegradación, oxidación, reducción, filtración



- **ALCANCE**

**Pesticidas**

**Metales**

**Explosivos**

**Combustibles**

**Sales**

**¿Radionúclidos?**

- **LIMITACIONES**

**Grandes superficies**

**Se usa solo para aguas**

**Emisión de volátiles**

**Debe aislarse del entorno**

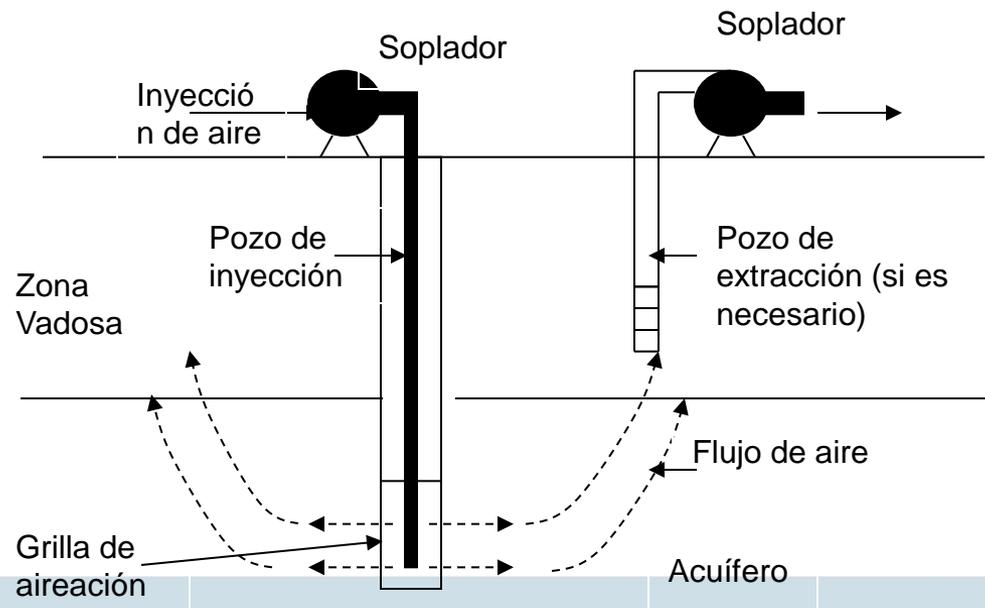


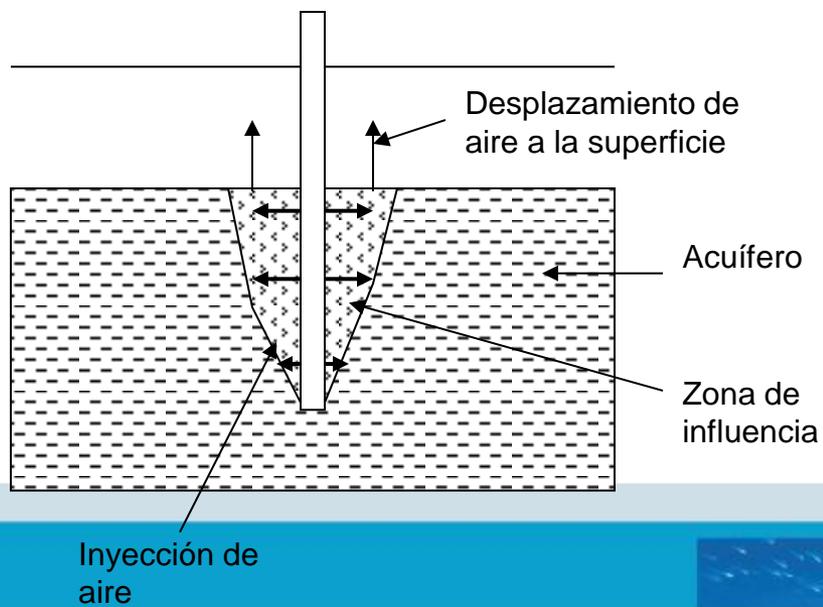
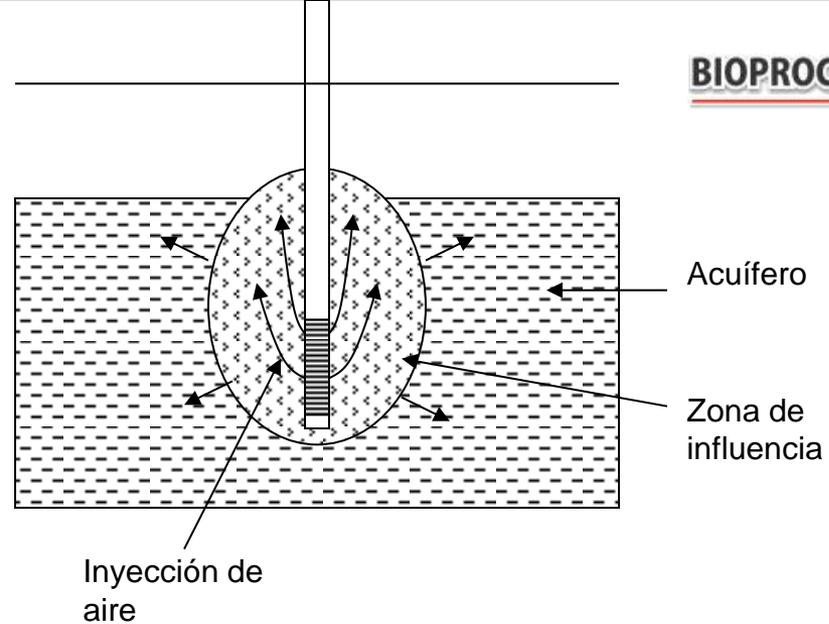
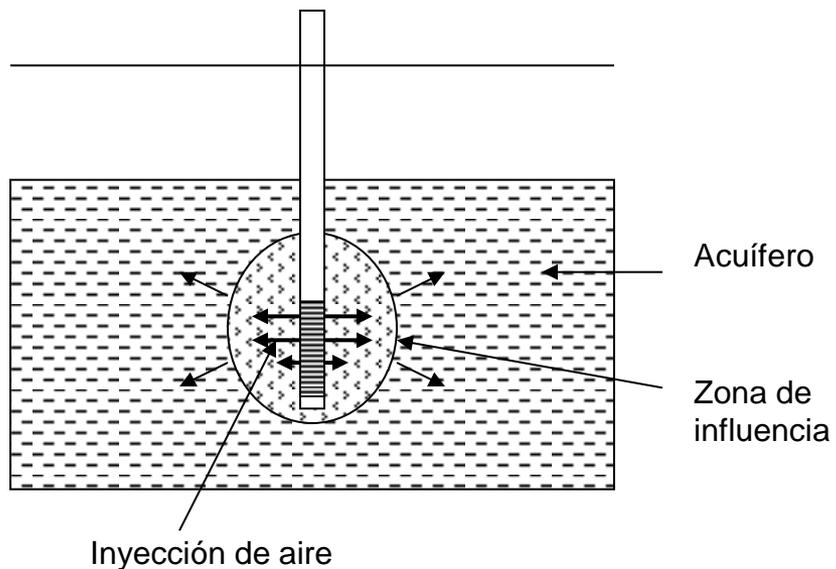
# **Aplicación de tecnologías: Air Sparging – Diseño de proyecto**



**Técnica:**

La técnica propuesta se denomina air sparging, se utiliza para tratamiento de contaminantes en suelos saturados y agua subterránea. Consiste en inyectar aire, oxígeno u otros gases en la napa de agua y remover los contaminantes del agua y del subsuelo por volatilización y biodegradación. Esta técnica se puede combinar con otras para el tratamiento in - situ de acuíferos y subsuelos contaminados tales como extracción de vapor del suelo o bioventeo.





