



Descontaminación de suelos

Master en Ingeniería del Medio Ambiente Módulo Suelos

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



Descontaminación de suelos

Programa general

1 Introducción

2 Técnicas de anulación del suelo

3 Técnicas físicas y químicas

4 Técnicas biológicas

Casos prácticos

En cada una de las técnicas se mostrarán una serie de casos prácticos.



Técnicas físicas y químicas de descontaminación del suelo

Programa general

- arrastre
- lavado
- extracción química
- oxidación/reducción
- deshalogenación
- tratamiento electroquímico
- desorción térmica



Casos prácticos



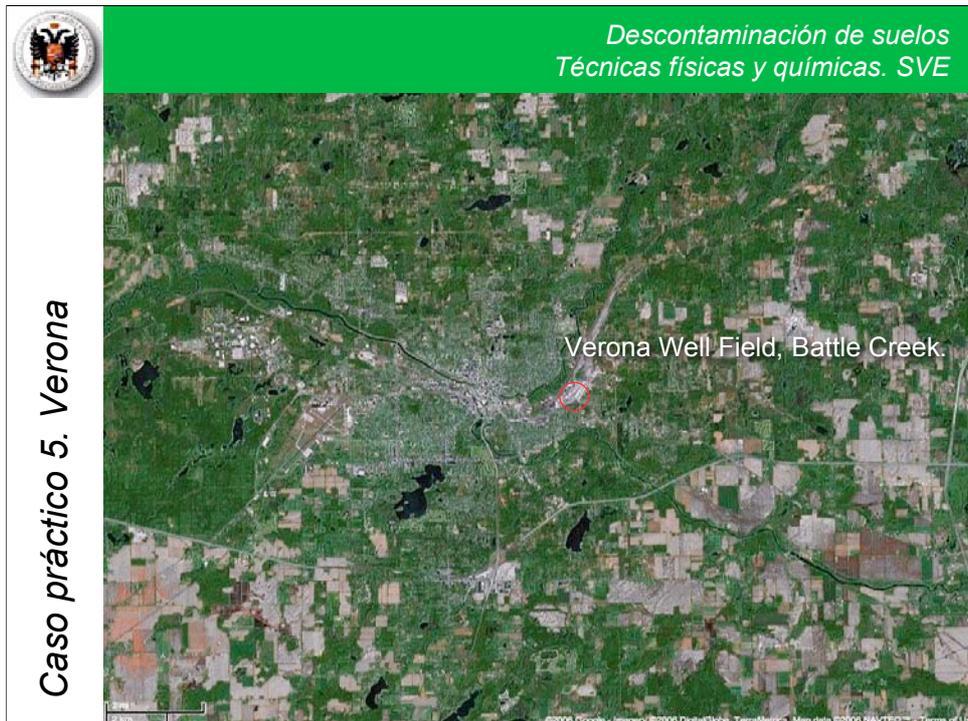


Situación inicial

Localización. Michigan (USA).

Caso práctico 5. Verona





Localización. Verona Well Field, Battle Creek, Thomas Solvent Raymond Road. Michigan

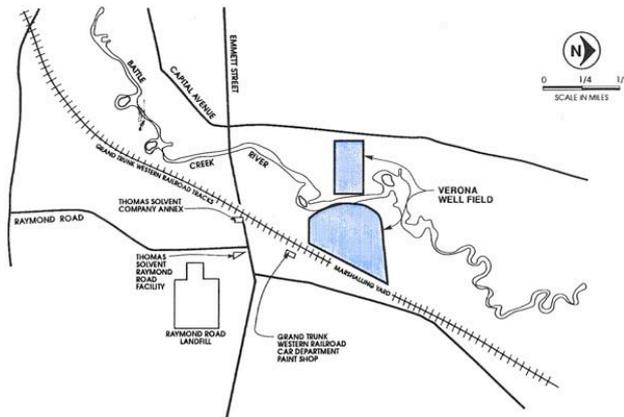


Situación inicial

Localización. Thomas Solvent Raymond Road.
Verona Well Field, Battle Creek.

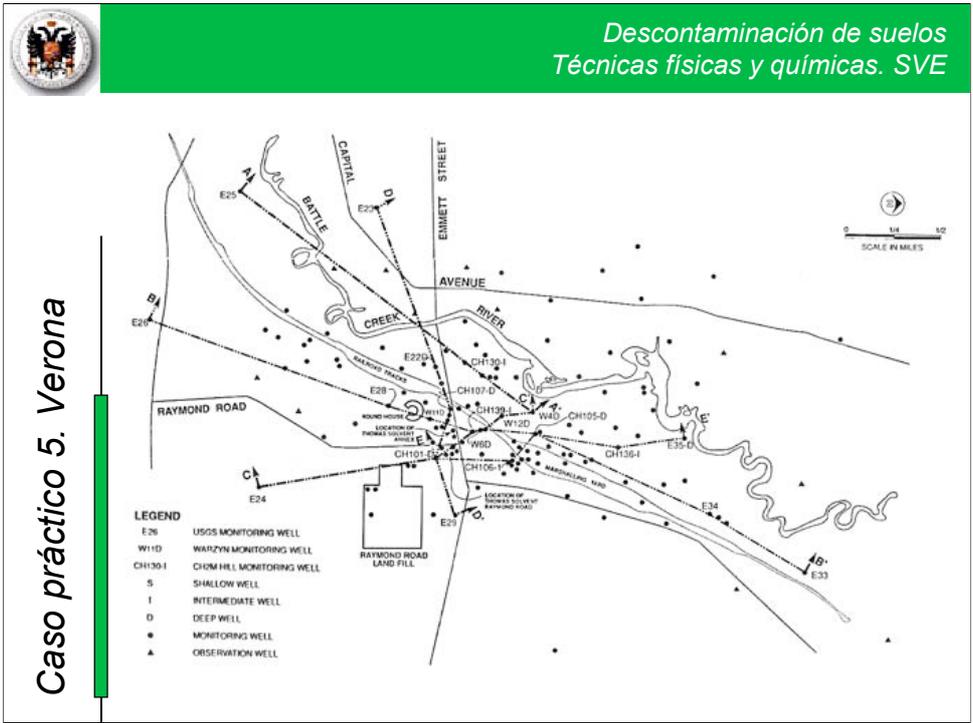
Origen de la contaminación.

Caso práctico 5. Verona

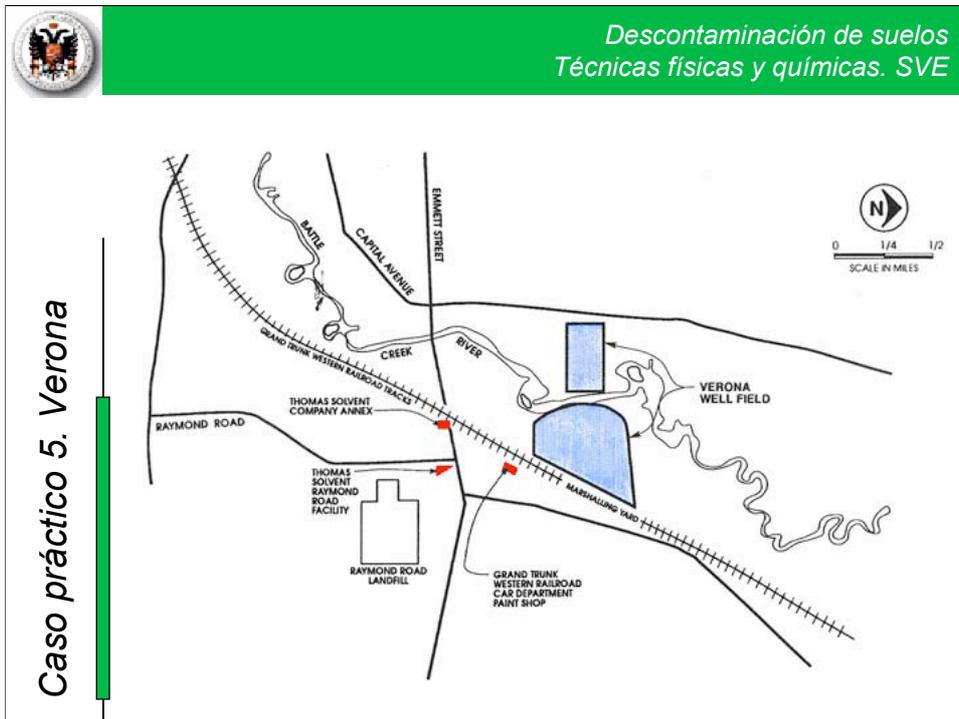


En el Verona Well Field se encuentran los pozos para el abastecimiento de agua a la población de Battle Creek (36.000 habitantes), Michigan.

