



Descontaminación del suelo

Master en Ingeniería del Medio Ambiente Módulo Suelos

Carlos Dorronsoro Fernández
Dpto Edafología y Química Agrícola
Facultad de Ciencias. Universidad de Granada
efdorron@ugr.es
<http://edafologia.ugr.es>
<http://www.edafologia.net>



Descontaminación del suelo

Técnicas de anulación

- 1 Introducción
- 2 Técnicas de anulación del suelo
- 3 Técnicas físicas y químicas
- 4 Técnicas biológicas
- Casos prácticos



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Técnicas de anulación del suelo

- almacenamiento
- protección superficial
- pantallas de aislamiento
- sellado in situ
- solidificación/estabilización
- vitrificación
- incineración
- pirolisis

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis

Técnicas de anulación

Solidificación/estabilización (S/S)

(solidification/stabilization)

- Descripción**
 Inmovilización con agentes aglomerantes químicos (estabilización) o cementantes físicos (solidificación).

 Materiales: cemento, asfalto, polietileno extruído, silicatos, parafinas, resinas plásticas, yesos, ...
- Localización** In situ y ex situ.

Inmovilización de los contaminantes dentro del suelo por procesos físicos y químicos.

Se suelen considerar términos similares, pero estrictamente hablando se debería considerar que:

La estabilización es la unión a agentes químicos para reducir movilidad sin transformar al contaminante, no varía su toxicidad. La estructura del suelo queda parcialmente conservada (es pues un proceso químico).

Solidificación el agente solidificante no reacciona con contaminante, lo aglomera, lo recubre, lo bloquea, actúa o localmente de modo disperso o, más frecuentemente, formando un bloque compacto (es pues un proceso típicamente físico).

En vez de remover los contaminantes como hacen otras técnicas la S/S los incluye en un medio que los hospeda. Se busca inmovilizar a los contaminantes (reducir su movilidad y solubilidad y por ello su toxicidad).

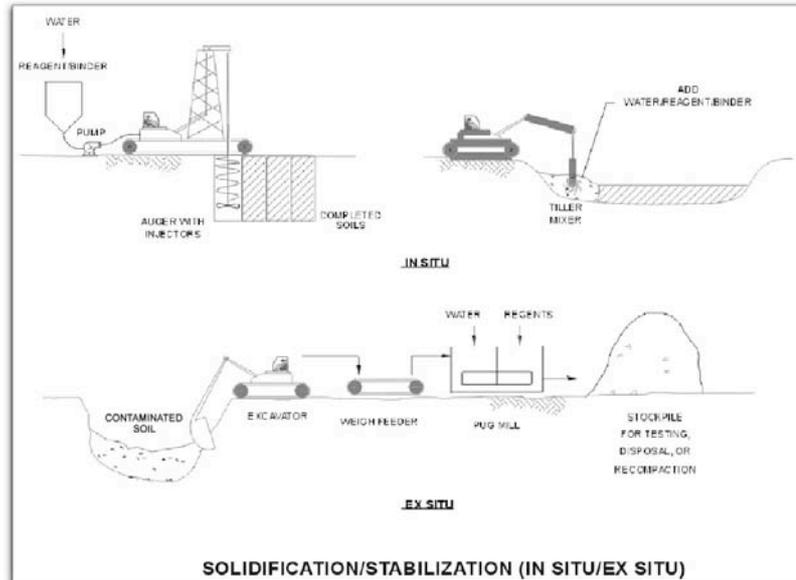
Pueden producirse simultáneamente los dos procesos.

Ambos procesos necesitan añadir (y mezclar) un agente externo con el suelo. Los materiales más frecuentes son:



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación



In situ y ex situ.

In situ, el agente S/S se inyecta en el suelo con una maquina perforadora/mezcladora que a su vez lo mezcla.

Ex situ, el suelo se excava y se introduce en una mezcladora a la que se le añade el agente S/S.



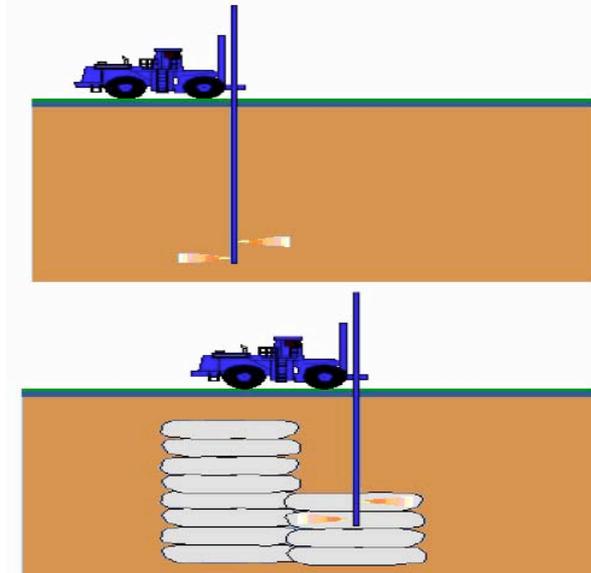
In situ, inyección del agente por perforadora que lo mezcla con el suelo en un radio de 2 a 3 m.