## **VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

**Es adecuado para el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles presentes en acuíferos no confinados, principalmente los hidrocarburos que forman los cortes de nafta y gasolina. No es tan rápido para tratar los cortes del rango de kerosene y gasoil.**

**No se puede utilizar cuando hay producto libre, dado que el aire inyectado puede desplazar la contaminación a zonas no afectadas. En estos casos es conveniente retirar la fase hidrocarburo (bombeo y separación de fases) previo al tratamiento mediante esta técnica. No es conveniente aplicarlo en sitios ubicados bajo construcciones, playas de maniobra e instalaciones industriales a menos que se utilicen sistemas de captación de vapores.**

**Cuando se tratan acuíferos confinados, se debe asegurar que el aire inyectado no quede entrampado bajo capas no permeables formando “bolsones”. En estos casos se deben usar pozos de extracción ubicados de acuerdo a la dirección de los estratos de subsuelo.**



## **TIEMPOS DE TRATAMIENTO**

**El tiempo de tratamiento varía con tres factores**

- 1- Tipo y concentración de contaminante**
- 2- Características del acuífero**
- 3- Características del subsuelo.**

**Por ejemplo, en un caso de contaminación de gasolina en un acuífero compuesto de depósitos lacustres y glacio/fluviales un tratamiento de 18 meses llevó la concentración de los compuestos más tóxicos (BETX) varió de 11,4 ppm a 0,8 ppm. Previo a este tratamiento se había realizado la extracción de la fase libre mediante bombeo y separación de hidrocarburos. En otro caso se logró una reducción del contenido de BETX desde 1654 ppb a menos de 1 ppb en 9,5 meses de tratamiento en una formación poco permeable.**

## **ETAPAS DEL PROYECTO**

- 1) Selección de un sitio para realizar el tratamiento**
- 2) Caracterización de la zona y del contaminante**
- 3) Evaluación de la factibilidad técnica de realizar el proceso en base a los datos de la caracterización.**
- 4) Ensayo piloto, en base a los resultados de la caracterización y la evaluación de factibilidad técnica.**
- 5) Evaluación del ensayo piloto.**
- 6) Diseño del proceso en escala de campo en función de los resultados del ensayo piloto.**
- 7) Implementación del tratamiento y seguimiento del mismo.**
- 8) Evaluación final del área, una vez finalizado el proceso.**

## Descripción del sitio

**Extensión de la pluma de contaminación y planimetría de la zona.**

**Ríos, cauces aluvionales, canales de riego, espejos de agua.**

**Cultivos, ganadería en el sitio o en las cercanías que puedan afectar o ser afectados por la napa de agua y/o el tratamiento**

**Condiciones arqueológicas y paleontológicas**

**Construcciones e instalaciones existentes en el lugar. Caminos, líneas eléctricas y telefónicas, gasoductos, oleoductos y acueductos.**

**Obras de contención de la contaminación**

**Disponibilidad de energía en el lugar.**

**Requerimiento de los superficiarios y vecinos**

**Legislación ambiental a aplicar en la zona afectada**

**Metas de limpieza**



## Caracterización del acuífero

- Permeabilidad,
- Porosidad,
- Caudal,
- Transmisibilidad,
- Tipo de suelo,
- Textura
- Tipo de acuífero,
- Alturas piezométricas,
- Interacción con otras formaciones
- Redes de flujo,
- Actividades antrópicas
- Probabilidad de migración

## Propiedades fisicoquímicas del contaminante

- Peso molecular
- Densidad
- Presión de vapor
- Solubilidad en agua
- Coeficiente de partición octanol/agua
- Coeficiente de partición carbono orgánico
- Constante ley de Henry
- Potencial redox