Una inspección rutinaria en agosto de 1891 puso de manifiesto que existía contaminación por VOC en 10 de los 30 pozos de extracción, el consiguiente seguimiento detectó en 1984 contaminación en 27 de los 30 pozos. Inmediatamente se precintaron las captaciones y se procedió a la distribución masiva de agua embotellada mientras se realizó unas nuevas captaciones de agua en otras zonas no contaminadas para el abastecimiento de la población.



Se hizo un muestreo sistemático para determinar el origen de la contaminación



Se identificaron tres áreas como fuentes de contaminación: the Thomas Solvent Raymond Road (TSRR) área, the Thomas Solvent Annex (TSA), and the Grand Trunk Western Railroad (GTWRR) Facility.

-La Thomas Solvent Raymond Road se dedicaba a la fabricación, manipulación y empaquetado de disolventes.

-La Thomas Solvent Annex se dedica al almacenaje de los disolventes.

-Y la Grand Trunk Western Railroad era un taller de pintura para coches, con la utilización de numerosos disolventes, decapantes y pinturas.

La Thomas Solvent Raymond Road era la principal causante de la contaminación. Trabajaba en la mezcla, empaquetado y almacenamiento de disolventes industriales desde 1935 hasta 1984, en que se declara en quiebra y cesan sus actividades. Durante este tiempo manipula ingentes cantidades de disolventes clorurados y no clorurados y también diesel y produce innumerables vertidos y derrames. Llegó a tener 21 depósitos enterrados con capacidades desde 15.000 a 60.000 litros

(Dock = muelle)



Situación inicial

Caso práctico 5. Verona

Localización. Thomas Solvent Raymond Road. Verona Well Field, Battle Creek, Michigan

Origen de la contaminación. En el Verona Well Field se encuentran los pozos para el abastecimiento de agua a la población de Battle Creek, Michigan.

Una inspección rutinaria en agosto de 1891 puso de manifiesto que existía contaminación por VOC e 10 de los 30 pozos de extracción, el consiguiente seguimiento detectó en 1984 contaminación en 27 de los 30 pozos.

Contaminantes. VOC, principalmente PCE, TCE, 1,1,1-tricloroetano y tolueno.

Área contaminada. 4.000 m².



Tratamiento

Caso práctico 5. Verona

Técnica. Arrastre de vapores in situ mediante vacío.

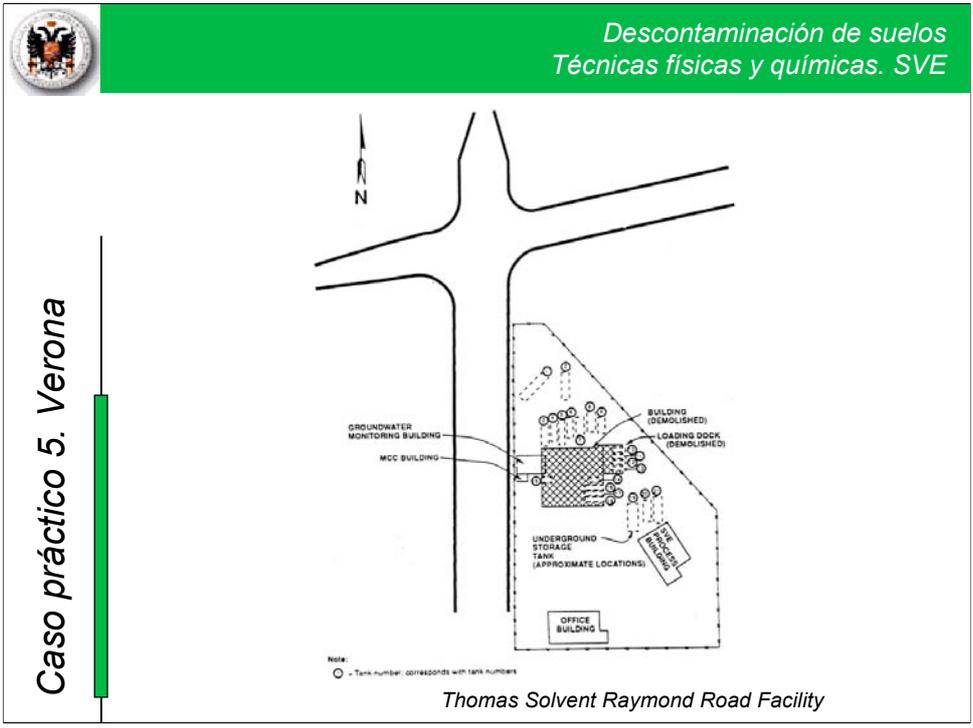
Procedimiento. En 1983 la EPA incluye este sitio en su listado de prioridades nacionales (Superfund Site). ROD en 1985.

Remedial investigation.

1983-1987. Delimitación de la contaminación. Tres fases.

Fase I. 1984.

Demolición de los edificios contaminados y retirada de tanques de almacenamiento.



Demolición de edificios contaminados y retirada de depósitos subterráneos en la Thomas Raymond Road Facility.



Tratamiento

Caso práctico 5. Verona

Remedial investigation.

1983-1987. Delimitación de la contaminación. Tres fases.

Fase I. 1984.

- Demolición de edificios contaminados, retirada de tanques.
- Toma de muestras y análisis.

Fase II. 1984-1985.

- Ensayo piloto equipo SVE para control de variables.
- Instalación de 14 pozos de extracción. Extracción del gas de los suelos y análisis de los VOCs y SVOCs.

Excavación de 37 pozos para muestreo. Toma de muestras (de 1 a 1,2 metros de prof.) y análisis de las características de los suelos y estudio de los contaminantes.

Ensayo piloto

Control de variables: flujos de extracción de gases, concentraciones extraídas, permeabilidad del suelo, distancia entre pozos, etc.

Duración 15 días con un total de 69 horas de funcionamiento.

4 pozos a 1.700 -4.700 L/m y 8-10 cm de Hg

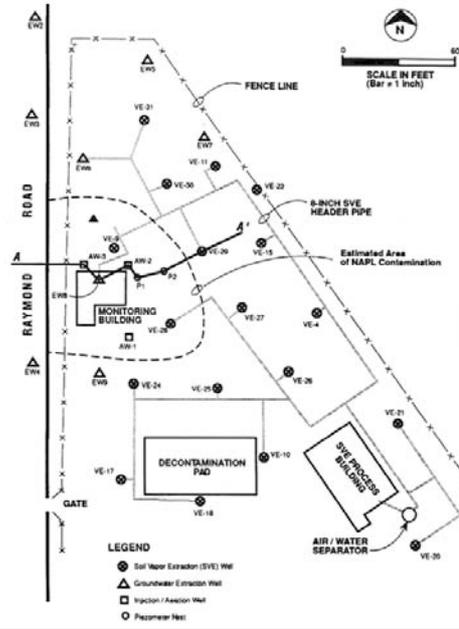
Total VOC extraídos: 1.300 kg a unas concentraciones de 2 a 204 mg/L

El radio de influencia de los pozos fue de 15 metros



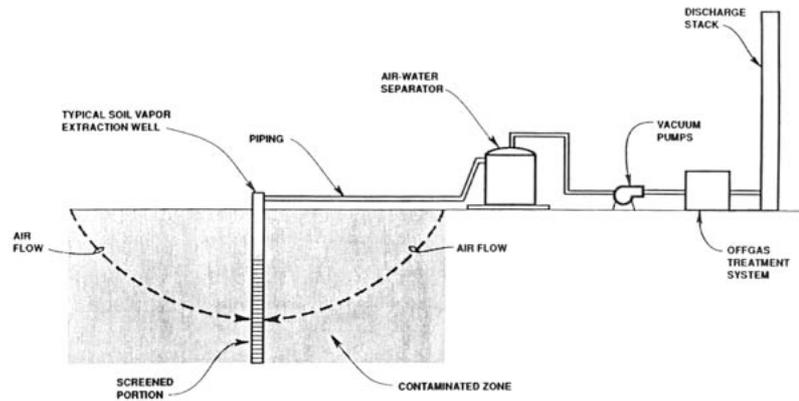
Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 5. Verona





Caso práctico 5. Verona



Schematic of Soil Vapor Extraction System

Los pozos eran de PVC y tenían un diámetro de 5 a 10 cm.