En la implementación de esta tecnología influye decisivamente las propiedades físicas de los suelos. La porosidad y la permeabilidad van a regular la facilidad de penetración de la lechada y el grado de mezcla alcanzado. Además del volumen total de la porosidad es importante también el tamaño de los poros que va a determinar el tamaño de las partículas del agente S/S de la lechada.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación



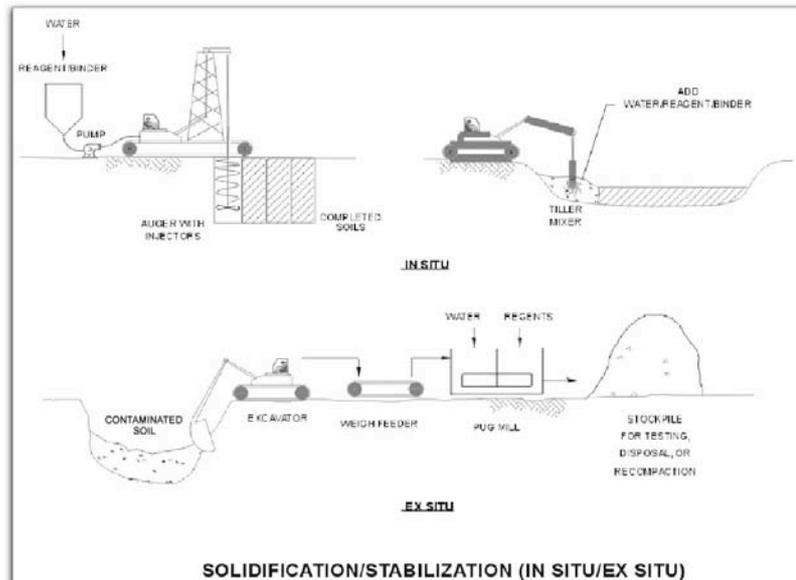
<http://www2.bren.ucsb.edu/>

Con sucesivas perforaciones se va estabilizando toda la mancha de suelo contaminado.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación



El procedimiento ex situ requiere excavación previa y puede ser realizado on site y off site.

Normalmente se realiza un tratamiento previo del suelo para su clasificación por tamaño de partículas. Para ello se utiliza la vibración y tamizado. Los fragmentos gruesos se limpian y pueden ser vendidos.

El resto del suelo es introducido en una planta mezcladora, se le añade el agente S/S (una dosis frecuente es un 6% de cemento), se mezcla intensamente y se coloca en unos montones para el tiempo de curación, comprobación y finalmente se puede verter en el hueco excavado.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis

Técnicas de anulación

- Aplicaciones y ventajas**
 - ⊙ Inorgánicos, metales pesados, radioisótopos y con baja presencia de contaminantes orgánicos.
 - ⊙ Características del suelo tratado

- Limitaciones e inconvenientes**
 - ⊙ No modifica toxicidad
 - ⊙ Aumento de volumen
 - ⊙ No válido para SVOCs, VOCs, ni pesticidas

- Tiempo** De corto a medio plazo.

- Costes** De costes bajos.

Técnicas muy efectivas para contaminantes inorgánicos, metales pesados, radioisótopos y con baja presencia de contaminantes orgánicos y se va volviendo cada vez menos utilizable conforme van aumentando los contaminantes orgánicos.

El suelo tratado se transforma en un material muy estable, no peligroso y con mínima liberación de lixiviados, que incluso admite reutilizaciones ingenieriles (pavimentos).

No modifica la toxicidad ni la movilidad de los contaminantes en sí mismos, solamente evita su migración.

Bastante utilizada (en un 24% de los sitios Superfund USA).

Un problema de esta técnica es que supone una considerable AUMENTO DE VOLUMEN (del orden del 50%) por lo que si se utiliza el procedimiento ex situ el material tratado no cabe en el hueco excavado.

Otra limitación la representa la profundidad a la cual puede hacerse la remediación in situ.