## Caracterización química del agua

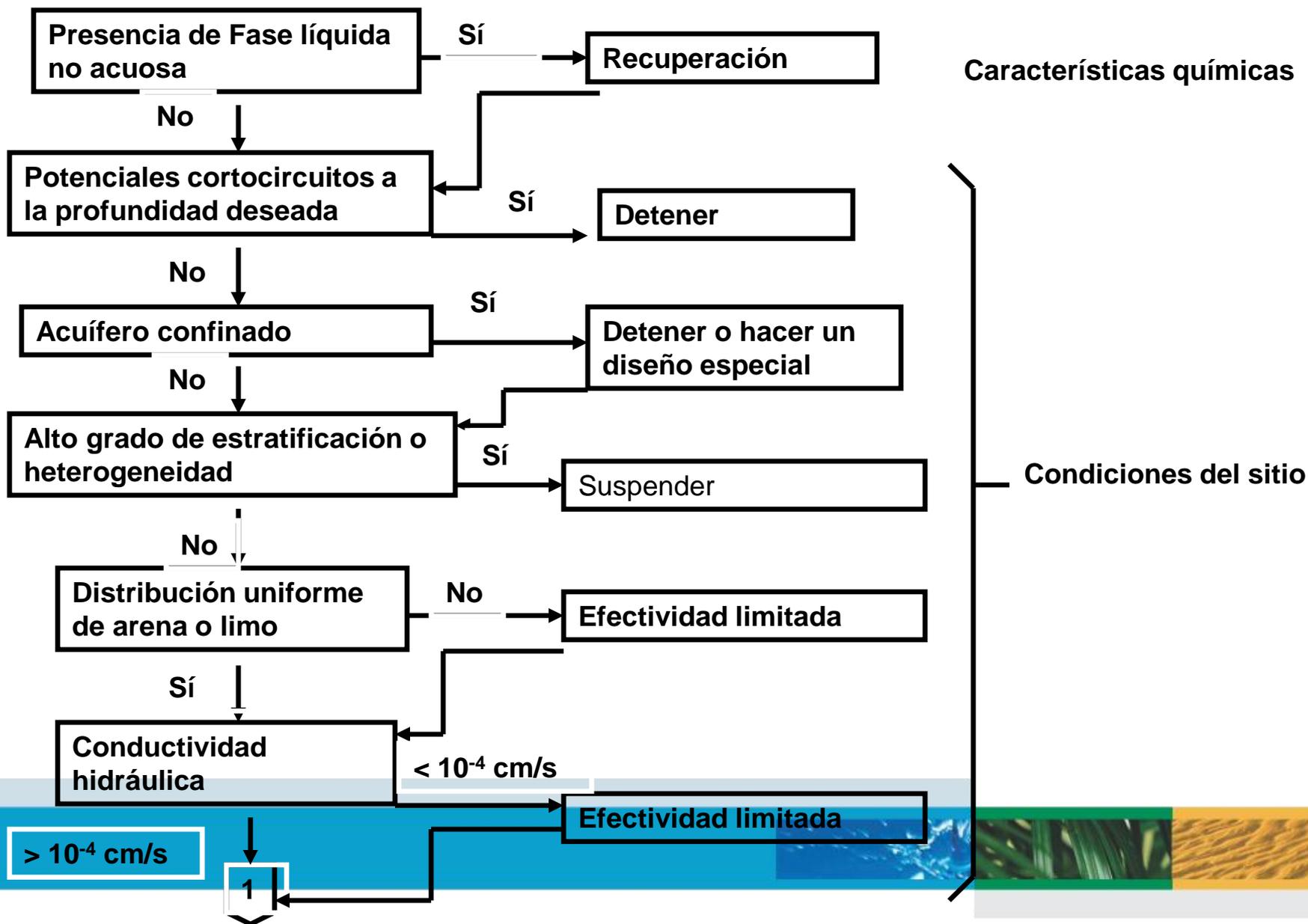
- pH:
- TOC (carbono orgánico total),
- BOD (demanda biológica de oxígeno),
- COD (demanda química de oxígeno),
- aceites y grasas
- identificación de contaminantes y concentración,
- dureza agua,
- contenido de amonio,
- sólidos disueltos
- contenido de metales
- Eh
- aniones y cationes