La zona de extracción iba desde 1,5 m de la superficie hasta 1 m por encima del nivel freático (que estaba a unos 8 metros por debajo de la superficie del terreno)

El sistema SVE constaba de un separador de aire/líquidos, equipos depuradores de gases y dos bombas de vacío.



Caso práctico 5. Verona



Two 2,000-pound liquid-phase granular activated carbon units.

Para el tratamiento de los gases extraídos se instaló un sistema de adsorción por carbón, consistente en dos series de cuatro recipientes de 450 kg de carbón granulado. Este sistema se eligió en base a las bajas concentraciones de VOCs arrastradas en el ensayo piloto. Si embargo en la remediación se encontró unas concentraciones mucho más altas del orden de 25 veces lo que provocaba que los bidones de carbón debían ser regenerados con mucha frecuencia. Por esto el equipo de adsorción por carbón fue reemplazado a los dos años por un sistema de oxidación catalítica muy efectivo pero de más alto costo. En las fases finales (cuatro últimos meses), cuando ya el arrastre de los gases era de baja concentración se volvió a instalar el primitivo sistema de adsorción por carbón.

2.000 pounds = 907 kg



Tratamiento

Caso práctico 5. Verona

Remedial investigation.

1983-1987. Delimitación de la contaminación. Tres fases.

Fase I. 1984-1984.

⊙ Demolición de los edificios contaminados y retirada de tanques.

⊙ Excavación de 37 pozos, toma de muestras y análisis.

Fase II. 1984-1985.

⊙ Ensayo piloto

⊙ Instalación de 14 pozos de extracción. Extracción del gas de los suelos y análisis de los VOCs y SVOCs.

Fase III. 1986-1987.

⊙ Excavación de nuevos pozos y muestreo del suelos a diferentes profundidades. Ampliación de los análisis para detectar pesticidas, PCBs y metales pesados.



Tratamiento

Caso práctico 5. Verona

Características del suelo.

Soil Type	%
Gravel	5.70%
Coarse Sand	4.00%
Medium Sand	21.50%
Fine Sand	64.20%
Silt and Clay	4.60%

Parameter	Value
Moisture Content	5%
Air Permeability	10 cm/sec
Porosity	30-40%
Hydraulic Conductivity	0.0025 cm/sec



Tratamiento

Caso práctico 5. Verona

Técnica. Arrastre de vapores in situ mediante vacío.

Características del suelo. Arenoso y permeables

Total de suelo tratado. 20.500 m³ de suelo tratado.

Duración de la operación. 4 1/2 años.

20.500m³ equivalen a la tierra que almacenan 1.400 camiones, que colocado en fila ocuparían unos 8 km, o a un volumen excavado equivalente a un campo de fútbol excavado a 2 metros de profundidad.



Resultado final

Caso práctico 5. Verona

Resultados

Objetivos:

1º VOCs < 10 mg/kg; todas

2º VOCs >1 mg/kg; < 15% de las muestras

1º ninguna de las muestras de suelos tratados puede tener una concentración de VOCs superior a 10 mg/kg;

2º menos de un 15% de las muestras pueden contener VOCs por encima de 1 mg/kg.



Descontaminación de suelos Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 5. Verona

Table 7. Analytical Results of Soil Sampling at the TSRR Source

Constituent	Soil Cleanup Standard (mg/kg)	Untreated Soil (mg/kg) (Maximum)	Treated Soil (mg/kg) (Range)	Number of Detects	Number of Detects Greater than Cleanup Standard	Efectividad
Acetone	14	130	ND to 0.18	13	0	> 99.86%
Benzene	0.02	NA	ND to 0.001	24	0	--
2-Butanone	8	17	ND to 0.018	3	0	> 99.89%
Carbon Disulfide	14	NA	ND to 0.002	4	0	--
Carbon Tetrachloride	0.01	NA	ND	0	0	--
Chloroform	0.12	2	ND to 0.007	8	0	> 99.65%
Chloromethane	0.06	NA	0.007	1	0	--
1,1-Dichloroethane	0.02	NA	ND	0	0	--
1,2-Dichloroethane	0.01	27	ND to 0.005	4	0	> 99.98%
1,1-Dichloroethene	0.01	NA	ND	0	0	--
1,2-Dichloroethene (total)	2	NA	ND to 0.006	14	0	--
cis-1,3-Dichloropropene	0.004	NA	0.002	1	0	--
Ethylbenzene	1.4	78	ND to 0.004	4	0	> 99.99%
Methylene chloride	0.1	60	0.002	1	0	100%
Tetrachloroethene	0.014	1800	ND to 0.711	70	20	> 99.96%
Toluene	16	730	ND to 0.073	16	0	> 99.99%
1,1,1-Trichloroethane	4	270	ND to 0.004	18	0	100%
Trichloroethene	0.06	550	ND to 0.047	38	0	> 99.99%
Xylenes (total)	6	420	ND to 0.018	4	0	100%
<i>ND - Not Detected</i>						
Total BTEX	23	1.128	ND to 0,096			100%

Carbon disulfide = sulfuro de carbono

carbon tetrachloride = tetracloruro de carbono

Dichloroethene= dicloroetileno (dicloroeteno)

La tabla resume los valores de los distintos contaminantes en el suelo no tratado y en el suelo tratado (rango de concentraciones para 115 muestras) para el área Thomas Solvent Raymond Road. Además se indica los valores máximos permitidos que constituyen el objetivo de la limpieza, el número de muestras en los que se detectó una determinada cantidad de contaminante (es decir que no dió indetectado) y el número de casos en los que se superó los niveles máximos permitidos.

Los resultados cumplen los dos objetivos principales propuestos para este sitio por el SVE. La eficacia para los diferentes contaminantes fué siempre superior al 99,6%.



Caso práctico 5. Verona

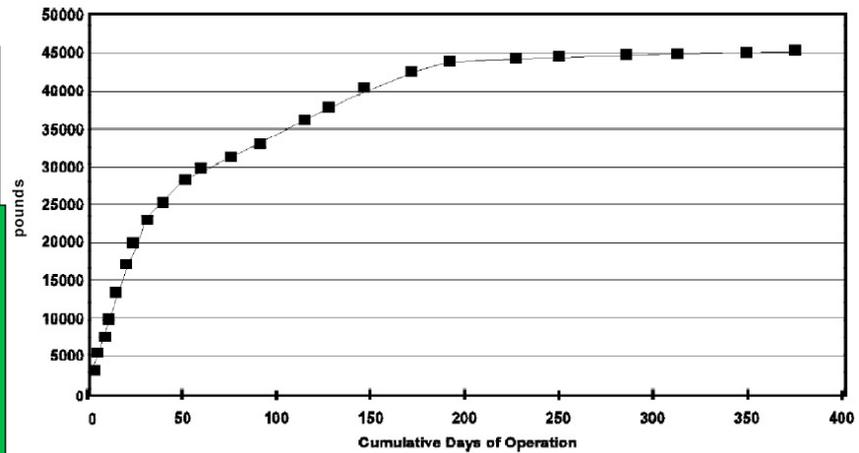


Figure 11. Total VOCs Removed Through Soil Vapor Extraction

En esta gráfica se representa en forma acumulativa la masa total de VOCs extraídos.

La figura muestra que después de 375 días de operación se extrajeron un total de 45.000 libras de VOCs (20.400 kg).



Resultado final

Caso práctico 5. Verona

Resultados.

Total de contaminantes 7,5 tn de VOCs extraídos de los suelos contaminados.

Costes. Total \$1.645.281. Coste unitario, 81 \$/m³ y 82 \$/kg.



Situación inicial

Localización. Hastings, Nebraska (USA).