La presencia de compuestos orgánicos semivolátiles y pesticidas puede inhibir tanto las reacciones químicas de estabilización como las uniones físicas de los agentes solidificantes.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

❑ Un caso práctico

Situación inicial

Localización. Massachusetts





Localización



La Massachusetts Military Reservation (MMR), dispone de un campo de entrenamiento y ensayos de casi 9 millones de hectáreas. En 1989 la EPA visita la zona y establece 78 zonas altamente contaminadas. La mayoría de ellas con graves concentraciones de metales pesados, especialmente plomo. Se calcula que en cada uno de los campos de tiro se almacenan más de 5 tn de Pb cada año. En 1998 se comienza la recuperación de la zona con la estabilización de los 16 campos de tiro.

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis

Técnicas de anulación

Situación inicial

Localización. Massachusetts Military Reservation, Training Range and Impact Area, Cape Cod, (USA)

Origen de la contaminación. Campo de entrenamiento y ensayos de casi 9 millones de hectáreas. En 1989 la EPA visita la zona y establece 78 zonas altamente contaminadas. febrero de 1998 se comienza la recuperación de la zona con el tratamiento de los 16 campos de tiro.

Contaminantes. Metales pesados, especialmente Pb en concentraciones que superaban los 12.200 mg/kg y con valores en lixiviados (procedimiento TCLP)* tan altos como 734 mg/L. Las concentraciones máximas de otros metales fueron de: 191 de Cu, 78 de Ni y 60 mg/kg para el Sb.

Área contaminada. Sin cuantificar la superficie tratada.

*TCLP = Toxicity Characteristic Leaching Procedure

TCLP = (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) de la EPA. 5 mg/L para el Pb

Pb: valores normales en suelos, 10 a 50 mg/kg;

NIVELES DE INTERVENCIÓN: agrícola 500; parques y espacios libres, 1.000; industrial 2.000 mg/kg.

Cu, Nivel intervención parques 500.

Las balas de los fusiles utilizadas para los entrenamiento del ejército americano en estos campos de tiro tenían el núcleo de plomo y una camisa externa compuesta por una aleación de Pb, Cu, Fe, Sb y Ni.



almacenamiento
solidific/estabiliz

protección sup.
vitrificación

pantallas
incineración

sellado
pirólisis

Técnicas de anulación

Tratamiento

Procedimiento.

EPA prueba un reactivo comercial: el MAECTITE® para S/S in situ y ex situ los suelos contaminados por Pb



500-Ton-Per-Day MAECTITE® Processing System

En los polígonos de tiro en los que eran observables restos de proyectiles se excavaron para su tratamiento ex situ, mientras que en los que no se observaban restos de balas se hizo el test TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) y si superaba los 5,0 mg/L se trataron in situ.

Se utilizó un reactivo comercial llamado MAECTITE®. Es un reactivo químico que reacciona con el Pb y otros metales pesados de los suelos contaminados precipitando unos cristales sintéticos dentro de la serie isomórfica de la barita (sulfato de bario) y del apatito (fosfato cálcico). Se trata de microcristales muy estables, muy resistentes a la meteorización y muy insolubles. Son microcristales independientes unos de otros, no forman agregados, el suelo no destruye su estructura, no se forma un bloque monolítico como ocurre con otras técnicas.

Para el procedimiento ex situ se usó el proceso on site. Después de la excavación del suelo se separan las balas (y se reciclan) y se procede a un proceso de clasificación por tamaños. A las fracciones separadas se le añadió Maectite en spray y agua en un mezclador, tras mezclar el suelo con Maectite se amontona y se deja curar y se analiza frente al test TCLP y si es < 5mg/L se vierte nuevamente en los polígonos de tiro y cuando las concentraciones de Pb en el lixiviado son más altas se repite el tratamiento las veces necesarias.

De esta manera se trataron 3.600 m³ de suelo que fueron introducidos en 56 recipientes, con capacidad para 500 tn de suelo.

Dosis normal de MAECTITE® < 10%

Tiempo de curado 4 horas. Aumento de volumen < 5%

Temperatura del proceso la ambiental. El pH del suelo no afecta a la cristalización del Maectite.

In situ resulta un proceso más problemático por la dificultad de mezclar íntimamente el Maectite con el suelo. Hay que añadir Maectite con agua para inyectarlo en el suelo; siendo necesario mezclar con una maquina, por tanto el espesor del tratamiento es limitado (normalmente 1/2 metro pero puede llegar a los 5m).

Este proceso se realizó en 12 de los campos de tiro: Ranges A a D, G a K, y N a P. Se trabajó normalmente entre 20 y 60 cm, alcanzándose un máximo de 5,5 m.

MAECTITE es distribuido por: Severson Environmental Services, Inc. 9245 Calumet Avenue, Suite 101 Munster, IN 219/836-0116, USA

	almacenamiento	protección sup.	pantallas	sellado
	solidific/estabiliz	vitrificación	incineración	pirolisis

Tratamiento

Técnicas de anulación

Total de suelo S/S . 17.700 m³ de suelo;
13.600 m³ *ex situ* (23.357 tn) y 4.100 m³ *in situ*.