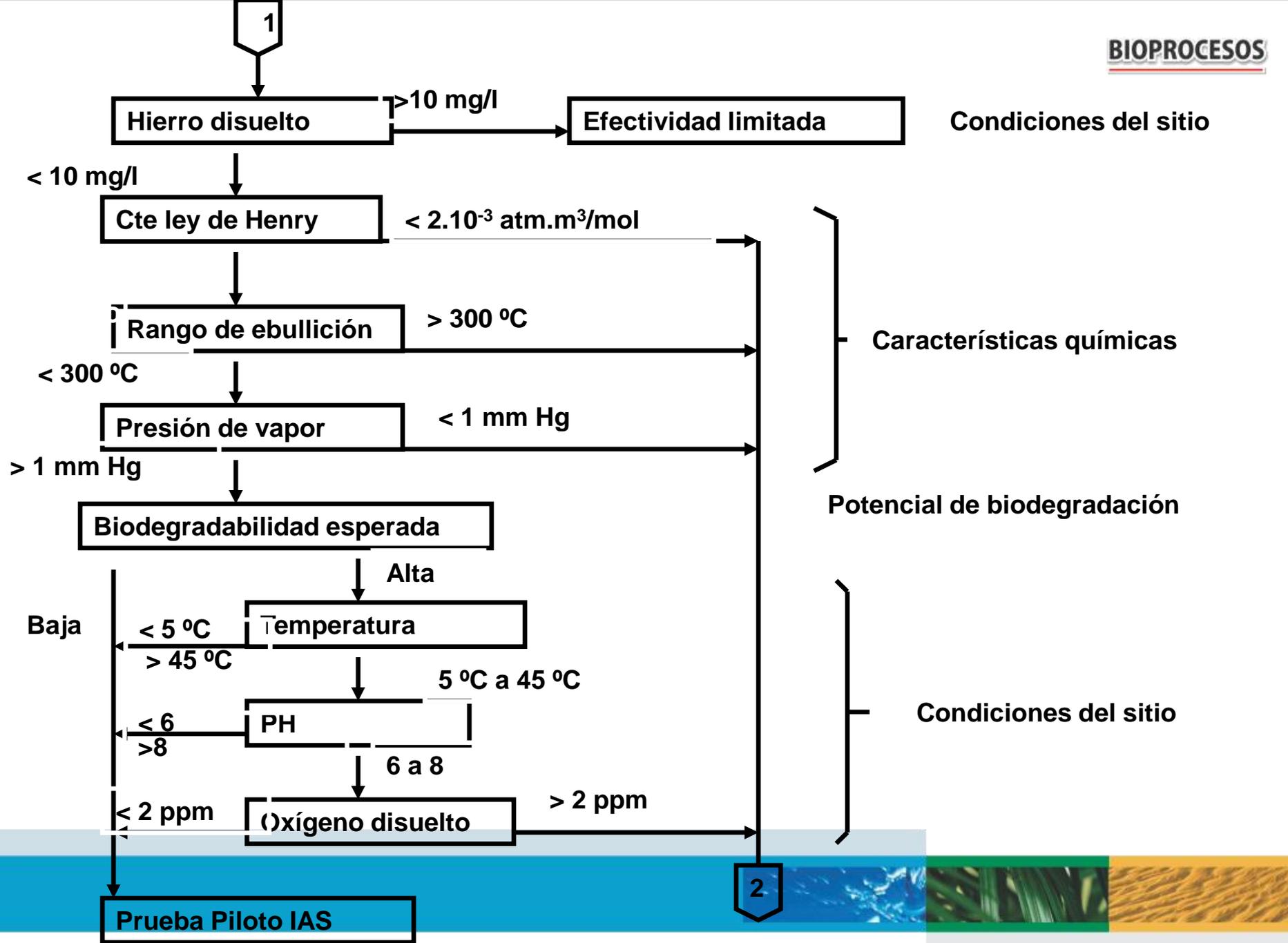
## Evaluación de la posibilidad de biodegradación