Caso práctico 6. Hastings





La ciudad de Hastings se encuentra en la parte centro/sur del Estado de Nebraska. Pertenece a la Central Loess Plains section of the Great Plains. El relieve es muy llano. Los suelos son profundos, fértiles, formados a partir de loess calcáreo y arenas eólicas. Predominan los Chernozems y los Kastanozems.

La ciudad de Hastings es el centro de un entorno agrícola, industrial y comercial. La población es de unos 23.000 habitantes. La agricultura es fundamentalmente de cereales y también importante es la ganadería. Más del 75% del área está cultivada y sólo el 16% es de bosque. La carencia estacional de lluvias obliga a utilizar el agua subterráneas mediante profundos pozos. Alrededor del 25% de la agricultura es de regadío.



Como consecuencia de una denuncia de la calidad de agua de consumo por un habitante. El Departamento de Salud del Estado de Nebraska realiza una inspección (1983) y encuentra que efectivamente en el agua potable de varios pozos de abastecimiento hay concentraciones a niveles tóxicos de varios compuestos VOCs. El Departamento de Salud traslada la situación a la EPA (1985), los inspectores de la EPA realizan una inspección de toda la zona y delimitan seis focos de contaminación e incluye la zona en la Lista Nacional de Prioridades del programa CERCLA (Superfund) (1988).

WELL n° 3 SUBSITE

COLORADO AVENUE SUBSITE

SECOND STREET SUBSITE

NORTH LANDFILL SUBSITE

FAR-MAR-CO SUBSITE

SOUTH LANDFILL SUBSITE



WELL #3 SUBSITE (entre Second Street y Burlington Northern Railroad, en la North Maple Ave; en el oeste de Hastings). Se trata de una estación de suministro público de aguas para la ciudad. Se decomisa por encontrarse tetracloruro de carbono (CCl_4) en las aguas, procedente de la contaminación de almacenes de grano.



COLORADO AVENUE SUBSITE (entre la South Colorado Ave y la South Kansas Ave, al norte de la West South Ave). Fábrica dedicada a equipos de calefacción y aire acondicionado. Contaminación en suelos y aguas de VOCs halogenados.



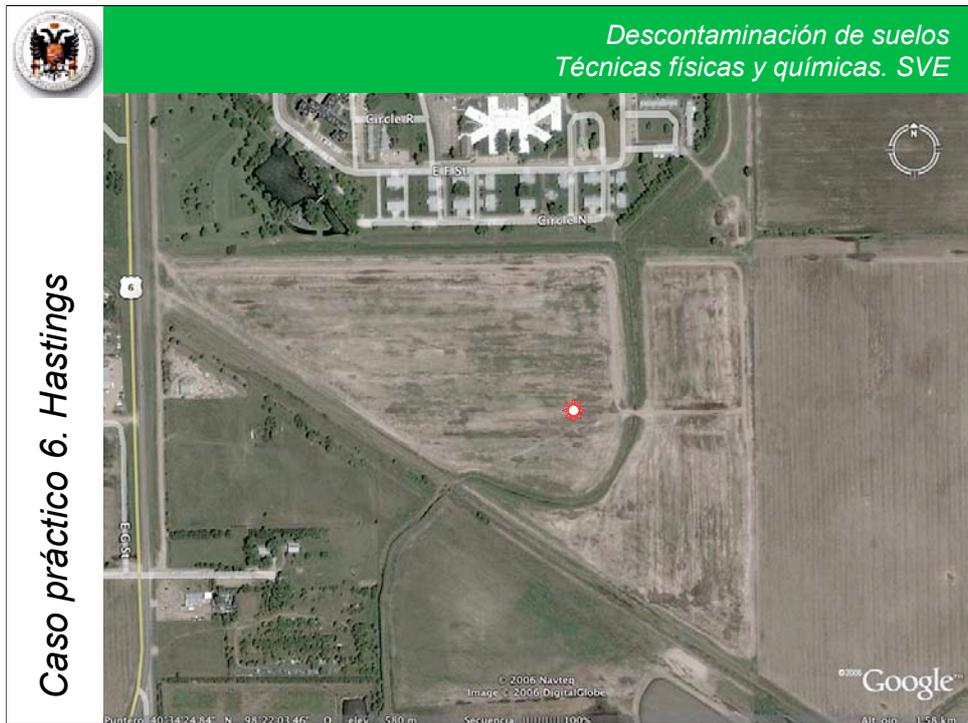
SECOND STREET SUBSITE (en la acera este de la South Minnesota Ave y al norte de la Burlington Northern Railroad). Manufactura de gas ciudad desde 1931 hasta 1984. Contaminación en suelos y aguas de benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, TCE, PCE y PAH (hidrocarburos poliaromáticos).



FAR-MAR-CO SUBSITE (en el límite este de Hastings, en el lado norte de la East South Street; de 28 ha de extensión). Empresa dedicada a la manipulación, empaquetado y almacenamiento de productos agrícolas durante más de 30 años. Contaminación de suelos y aguas fundamentalmente por fumigantes empleados para conservar el grano. CCl_4 , EDB, TCA y VOCs en general.



NORTH LANDFILL SUBSITE (entre la Burlington Northern Railroad al norte y el South Street al sur; ocupa 5,4 ha). Se trata de una primitiva cantera de arcilla y un antiguo tejat de ladrillos que tras el abandono sirvió de vertedero a las industrias de los alrededores. Contaminación por VOCs de las aguas.



SOUTH LANDFILL SUBSITE (Es el terreno triangular) Situado en el borde sureste de Hastings. Borneado por las vías de tren de la Union Pacific Railroad, al sur, el complejo residencial de la tercera edad the Good Samaritan Village al norte y la U. S. Highway 6 al este. También se trata de un lugar donde se extrajeron arcillas y luego se transformo en un vertedero con dos unidades y un foso de drenaje que las separa. Contaminación de VOCs en suelos y aguas.



Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 6. Hastings

Table 2
COCs and Maximum Concentrations

COCs	South Landfill $\mu\text{g/l}$	Well #3 $\mu\text{g/l}$	FAR-MAR-CO $\mu\text{g/l}$	North Landfill $\mu\text{g/l}$	Second Street $\mu\text{g/l}$	Colorado Ave $\mu\text{g/l}$
Benzene	-	-	-	-	25,000	-
CCl_4	-	1,400	2,800	8	-	1
Chloroform	-	120	19	1,900	52	3.6
1,2-DCA	26	110	220	27	1,700	-
1,1-DCA	22	2	220	36	-	360
1,1-DCE	29	150	13	60	-	1,400
Ethyl Benzene	-	-	-	-	19,000	-
Methylene Chloride	-	23	90	150	-	2,200
Styrene	-	-	-	-	12,000	-
PCE	12	200	19	48	530	1,300
TCE	300	990	1,200	2,400	16,000	55,000
Toluene	-	-	-	-	28,000	-
VC	44	-	-	87	-	-
EDB	-	<1	220	8.8	-	-
1,1,1-TCA	11	200	220	99	2,000	2,100
cis 1,2-DCE	340	-	-	650	-	310
trans 1,2-DCE	-	-	41	2,000	-	81
Naphthalene	-	-	-	-	7,900	-
Xylenes	-	-	-	-	11,000	-

www.epa.org

En las seis localidades se desarrolló un estudio previo para evaluar los contaminantes presentes y posteriormente se planificaron técnicas para la descontaminación de los suelos y de las aguas subterráneas. Nosotros nos vamos a centrar en dos de ellas (la Well nº 3 y la Colorado Avenue) porque fueron las que presentaron más alta contaminación en los suelos.



En COLORADO AVENUE SUBSITE (108 S. Colorado Avenue) se encuentra instalada la Marshalltown Instruments Company.

Se dedica a la fabricación de equipos de calefacción y aire acondicionado

Los contaminantes que aparecieron fueron: TCA, TCE y PCE

El suelo debajo de los edificios de esta industria resultó estar fuertemente contaminado. El plan de descontaminación de la EPA manejaba dos alternativas.

- Demolición de los edificios, excavación de los suelos y almacenamiento en un vertedero
- Descontaminación de los suelos in situ sin llevar a cabo demoliciones.

Como primera medida la empresa optó por esta segunda opción.