Características del suelo tratado. Textura arenosa. pH 6,5 - 5,0.

Duración de la operación. 6 meses.

Costes. 3.500.000\$.

Con un coste unitario de 197 \$ por m³ de suelo.

13.600 m³ *ex situ* equivalen a unos 900 camiones con un trailer bañera media

4.100 m³ equivalen a una excavación de una superficie aproximada a medio campo de fútbol (media hectárea) y excavado 1 m de profundidad.

El suelo era altamente poroso, y por tanto muy permeable, y debajo de él se encontraba un acuífero del que se captaba agua mediante pozos en diversos puntos de la zona para utilizar como agua de bebida para los residentes de Cape Cod, por lo que la situación era altamente peligrosa.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Resultado final

Objetivos. < 5,0 mg/L de Pb segúnTCLP

Resultados. Tratamiento in situ.



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Sitio	Pb total mg/kg, antes	Pb TCLP mg/L, antes
B	11.546	734,1
G	12.200	525,0
H	4.063	474,6
I	9.589	325,3
K	4.450	315,0
J	5.090	251,0
D	5.003	250,3
O	2.392	126,0
A	2.119	84,3
C	1.340	67,1
N	2,763	43,8
P	1.190	32,8
E	291	6,2
SE	148	3,4
KD	130	3,1
SW	2.607	1,0

In situ,

TCLP = (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) de la EPA. 5 mg/L para el Pb

Pb, Niveles de intervención: parques y espacios libres, 1.000;

Las cifras representan los máximos valores en cada sitio.

Los análisis corresponden a 1.125 muestras en total antes del tratamiento.

Técnicas de anulación	almacenamiento protección sup. pantallas sellado solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis		
	Sitio	Pb total mg/kg, antes	Pb TCLP mg/L, antes
B	11.546	734,1	< 0,5
G	12.200	525,0	0,53
H	4.063	474,6	< 0,5
I	9.589	325,3	< 0,5
K	4.450	315,0	< 0,5
J	5.090	251,0	< 0,5
D	5.003	250,3	< 0,5
O	2.392	126,0	< 0,5
A	2.119	84,3	< 0,5
C	1.340	67,1	< 0,5
N	2,763	43,8	< 0,5
P	1.190	32,8	< 0,5
E	291	6,2	< 0,5
SE	148	3,4	< 0,5
KD	130	3,1	< 0,5
SW	2.607	1,0	< 0,5

In situ, 97% claramente por debajo del límite (5 mg/L Pb, TCLP).

TCLP = (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) de la EPA. 5 mg/L para el Pb

Pb, Niveles de intervención: parques y espacios libres, 1.000;

Las cifras representan los máximos valores en cada sitio

Los análisis corresponden a 160 después del tratamiento. Los valores totales de Pb en las muestras de después del tratamiento oscilaron entre un mínimo de 50 y un máximo de 1.372 mg/kg (teóricamente el Pb no se destruye con este tratamiento, por lo que los valores totales iniciales y finales deben ser parecidos, lo que si tiene que producirse en las muestras tratadas un intensa estabilización/insolubilidad, por lo que las concentraciones de Pb con el test LCPL han de ser mínimas).



almacenamiento protección sup. pantallas sellado
 solidific/estabiliz vitrificación incineración pirolisis

Técnicas de anulación

Resultado final

Objetivos. < 5,0 mg/L Pb según TCLP

Resultados.

Tratamiento in situ. 97% por debajo del límite

Tratamiento ex situ. El 96% por debajo del límite

Table 2. Performance Data for *Ex situ* Treatment of Soils by MAECTITE®

Batch ID (TSP-)	TCLP Leachable Lead (mg/L)	Total Lead (mg/kg)
02 - 05, 07 - 35, 37 - 56	<0.5	<50 to 2,839
01	0.316	1,600
06	0.784	1,985.8
36	1.615	309.8

Concentraciones después del tratamiento

TCLP de la EPA. 5 mg/L para el Pb

El 96% de las muestras cumplieron con los objetivos fijados y no hubo que repetir tratamiento en ningún caso.

Pb, Niveles de intervención: parques y espacios libres, 1.000;

Aunque en este ejemplo se ha tratado fundamentalmente de contaminación por Pb, Maectite ha dado también buenos resultados para inmovilizar arsénico y otros metales como bario, cadmio, níquel, cromo, selenio y cobre, así como elementos radioactivos como el uranio, radio, torio y cesio.

Hasta el año 1999 se habían tratado con éxito 540.000 tn. In situ y ex situ se ha aplicado en 25 estados de USA y también en Canadá, Italia y México.