- Capacidad de los contaminantes de biodegradarse
- Presencia de microorganismos adaptados
- Presencia de compuestos tóxicos o inhibitorios
- Aceptor de electrones y disponibilidad del mismo
- Disponibilidad de nutrientes y/o capacidad de proveerlos
- Temperatura
- Test de biodegradación

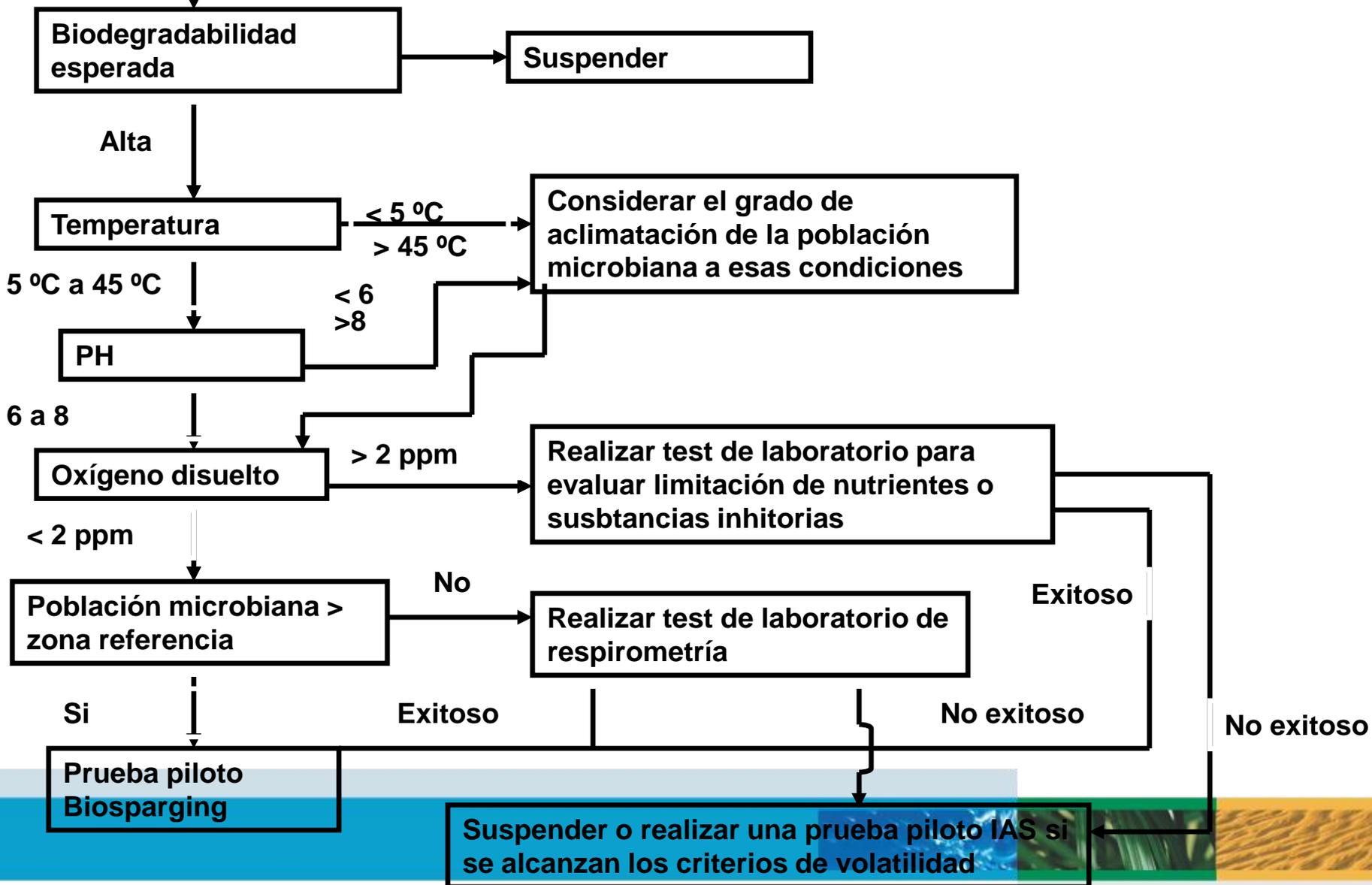


# ARBOL DE DECISION





2



## Objetivo primario del ensayo piloto

- **Evaluar si el aire inyectado puede alcanzar la zona vadosa en las cercanías del pozo**
- **Determinar las características de presión y flujo alrededor del pozo**