Estudio piloto. 1989. Comportamiento SVE en el sitio.

Los objetivos del estudio piloto fueron:

- determinar los parámetros a aplicar en la tecnología SVE en Hastings
- comprobar comportamiento del suelo frente a la extracción.
- La tecnología demostró ser viable.



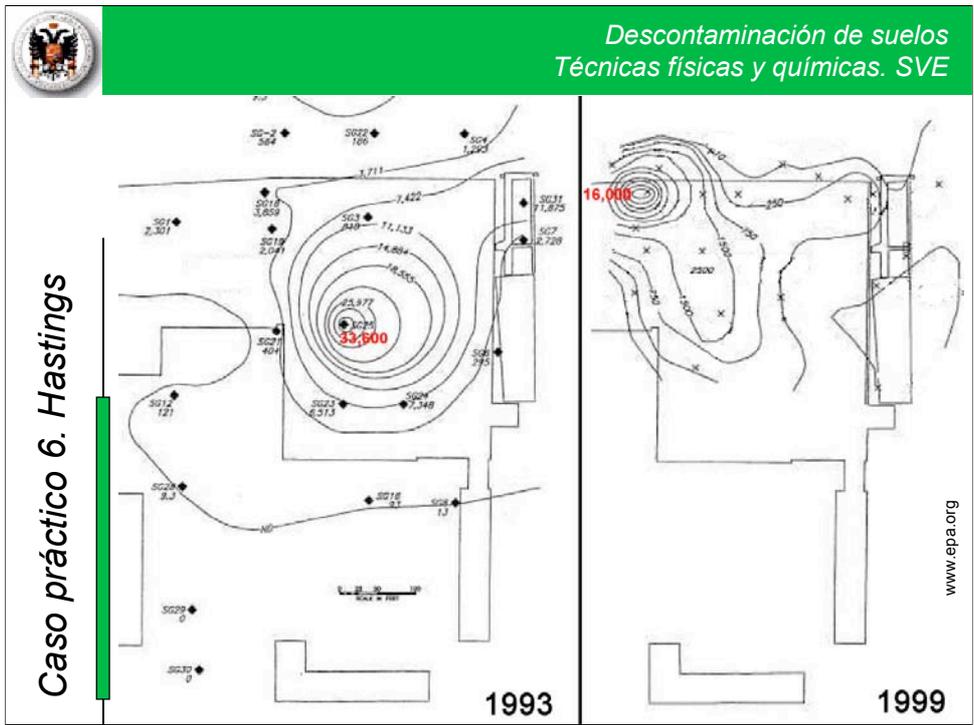
Basados sobre los resultados del estudio piloto, en 1989 se instaló un sistema SVE con 23 pozos de extracción de gases (puntos rojos en la imagen), 11 de ellos situados debajo de los edificios, a una distancia entre los pozos de 30 m.



En 1993 (después de cuatro años de funcionamiento del SVE) la contaminación permanecía altísima (valores permitidos andan alrededor de 1 microgramo/litro). Aquí se representa las isolíneas de las concentraciones de TCE en el gas del suelo. La máxima concentración se presentaba debajo del edificio del este.



Las concentraciones de TCE en el gas del suelo en 1999 seguían siendo muy altas, pero sensiblemente más bajas que en 1993.



Caso práctico 6. Hastings

Comparación de las concentraciones en el gas del suelo debajo del edificio este de la Marshalltown Instruments en 1993 y 1999.

La contaminación va bajando, se va reduciendo su área pero en determinadas zonas sigue siendo altísima. El sistema de extracción continua funcionando hasta hoy.



WELL #3 SUBSITE (entre Second Street y Burlington Northern Railroad, en la North Maple Ave; en el oeste de Hastings). Como ya se vió, se trata de una estación de suministro publico de aguas para la ciudad. Se decomisa por encontrarse tetracloruro de carbono (CCl_4) en las aguas, procedente de la contaminación de almacenes de grano.



Table 2. Particle Size Distribution of Soil Samples
from the Hastings Well Number 3 Subsite

Caso práctico 6. Hastings

Soil Type	Depth	
	20 Feet	100 Feet
Gravel	0.00%	0.00%
Coarse Sand	0.10%	9.30%
Medium Sand	0.00%	8.60%
Fine Sand	1.50%	51.80%
Very Fine Sand	2.00%	23.40%
Silt	73.70%	6.90%
Clay	22.60%	0.035%

www.clu-in.org

Características de los suelos. El superficial netamente limoso con arcilla y el profundo arenoso. En el superficial el sistema SVE puede tener problemas dada la baja permeabilidad que es de esperar presente este suelo, mientras que el profundo deberá tener una permeabilidad muy favorable.

20 feet = 6 metros; 100 feet = 30 metros.



Table 1. Matrix Characteristics

Matrix Characteristic	Value
Moisture Content*	26.3% at 20 feet BGS 5.0% at 100 feet BGS
Air Permeability	1.9 x 10 cm ² (shallow zone)** 6.2 x 10 cm ² (deep zone)**
Organic Carbon*	270 mg/kg at 20 feet <50 mg/kg at 100 feet
Depth to Groundwater	125 feet

*Moisture Content and Total Organic Carbon results are from samples collected from soil boring of extraction well SVE-1D.

**"Shallow zone" is defined as 0-65 feet; the "deep zone" is defined as >65.

www.clu-in.org

Se confirma la baja permeabilidad del suelo superficial, además presenta un cierto contenido en humedad que puede dificultar el arrastre de los vapores a través de los poros del suelo.

BGS, por debajo de la superficie del suelo



Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 6. Hastings

ROD: SVE con ACG



LEYENDA

- SVE-2S Pozo de extracción superficial
- ⊗ SVE-2D Pozo de extracción profundo
- MP-1S Pozo de muestreo superficial
- ⊗ MP-1D Pozo de muestreo profundo
- - - Area contaminada

Ensayo previo

Objetivos

- Delimitación del área
- Excavación de 4 pozos de extracción
- Excavación de 4 pozos para muestreo
- SVE, separador aire/líquido, bomba de vacío, depurador de carbón activo.
- Duración : un mes

Se dicta un ROD (record od decision) en 1989 eligiendo la tecnología SVE (arrastre de vapores mediante vacío) con tratamiento de gases por adsorción de carbón granulado.

Se delimita el área de la contaminación y se realiza un ensayo previo para la obtención de los parámetros de trabajo del sistema SVE definitivo: intensidad de vacío a aplicar, flujo de aire, contaminantes extraídos, concentración del gas extraído, permeabilidad del suelo, radio de influencia de los pozos, rendimientos del equipo de adsorción por carbono granular, tiempo previsible para la limpieza total, estimación de costes, etc.

Para ello se excavan 4 pozos de extracción, dos superficiales (SVE-1S y 2S) y dos profundos (SVE-1D y 2D), junto a otros cuatro para monitoreo (dos superficiales, MP-1S y 2S, y dos profundos, MP-1Dy 2D). El equipo SVE constaba además con el clásico separados aire/líquido, la bomba de vacío y los bidones de carbón activo granulado.

El ensayo piloto estuvo funcionando durante un mes.



Caso práctico 6. Hastings

Operating Parameters for the Pilot-Scale SVE Treatability Study at the Hastings Well Number 3 Subsite

Operational Test	SVE-1D	SVE-2D	SVE-1S	SVE-2S
Step Test (Up) Applied Vacuum at Well Head (in. Hg)	2.85	2.85	3.06	-
	5.30	6.21	6.52	-
	6.92	9.19	9.37	-
	8.55	12.63	12.63	-
	11.41		14.66	-
	11.81		12.02	-
Step Test (Down) Applied Vacuum at Well Head (in. Hg)	10.08	-	13.85	-
	7.33	-	9.17	-
	5.70	-	6.52	-
	3.26	-	3.06	-
Observed Flow Rates at Well (scfm)	65 (min.)	65 (min.)	48 (min.)	-
	205 (max.)	175 (max.)	178 (max.)	-
Duration of Step Test (hours)	30.17	6.17	27.43	-
Steady-State Applied Vacuum at Well Head (in. Hg)	11.8	11.8	11.4	13
Duration of Steady-State Test (hours)	168	48	168	48
Total Operating Time (hours)	198.17	51.17	195.43	48

Condiciones de trabajo del ensayo piloto.