- **Determinar la duración del estado transitorio del agua subterránea durante la puesta en marcha y el corte.**

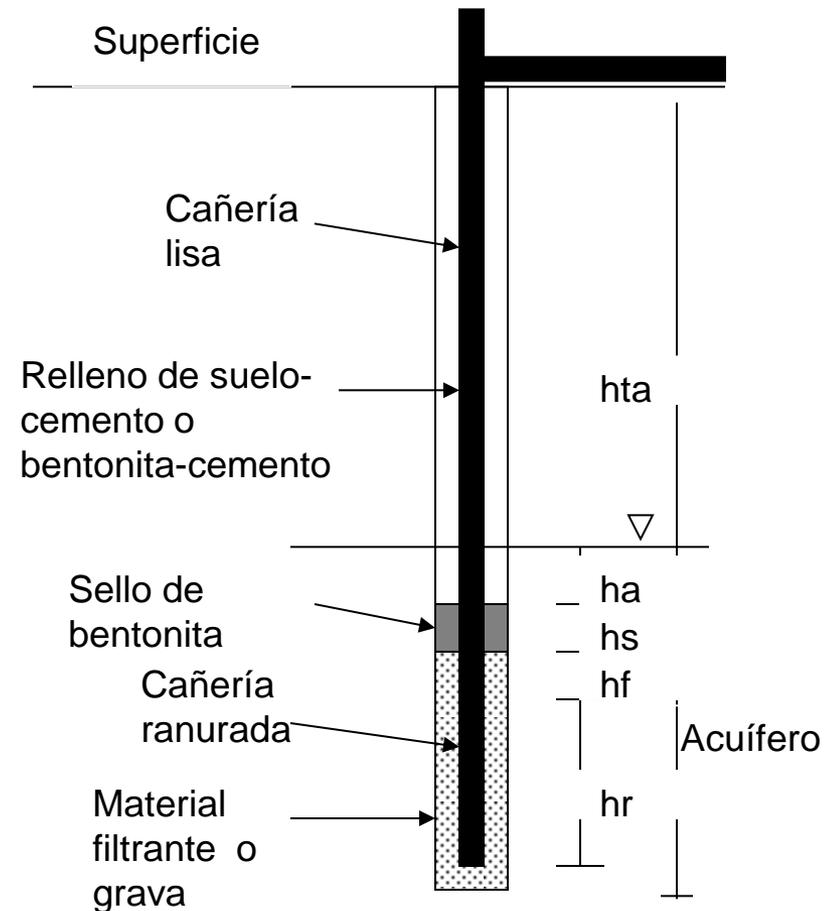
## Objetivo secundario

**Durante el proceso continuo del ensayo piloto se puede determinar la extensión aproximada de la zona de aireación, velocidades de inyección y presiones óptimas y manejo de gases de escape. También sirve para analizar la duración de los transitorios de expansión y contracción en los procesos pulsantes y la incorporación de nutrientes para llevar a cabo la biorremediación.**



**Pozo vertical**

- **Diametro: 5 cm a 10 cm (ver capacidad de trépano)**
- **Diametro agujero: 15 cm a 25 cm (lo fija la capacidad del trépano)**
- **Longitud zona ranurada: 1,5 m (hr)**
- **Profundidad de la parte superior de la zona ranurada: 2 m por debajo de la superficie de la napa de agua (ha).**
- **Caudal de aire: 0,5 m<sup>3</sup>/min**
- **Profundidad del pozo: depende de la profundidad de la napa de agua. En general de 3,5 a 4 m por debajo de la superficie de la napa de agua (hta).**
- **Altura relleno de material filtrante: 30 a 60 cm por encima de la zona ranurada (hf)**
- **Sello de bentonita por encima de la capa filtrante: 0,90 m a 1,5 m (hs)**



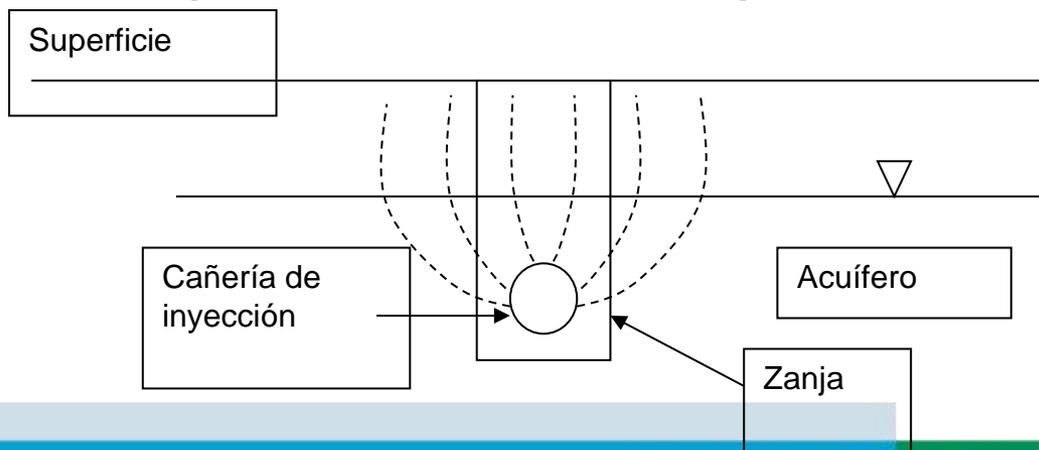
## Pozo horizontal

Se utiliza cuando la napa de agua está muy cercana a la superficie. Consiste en una cañería ranurada colocada en el fondo de una zanja de profundidad adecuada y recubierta con una capa de grava que ayuda a la dispersión del aire. Sobre esta capa se coloca el suelo retirado. También se puede introducir la cañería por medio de una perforadora horizontal pequeña si las condiciones del suelo lo permiten (grava o arena distribuida uniformemente en una capa horizontal).

El diámetro del caño es de 5,1 cm o mayor, con ranuras continuas (es adecuado un caño de PVC para drenajes).

El ancho de la zanja es normalmente 50 a 60 cm (hay que tener precaución por los desmoronamientos).

Se debe colocar una capa de base de 10 cm de espesor sobre la que apoya el caño.



### Diseño del pozo de extracción

Es similar a los pozos de inyección. La única diferencia con los mismos es el sentido de circulación de los gases y que no alcanza la zona saturada ni el agua subterránea. La zona ranurada puede ser más extensa que en el caso de inyección. Se le puede colocar una entrada para muestreo de gases de salida en la cabeza del pozo.

### Diseño de los pozos de monitoreo

Los pozos de monitoreo se deben ubicar en dirección radial cada 1,5 m desde el pozo de inyección. Estos tienen unas dimensiones inferiores al pozo de inyección. Se colocarán 5 pozos.

Diametro: 1,9 cm a 5,10 cm (ver capacidad de trépano).

Diametro agujero: 5,7 cm a 15 cm (fija la capacidad del trépano).

Longitud zona ranurada: < 0,3 m.

Profundidad del pozo: dependerá de la profundidad del acuífero.

Altura relleno de material filtrante: 30 cm por encima de la zona ranurada.

Sello de bentonita por encima de la capa filtrante: 90 cm mínimo.



# Disposición en campo Ensayo piloto