Caso práctico 6. Hastings

	Tetracloruro de carbono $\mu\text{g/L}$	Cloroformo $\mu\text{g/L}$
Pre-test	0,3 - 440	0,01 - 250
Post-test	ND - 2,0	0,002 - 2,0

ND, no detectado

La composición del gas extraído antes y después del ensayo piloto pone de manifiesto la adecuación de esta tecnología para este sitio.



Descontaminación de suelos Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 6. Hastings

Preliminary Design for Full-Scale SVE System at the Hastings Well Number 3 Subsite

Design Parameter	Value
Extraction Wells	
Screened intervals of three wells:	20-40 feet (shallow) 50-80 feet (intermediate) 80-110 feet (deep)
Radius of influence:	100 feet
Wellhead vacuum:	3 in. Hg
Flow Rate per well pair:	300 scfm
Well Diameter:	4 inches
Soil Gas Conditions at Wellhead	
Carbon tetrachloride, maximum:	1,800 $\mu\text{g/L}$
Carbon tetrachloride, average:	100 $\mu\text{g/L}$
Chloroform, maximum:	30 $\mu\text{g/L}$
Chloroform, average:	3 $\mu\text{g/L}$
Temperature:	50° F
Relative humidity:	100%
Pressure, absolute:	25 in. Hg
Maximum total flow rate:	900 scfm 1,300 acfm

Condiciones iniciales de trabajo del sistema SVE en base a los resultados del ensayo previo.



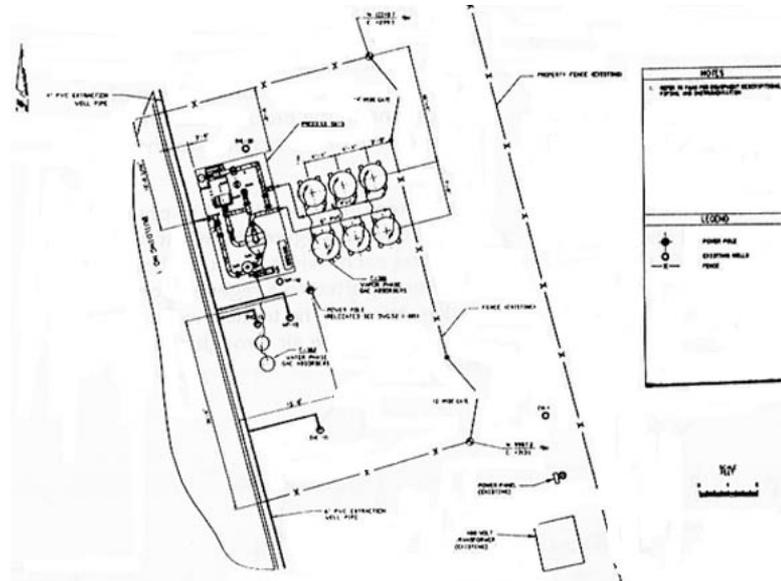
Caso práctico 6. Hastings



El SVE definitivo consta de 10 pozos de extracción al vacío (5 profundos, 3 intermedios y 2 superficiales) y 5 pozos para monitoreo. Los pozos profundos operaron a una profundidad de 30 a 35 metros. Los intermedios de 15 a 25 m. Los superficiales de 6 a 12 m. Los pozos de extracción fueron construidos con PVC (tipo 80 polyvinyl chloride) de 10 cm de diámetro de 0,01 pulgada de luz.



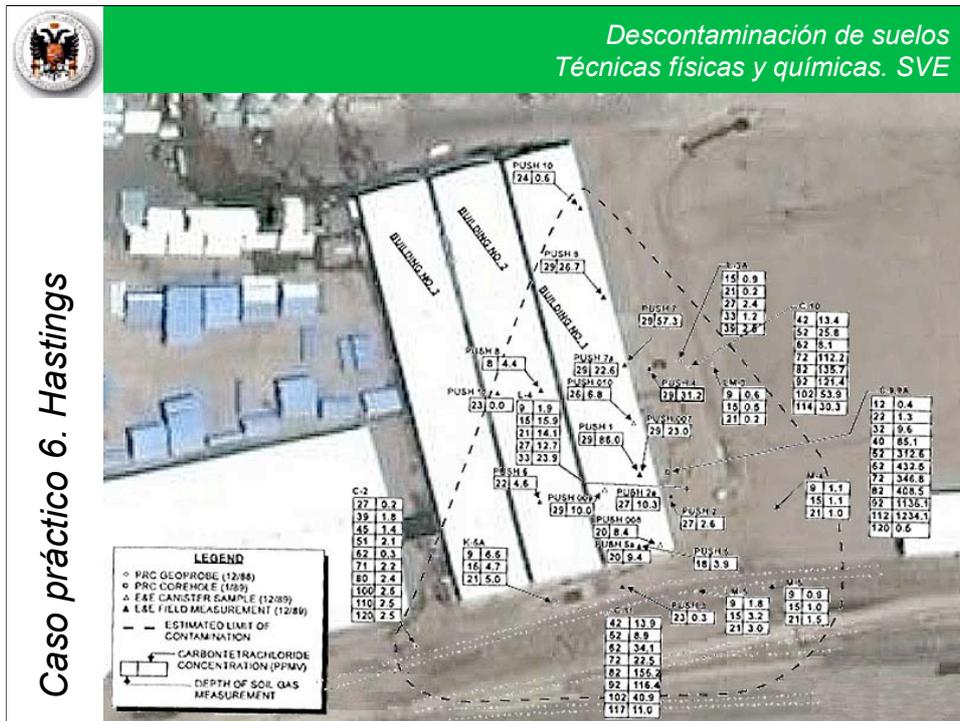
Caso práctico 6. Hastings



www.clu-in.org

El equipo consta además del separador de gas/líquido, intercambiador de calor, bomba de vacío y depósitos de carbón activo granulado

El equipo de adsorción consta de seis bidones de 4 m³ de capacidad cada uno, montados en dos series. El carbón usado se llevó a una factoría para su regeneración (Fábrica Parker de Arizona).



Resultados obtenidos en los distintos pozos de extracción. En la columna de la izquierda se muestra la profundidad del muestreo y en la de la derecha la concentración de tetracloruro de carbono en ppmv.

NIVEL DE REFERENCIA BOE 15/01/2005. Tetracloruro de carbono; uso industrial 1; uso urbano 0,5;

Aparte de CIC_4 se identificaron también cloroformo, TCE(tricloroeteno), 1,1-dicloroetano (DCA), 1,1,1-tricloroetano (TCA), y tetracloroetano (PCA).

Las concentraciones fueron más altas en los pozos profundos (> 50 pies o sea >15 metros) que en los intermedios y superficiales.



Descontaminación de suelos Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 6. Hastings

Table 4. SVE System Operations Chronology

Date	Time	Cumulative Down Time (hrs)	Cumulative Elapsed Run Time (hrs)	Description
06/25/92	11:30	0	0	Start up full-scale operation with extraction wells SVE-1S, -1D, -3S, -5I, and -5D open.
07/01/92	11:05	3.8	140	Opened remaining wells (SVE-4D, -4I, -6D, and -6I) to reduce excessive water.
07/22/92	15:40	5.2	647	Wells SVE-1S and -3S were taken out of service since no contamination was being detected in samples.
07/26/92	14:55	6.3	789	Entire system shut down for 9 days to evaluate VOC rebounding effects.
08/06/92	12:00	198	810	The system was restarted with all wells pumped.
08/10/92	08:20	198	903	Wells SVE-1S, -3S, and -4I were taken out of service because no contamination was being detected in samples.
09/17/92	22:52	211	1816	System shut down due to carbon breakthrough.
10/10/92	15:45	759	1816	System start up after carbon replacement with all wells being pumped.
10/13/92	18:00	759	1890	Spent carbon shipped to TSD Facility.
10/19/92	10:20	760	2027	Wells SVE-1S, -3S, and -4I were taken out of service because no contamination was being detected in samples.
11/04/92	09:30	760	2409	Operation of the carbon system was changed to two stages of two adsorbents per stage.
11/28/92	20:45	760	2996	System shut down due to concentration of CCl ₄ in composite carbon outlet exceeding the concentration of CCl ₄ in the carbon inlet.
11/30/92	17:00	780	3020	Restart SVE system.
12/21/92	09:40	780	3517	Granular activated carbon was removed from the system. EPA and NDEQ determined that the risk attributed to air emissions were low and that the GAC should be removed.
01/04/93	09:30	781	3852	System shut down for two months because extraction rate below 0.001 lb/hr CCl ₄ .
02/06/93	13:20	1577	3852	System start up for sample collection only.
02/06/93	14:20	1577	3853	System shut down after sample collection.
03/04/93	13:08	2200	3853	System start up with extraction wells SVE-1D, -1S, -3S, -5I, -5D open.
03/24/93	11:15	2207	4325	Opened remaining wells (SVE-4D, -4I, -6D, and -6I).
04/29/93	9:15	2208	5188	Closed extraction wells SVE-3S and -4I to increase the vacuum at SVE-5D.
07/01/93	16:30	2446	6600	Operation of the SVE system terminated.

Depending on the number of wells being pumped at a given time, the total air flow rate ranged from 519 to 754 standard cubic feet per minute and the extraction well head vacuums ranged from 3.05 to 7.6 inches of mercury.

www.clu-in.org

Condiciones de operación del sistema SVE utilizado

Duración: un año (por un total de 6.600 horas).

Intensidad del flujo de aire, 504 a 858 scfm

Vacío, 3.05 a 7.6 inches de Hg (7,7 a 19,3 cm).



Descontaminación de suelos Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 6. Hastings

Table 7. SVE System Operation Log

Date	Qs (cfm)	CCl ₄ @ S-101 (ug/L)	Time of Operation (hrs)	CCl ₄ Extraction Rate (lb/hr)	Total CCl ₄ Removed (lb)
6/25/92			0.00		
6/25/92	771	48.00	0.37	0.256	0.09
6/26/92	728	111.00	18.08	0.560	10.02
6/27/92	530	42.00	40.58	0.154	13.49
6/30/92	485	56.00	113.67	0.188	27.27
7/08/92	680	13.97	310.33	0.066	40.19
7/17/92	678	10.03	526.50	0.047	50.38
7/22/92	658	10.11	641.60	0.046	55.68
7/28/92	620	15.14	783.58	0.065	64.92
8/06/92	728	8.08	813.68	0.041	66.15
8/12/92	673	6.66	941.58	0.031	70.12
8/19/92	600	12.48	1108.75	0.028	74.81
8/26/92	595	12.19	1276.42	0.027	79.36
9/03/92	579	2.63	1478.03	0.006	80.51
9/07/92	582	5.66	1571.72	0.012	81.67
9/12/92	579	3.14	1688.37	0.007	82.46
9/17/92	523	4.06	1813.07	0.008	83.46
10/10/92	0	4.32	1816.72	0.000	83.46
10/25/92	583	2.52	2177.85	0.006	85.96
10/31/92	574	2.95	2319.53	0.006	86.86
11/07/92	520	2.29	2485.87	0.004	87.60
11/17/92	504	2.47	2729.08	0.005	88.34
11/12/92	502	2.21	2866.65	0.004	89.31
11/28/92	512	1.63	2987.65	0.002	89.55
12/01/92	519	1.64	3064.55	0.002	89.70
12/05/92	523	1.37	3156.50	0.003	89.95
12/12/92	507	1.51	3323.62	0.003	90.43
12/23/92	659	0.49	3586.03	0.001	90.75
12/30/92	669	0.12	3759.07	0.0003	90.80
2/06/93	858	0.13	3872.33	0.0004	90.85
3/04/93	538	0.67	3872.60	0.0014	90.85
3/06/93	708	0.11	3924.27	0.0003	90.86
3/13/93	547	1.63	4092.12	0.0033	91.42
3/23/93	562	0.39	4324.65	0.0008	91.61
4/03/93	767	0.57	4586.45	0.0016	92.04
4/10/93	757	0.38	4756.50	0.0011	92.23
4/17/93	743	0.30	4924.22	0.0008	92.37
4/24/93	743	0.27	5092.22	0.0008	92.49
5/01/93	663	0.17	5260.35	0.0004	92.56
5/08/93	724	0.26	5428.22	0.0007	92.68
5/16/93	708	0.00	5620.22	0.0000	92.68
5/22/93	703	0.12	5764.22	0.0003	92.73
6/15/93	661	0.06	6278.48	0.0001	92.80
6/17/93	671	0.22	6325.33	0.0006	92.83
6/27/93	687	0.03	6509.83	0.0001	92.84

www.clu-in.org

NIVEL DE REFERENCIA BOE 15/01/2005. Tetracloruro de carbono; uso industrial 1; uso urbano 0,5; otros usos 0,05 mg/kg.

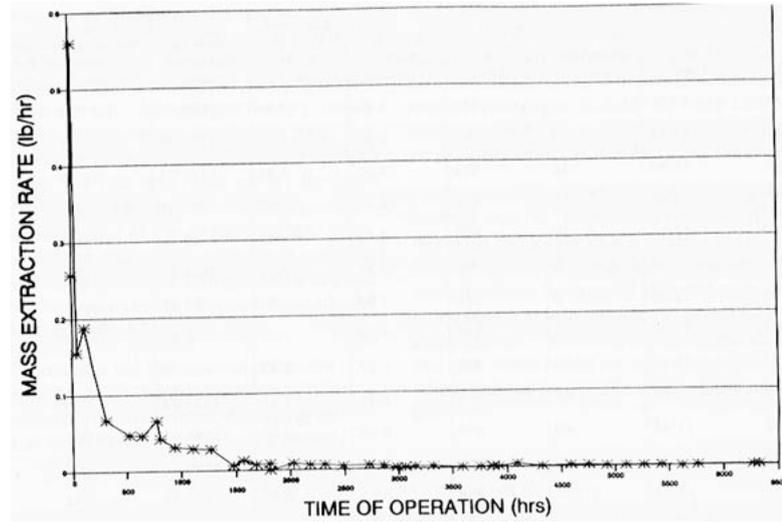
Condiciones del sistema SVE a lo largo del tiempo de funcionamiento: fecha del dato, Qs = intensidad del flujo de aire en pies cúbicos estándar por minuto, concentraciones de CCl₄ en microgramos por litro, tiempo funcionando, intensidad de la extracción en libras a la hora y total de CCl₄ extraído en libras.

Los datos muestran que:

- aproximadamente a los seis meses el sistema SVE alcanza los objetivos de la limpieza de 0,001lb/hr y un total de CCl₄ extraído de 90 libras.
- mas de la mitad de la masa removida ocurre durante los 22 primeros días de operación.
- la intensidad del CCl₄ extraído cae drásticamente ya en una semana de operación e intensamente a los tres meses
- la cantidad total de CCl₄ removido fue de 93 libras en esta fase más las 517 extraídas en la fase previa, lo que hace un total de unas 600 libras.
- el sistema fue desconectado durante dos meses (12/30/92 a 2/06/93) para ver si las concentraciones de CCl₄ aumentaban pero no ocurrió (intensidades de extracción de 0,0003 y 0,0004).
- el ensayo piloto no proporcionó datos correctos para el SVE final; así pronosticaba un tiempo necesario para la limpieza del sitio de dos años, mientras que este resultado ser de menos de un año;



Caso práctico 6. Hastings



www.cdu-in.org

Figure 8. Carbon Tetrachloride Mass Extraction Rate vs. Time

La figura representa la variación de la intensidad de extracción de CIC_4 a lo largo del tiempo de la experiencia.



Caso práctico 6. Hastings

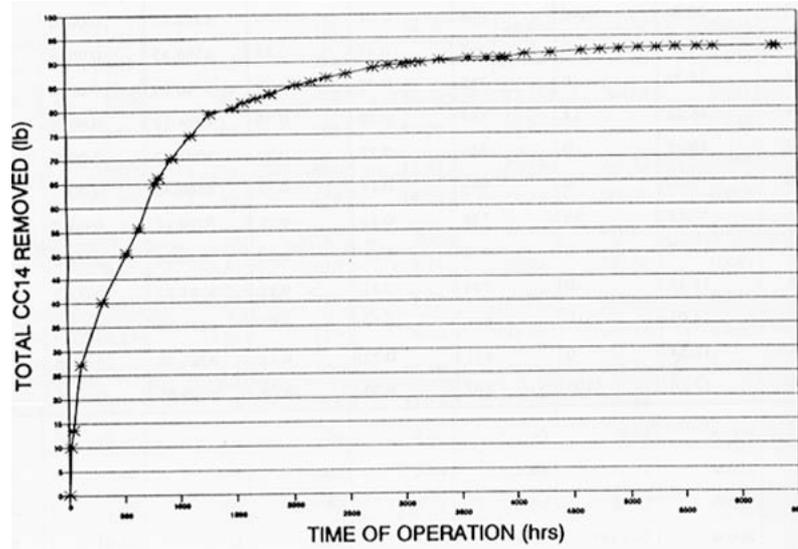


Figure 9. Cumulative Mass of Carbon Tetrachloride Removed vs. Time

www.dlu-in.org

Curva acumulativa de la masa de CCl_4 extraído a lo largo de la experiencia de remediación



Results of canister samples.
Concentration at extraction well SVE-5D ($\mu\text{g/L}$)

Contaminant	March 4, 1993	May 1, 1993
Carbon Tetrachloride	0.92	0.64
Chloroform	0.04	Non-Detect
Benzene	0.18	Non-Detect
Trichloroethene	7.20	4.90
1,1-DCE	5.20	2.50
1,1,1-TCA	4.60	2.10
PCE	5.90	2.60

Concentraciones de diversos contaminantes en el gas de los pozos en dos fechas de operación. A los dos meses se producen caídas en las concentraciones de todos los contaminantes detectados.

1,1-dicloroetano (DCE), 1,1,1-tricloroetano (TCA), tetracloroetano (PCE), y cloruro de metileno.

OJO, valores referidos al gas extraído en los pozos y no se refiere a la concentración en los suelos.



Resultados: costes

Caso práctico 6. Hastings

Table 10. Actual Costs Shown

Mobilization/Setup (well installation, SVE construction, and vacuum extraction unit fabrication)	\$175,404
Operation (short-term: up to 3 years) (project monitoring and control, procurement support, construction management, technical engineering services, and O&M services)	\$159,250
Cost of Ownership (GAC, gas chromatograph lease, rolloff bin rental, and award fee)	\$31,594
Dismantling (decommissioning)	\$3,380
TOTAL TREATMENT COSTS	\$369,628

El coste total de la operación ascendió a los 370.000\$, con un coste unitario de 620\$ por libra de **CIC₄** extraído.



A los quince años de terminar la remediación (de 1993 a 2008) la zona parece no estar en perfectas condiciones como es patente en estas imágenes de satélite.

Sitio de WELL #3 SUBSITE



WELL #3 SUBSITE



FAR-MAR-CO SUBSITE



FAR-MAR-CO SUBSITE. Por lo que muestran estas imágenes parece aconsejable la realización de un revisión de las condiciones del sitio, por lo menos en lo que a la superficie de los suelos se refiere.



Rendimientos de esta técnica en diversos proyectos realizados

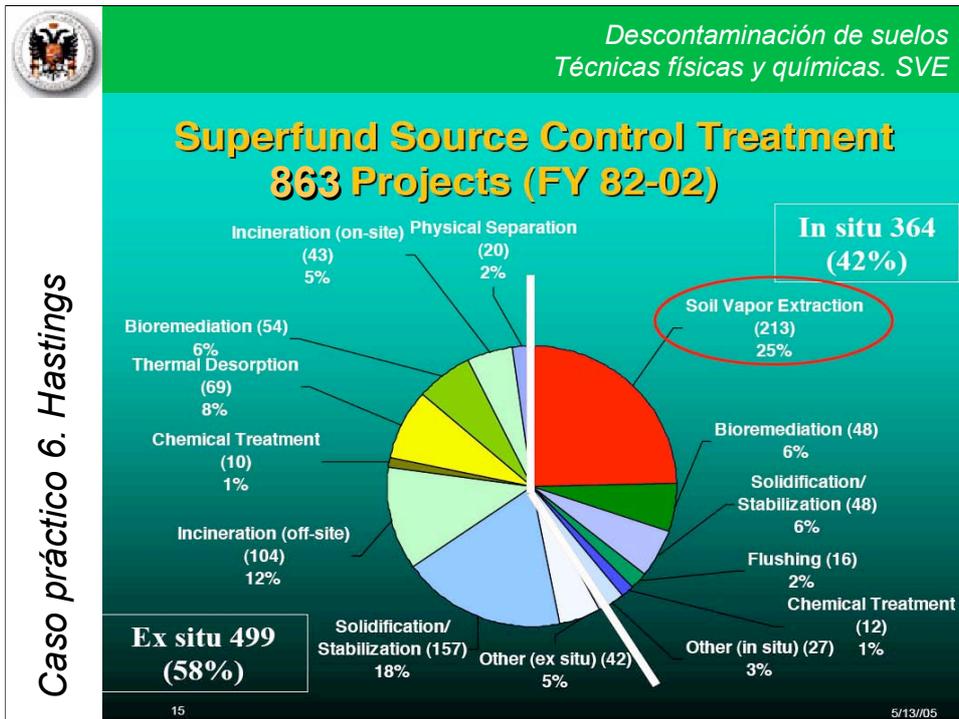
Caso práctico 6. Hastings

Extracción de vapores in situ

Contaminantes	Niveles iniciales, mg/kg	Niveles finales, mg/kg	Efectividad de la limpieza, %	Duración del tratamiento, meses	Suelo tratado, m ³	Coste unitario, \$/m ³	Localidad (USA)
** TPH	411 (10.200*)	< 6	> 98,54 (> 99,94)	24	6.600	91	Hill Air Force, Ogden, Utah
2-Butanona	150*	1,2	99,20	6	855	650	Sacramento Army Depot, Sacramento, California
Etilbenceno	2.100*	6	99,71				
Tetracloroeteno	390*	0,2	99,95				
Xileno	11.000*	23	99,79	16	1.580	285	SMS Instr., Deer Park, New York
VOC	1.200*	0,5 - 5,5	99,55 - 99,54				
SVOC	1.800*	0,5 - 5,5	99,97 - 99,69	6	2.100 tn	305 \$/tn	Basket Creek, Douglasville, Georgia
Tolueno	220.000*	0,2	99,9999				
Metilsobutilcetona	66.000*	0,1	99,9998				
Metilacetona	23.000*	2	99,99	17	326.200	2,6	Burn Pits Operable Unit, Sacramento, California
Tricloroeteno	> 0,01	0,0021	> 99,998				
Tetracloroeteno	> 0,01	0,0013	> 99,999				
Dicloroeteno	> 0,01	0,0027	> 99,997	7	55.000	54	Sand Creek, Commerce City, Colorado
Cloroformo	0,82	0,0099	99,99				
Cloruro de metileno	5,8	< 0,075	> 99,9999				
Tetracloroeteno	0,087	0,1	99,999	1	750	58	Defense Supply Center Richmond, Virginia
Tricloroeteno	9,34	0,28	99,9997				
Tetracloroeteno	1,5	0,18	99,999				
Tricloroeteno	0,36	0,11	99,997	11	6.050	42	Fort Richardson, Anchorage, Alaska
Clorobenceno	11,93	< 0,5	> 95,8				
Derivados del diesel	17.000	< 200	> 98,8				
TPH	17.500*	< 1000	> 94,3	48	12.500	49	Holloman AFB, New Mexico
Benceno	48.000*	< 25	> 99,95				

* Valores máximos; ** Extracción de vapores + bioventing
TPH, Total de hidrocarburos del petróleo; VOC, compuestos orgánicos volátiles; SVOC, compuestos orgánicos semivolátiles.

Estudio comparativo de 9 sitios seleccionados en los que se operó con la tecnología SVE.



Caso práctico 6. Hastings

Esta tecnología SVE es y ha sido muy aplicada, especialmente para las contaminaciones de VOC. En un censo de la EPA de lugares en los que se ha actuado sobre la contaminación de suelos y aguas (Listado Nacional de Prioridades SUPERFUND) de 863 proyectos, 213 han utilizado SVE, lo que representa un 25% de los casos.